

小規模河床波上での河床摩擦抵抗の扱い

北海道大学大学院工学研究科 正会員 清水 康行
北海道大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 旭 一岳

1. 目的

小規模河床波は、河床が流れに与える抵抗として、河川工学上非常に重要な課題であり、従来さまざまな研究が行われている。しかしながら、小規模河床波の発達・安定および減衰機構は、流れとの相互作用によって非常に複雑な挙動を示すため未だ不明な点が数多く存在している。

そこで本研究では、小規模河床波と流水の相互関係を考慮した河床変動計算モデルの構築を目的とし、有効摩擦速度を考慮した河床変動計算モデルの検討を行った。

2. 基礎式

・有効摩擦速度および有効無次元掃流力の算定

本研究では、流れの大部分の流速分布が対数則に従うと仮定し、有効摩擦速度および有効無次元掃流力を以下の式を用いて算定した。

$$u_*' = u_* \left/ \left(\frac{1}{\kappa} \log \frac{y_1}{y_0} \right) \right., \quad \tau_*' = \frac{u_*'^2}{sgd} \quad (1)$$

ここで、 u_*' は有効摩擦速度、 τ_*' は有効無次元掃流力、 s は砂の水中比重(=1.65)、 d は砂粒子の粒径、 κ はカルマン定数(=0.4)、 u_1 および y_1 はそれぞれ河床からもっとも近いグリッドの流速および河床からその流速計算点までの距離である。また、 y_0 は河床から流速が 0 となる地点までの距離であり、本研究では $y_0 = k_s / 30$ ($k_s = 2d$) とした。

・掃流砂および浮遊砂の基礎式

本研究で用いた河床変動計算モデルでは、掃流砂および浮遊砂を考慮しており、掃流砂量式には芦田・道上の式を、浮遊上量の式には岸・板倉の式を用いてそれぞれの算定を行った。以下に芦田・道上の式および岸・板倉の式を示す。

$$\text{芦田・道上の式} \quad \frac{q_B}{\sqrt{sgd^3}} = 17\tau_*'^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*'} \right) \left(1 - \frac{u_{*c}}{u_*'} \right) \quad (2)$$

ここで、 q_B は掃流砂、 τ_{*c} は無次元限界掃流力、 u_{*c} は限界摩擦速度であり、それぞれ岩垣の式より算定した。

$$\text{岸・板倉の式} \quad q_{su} = K \left(\alpha_* \frac{sgd}{u_*'} \Omega - w_f \right) ; \quad \Omega = \frac{\tau_*'}{B_*} \frac{\int_a^\infty \xi \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2) d\xi}{\int_a^\infty \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2) d\xi} + \frac{\tau_*'}{B_* \eta_0} - 1 \quad (3)$$

ここで、 q_{su} は浮遊砂、 w_f は沈降速度であり Rubey の式より求めた、また、 $a' = B_* / \tau_*' - 1 / \eta_0$ 、 $\eta_0 = 0.5$ 、 $K = 0.008$ 、 $\alpha_* = 0.14$ 、and $B_* = 0.143$ である。

なお、紙面の都合上、流れの基礎式および浮遊砂濃度の式などは省略した。

キーワード 小規模河床波、河床変動計算、河床摩擦、剥離

連絡先 〒060 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学研究科 環境資源工学専攻

応用水文学分野 TEL011-706-6198

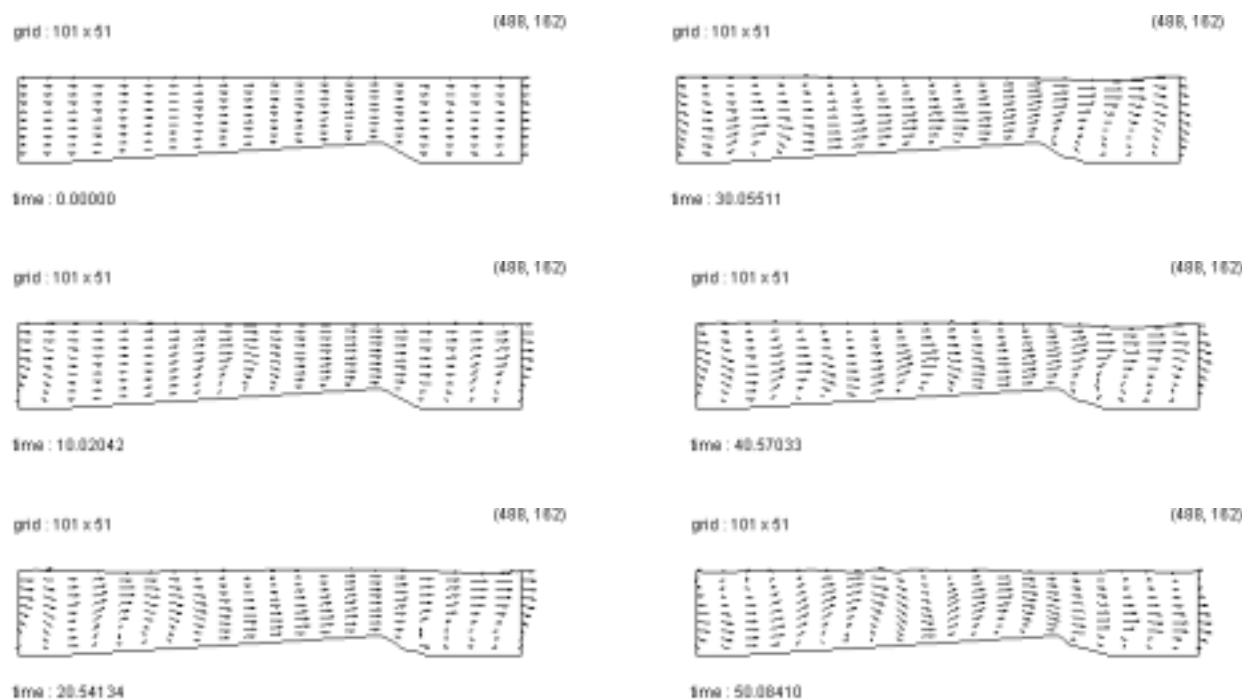
3. 計算条件

Navier-Stokes 式の離散化には分離解法を用い、移流項の計算には CIP 法を用いた。

小規模河床波背後の剥離渦の構造は清水ら¹⁾によると3次元的に複雑な渦構造をもつことが指摘されているが、本研究の目標は河床摩擦と流水の相互関係を考慮した数値計算モデル構築であるため、計算時間も考慮し、計算は断面2次元で行った。計算格子は流下方向（x 方向）に 101、鉛直方向（y 方向）に 51 とした。

境界条件は、河床はノンスリップ、水面ではせん断力と圧力がゼロとなる条件を用いた。計算は、同じ形状を持つ河床波が連続している状況を想定し、河床波 1 波長を対象として上下流には周期境界条件を用いた。

4. 計算結果の考察



図．断面 2 次元河床変動計算結果（流速ベクトルおよび河床形状）

計算は中山ら²⁾のよって行われた水理実験と同じ条件で行った。河床波は波長 80cm、波高 4cm を初期形状として与えた。

流れのベクトル図から、河床波背後から剥離渦が発生し、下流へ移動していく様子が観察される。また、河床波が剥離渦の影響を受けつつ崩れながら前方へ移動している様子を再現することができた。計算結果の精度については言及できないが、理論的な裏付けの元に計算した結果、妥当な計算結果が得られたことは有効といえる。

5. おわりに

河床波と流水の相互関係を考慮し、断面 2 次元の河床変動計算を行った結果、妥当な計算結果が得られた。今後、実験値などと比較することでモデルの精度の確認および 3 次元モデルへの適用を考慮していきたい。

参考文献

- 1) 2 次元河床波上の 3 次元流の計算 清水康行, Mark Schmeckle, Jonatan M. Nelson 水工学論文集 44 巻 2000 年 2 月
- 2) 河床波上の浮遊砂の数値計算 中山卓, 清水康行, マーク・シュメックリー, 赤堀良介 水工学論文集 第 44 巻 2000 年 2 月