

堰下流の潜り噴流状態の流れと河床変動解析

広島大学大学院 学生会員 ○内田龍彦
 広島大学大学院 フェロー会員 福岡捷二

1. 序論

堰下流に生じる河床洗掘は、波状跳水状態による埋め戻し過程と潜り噴流状態による洗掘過程を交互に繰り返して発達する¹⁾。河床洗掘計算を行うためには、洗掘孔内に生じるこれら二つの流れを表現できる数値解法が必要となる。本研究では、河床変動量が大きく、堰下流の河床洗掘形状を決定付ける潜り噴流状態の流れと河床変動の計算法を構築する。

2. 計算方法

計算で対象とする実験条件を表-1に示す。堰下流の変動を伴う河床、水面形状を適切に評価するため、基礎方程式には移動 σ 座標系に展開された ξ, z 方向運動方程式と連続式を用いる²⁾。レイノルズ応力項にはSGS定数モデル($C_s=0.2$)を用いている。本研究では、水面グリッドは連続式から計算されるグリッド内の平均水位から作成している。計算の水面形を平均水面勾配の直線分布で表すと、図-1のように ξ 方向流速評価断面において水面グリッドと計算の水面にずれが生じる。これを評価するために、グリッド内の流体の占める割合を考慮し、連続式と ξ 方向運動方程式の慣性力項 I_ξ をそれぞれ式(1),(2)で表す。

$$\frac{\partial(dz + \Delta\zeta)\tilde{U}}{\partial\xi} + \frac{\partial d\xi(w + \tilde{\sigma}_x \tilde{U})}{\partial\sigma} = 0 \quad (1)$$

$$I_\xi = \frac{dz_0 + \Delta\zeta_0}{dz_0} \cdot \frac{\partial\tilde{U}}{\partial t} + \frac{dz + \Delta\zeta}{dz} \cdot \tilde{U} \frac{\partial\tilde{U}}{\partial\xi} + (\tilde{W} - w_g) \frac{\partial\tilde{U}}{\partial z} \quad (2)$$

ここで、 $d\xi, dz$:グリッド間隔、 $\Delta\zeta$:計算の水面と水面グリッドの差、であり、下付の0はコントロールボリューム内の平均値を示す。 ξ 方向流速評価断面で計算の水面形は不連続となるため、上流側の流体が移動すると考えて上流側の水位を用いる。河床面においても同様の方法を用いるが、河床面を流体は通過しないと考える、 ξ 方向流速評価断面の河床高は高いほうを用いる。流砂量の計算には、重力による付加掃流力と斜面上の限界掃流力を用いた芦田・道上式を用いる。流砂の連続式より求めた河床変動速度を河床面のグリッド移動速度とし、河床変動計算と流況計算を連立させている。河床変動計算の初期条件として、実験の河床形状で計算した潜り噴流状態の流れ場(図-4 $t=0s$)を与える。

3. 計算結果

図-2は潜り噴流状態から波状跳水状態へ移行する直前の河床形状の実験結果と計算結果の比較である。実験結果は、計算条件とほぼ同様の水理条件で生じた4回の潜り噴流の結果を示す。堰下流の洗掘現象は非定常性が強く、不安定な現象であるため、実験結果はばらついていて、しかし、堰直下の洗掘孔の形状

表-1 実験条件

水路長	8.0 m
水路幅	0.3 m
初期河床勾配	1/166.7
実験流量	0.0072 m ³ /s
下流端水深	0.054 cm
河床砂の粒径	0.8 mm
初期の堰高	0.035 m
堰長	0.1 m

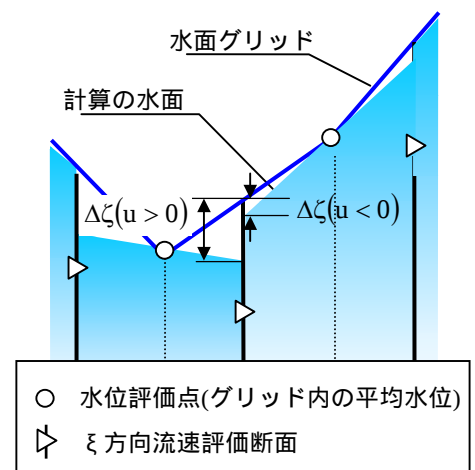


図-1 計算の水面形状の定義

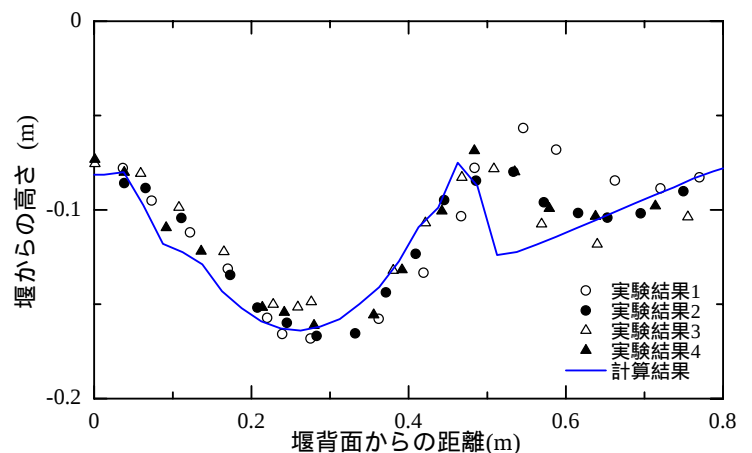


図-2 潜り噴流状態から波状跳水状態へ移行する直前の河床形状

キーワード：河床変動，数値解析，潜り噴流，波状跳水

連絡先：広島大学大学院工学研究科

〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1

0824(24)7821

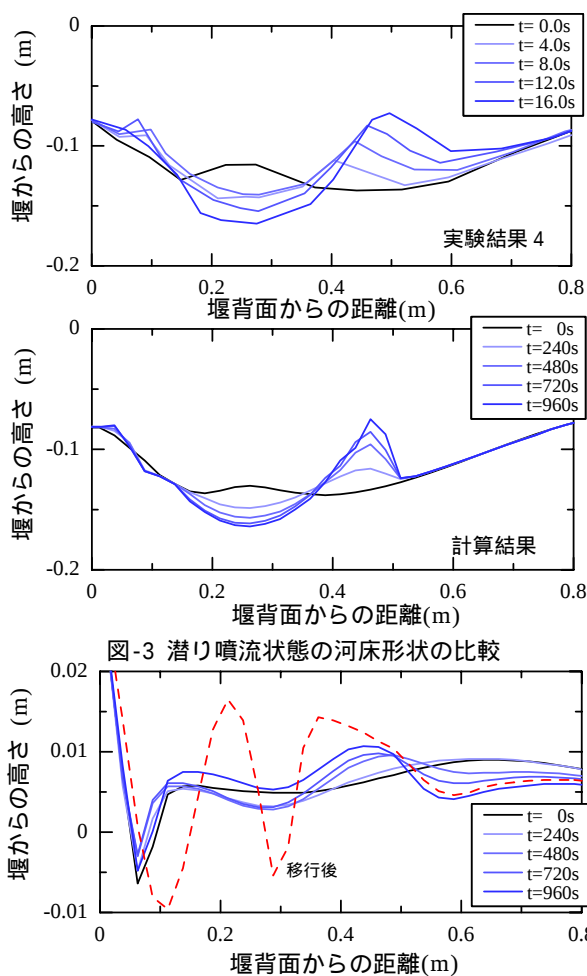


図-4 潜り噴流状態の水面形状の変化(計算値)

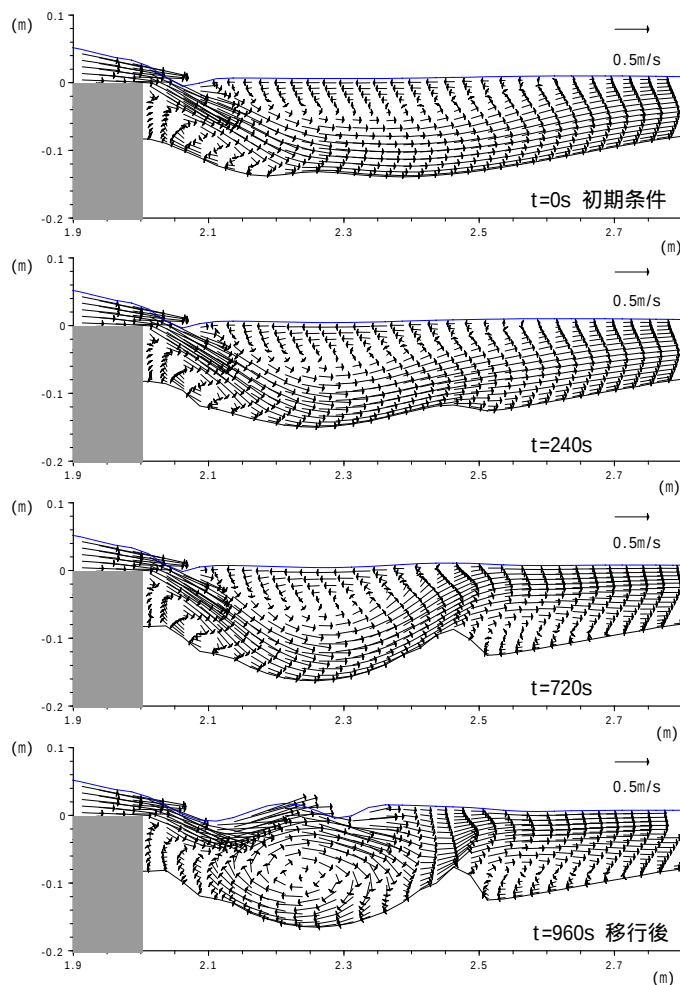


図-5 洗掘孔内の流速分布(計算値)

は各実験で概ね等しいことから、潜り噴流状態から波状跳水状態へ移行現象は堰直下の河床形状に支配されていると考えられる。計算結果は洗掘孔下流部の堆積形状が実験値と異なる。これは流砂の非平衡性を考慮していないためと考えられる。しかし、計算結果は実験による堰直下の洗掘形状をほぼ再現している。図-3 はそれぞれ潜り噴流状態から波状跳水状態へ移行するまでの河床形状の比較である。実験値は、潜り噴流に移行する時間を $t=0.0s$ としている。波状跳水状態において埋め戻された砂は、潜り噴流に移行した直後に、上下流に輸送される。その後、波状跳水状態へ移行するまで最大洗掘深の位置をほとんど変えずに洗掘、堆積が発達する。計算結果は、実験の洗掘孔の発達過程を説明できている。図-4,5 はそれぞれ潜り噴流状態から波状跳水状態へ移行するまでの水面形状と洗掘孔内の流れ場の計算結果である。潜り噴流に移行した直後、水叩き部では河床低下に伴い水位が低下し、最付着点が上流に移動する。これは、河床低下によって再付着点付近の圧力上昇量が小さくなるためである。堆積域が下流に移動する段階では、堆積域背後に剥離が生じず、水面形状は初期からほとんど変化しない。堆積域背後に剥離が生じると、堆積域下流の水位が低下し、河床形状の波形よりもやや遅れた位相をもつ水面形状となる。時間とともに堆積域が徐々に下流に進行するのに対して水面の波形は上流に進行し、洗掘孔内の水位は徐々に上昇する。その後、流れは波状跳水状態となり、洗掘、堆積域を減衰させる埋め戻し過程へと移行する。

4. 結論

潜り噴流状態における流れと河床変動を説明できる数値解析モデルを構築した。また、潜り噴流状態の河床変動とそれに伴う流れ構造の変化を検討した。

参考文献

- 1) 鈴木幸一，道上正規，川津幸治：床止め直下流部の流れと局所洗掘について，第 26 回水理講演会論文集，pp.75-80，1982。
- 2) 内田龍彦，福岡捷二，山崎幸栄：二次元水理構造物を越流する流れの数値解析，水工学論文集，第 47 巻，pp.817-822，2003。