

大阪大学大学院の学生員 李 宗燮

大阪大学工学部 正会員 榎木 亨

大阪大学工学部 正会員 出口 一郎

①. はじめに

内水排除及び河口閉塞問題に関連した河口処理工の最適設計を行なうためには、河川流と波によって生じる河口周辺の海浜流の挙動及びそれにともなう地形変化を定量的に解析する必要がある。特に河口周辺部の地形変化においては河川の流出による運搬土砂の堆積、波による土砂の押込みや沿岸漂砂による砂州の形成などが複合して作用し、極めて複雑なものとなる。本研究では河口周辺部の地形変化をモデル化する一歩として、浮遊砂の動きと掃流砂の移動を考慮した地形変化モデルを提案し、そのモデルを3次元移動床により検証した結果について報告する。

②. 実験条件及び計算方法

a. 実験条件: 3次元移動床実験の結果は先に野口が行なった実験結果を用いたが、本計算で用いられた実験条件はつぎのようである。

河川流量 Q ; 10 l/sec , 底面勾配 S ; $1/25$, 砂の中央粒径 d_{50} ; 0.25 mm , 砂の比重 ρ_s ; 2.65

砂の沈降速度 ω_s ; 3.0 cm/sec , 沖波波高 H_0 ; 6 cm , 波の週期 T ; 1.25 sec , 波の入射角 θ ; 45° であり、実験水槽は長さ 20 m , 幅 15 m の循環水槽で河道幅 1 m , 河道内水深 4.5 cm として貯留 tank から流量を流すようになっている。

b. 計算方法: 波の変形の計算においてはまず流れの効果を考慮した波数の保存式より波向の計算を行ない、エネルギー保存式を差分化して格子点上で波高を収束計算した。碎波条件は Miche の碎波限界式を用い、碎波後のエネルギー減衰に対しては Battjes のエネルギー消散量を用いて波高の計算を行なった。

海浜流の計算は鉛直方向に一様な流速と仮定した海浜流の基礎式 (1), (2) 及び (3) 式を A.D.I 法で差分化して計算した。

$$\partial n / \partial t + \partial / \partial x [U(h+n)] + \partial / \partial y [V(h+n)] = 0 \quad \text{----- (1)}$$

$$\partial U / \partial t + U \partial U / \partial x + V \partial U / \partial y + 1 / [\rho(h+n)] (\partial S_{xx} / \partial x + \partial S_{xy} / \partial y) + g \partial n / \partial x + 1 / [\rho(h+n)] (\tau_x - L' (\partial U / \partial x + \partial U / \partial y)) = 0 \quad (2)$$

$$\partial V / \partial t + U \partial V / \partial x + V \partial V / \partial y + 1 / [\rho(h+n)] (\partial S_{yx} / \partial x + \partial S_{yy} / \partial y) + g \partial n / \partial y + 1 / [\rho(h+n)] (\tau_y - L' (\partial V / \partial x + \partial V / \partial y)) = 0 \quad (3)$$

$$\text{ここで, } \tau_x = 0.02 \rho [(H/\pi)(g/(h+n)^{0.5}) \cos \theta + 0.5U]^2 + (H/\pi)(g/(h+n)^{0.5}) \sin \theta + 0.5V]^2 \quad \text{----- (4)}$$

なお (2) 式 (3) 式の水平混合項に対しては Longuet-Higgins の表現を用い、境界条件としては河口及び沖側開境の所で水位を与えた。一方、汀線では平均水位上昇にともなう汀線が自由に動くようないわゆる移動境界としている。地形変化の計算においては得られた H, θ, U, V 及び q の値を用いて、底面での砂の沈降や浮上の flux を考慮した漂砂濃度に関する (5) 式より浮遊砂濃度 C を求めて浮遊砂の flux q_{sx}, q_{sy} を計算した。

$$\partial C / \partial t + U \partial C / \partial x + V \partial C / \partial y = \partial / \partial x (Kx \partial C / \partial x) + \partial / \partial y (ky \partial C / \partial y) - 1 / (h+n) [C \omega_f (1 - U^*/W_f) + C W_f] \quad \text{----- (5)}$$

$$q_{sx} = CU(h+n)_x, \quad q_{sy} = CV(h+n)_y \quad \text{----- (6)}$$

(5) 式において砂の拡散係数 K を $0.15 \bar{u}_h$, 摩擦速度は $u_* = \sqrt{\tau/\rho}$ とおいた。ここで (7) 式を示している。

$$\tau = 0.02 \rho [(H/\pi)(g/(h+n)^{0.5})^2 + (U^2 + V^2)/4] \quad \text{----- (7)}$$

また、浮上する時の基準濃度 C_0 は別途2次元移動床実験によって測定された時間平均濃度 C の鉛直分布より得られた (8) 式により求めた。

$$C_0 = 0.347 N \bar{c}^{7.7}, \quad N_C = 0.688 \hat{U}_{fo}^2 / (1.13 (\rho_s/\rho - 1) g W_f T) \quad \text{----- (8)}$$

$$\hat{U}_{fo}^2 = (H/\pi)(g/(h+n)^{0.5})^2 + (U^2 + V^2)/4, \quad \hat{U}_h \text{ は境界層上部での流速である。}$$

一方、掃流砂量に対しては Madsen ら³⁾により求められた(9)式より計算した。

$$q_{bx} = 12.5 W_f d_{50} [\tau_x / ((\rho_s - 1) \rho g d_{50})]^3, \quad q_{by} = 12.5 W_f d_{50} [\tau_y / ((\rho_s - 1) \rho g d_{50})]^3 \quad (9)$$

こゝでの τ_x, τ_y は海床流計算の τ_x, τ_y と同じであり、図-1 は本モデルにおける水深の定義を示したものである。実際水深変化の計算においては定常状態の C を考えて、漂砂量の保存式 (4) より計算した。

$$\partial h / \partial t = -1 / (1 - \lambda) (\partial q_x / \partial x + \partial q_y / \partial y) \quad (10)$$

$$\text{こゝで、} \quad q_x = q_{sx} + q_{bx}, \quad q_y = q_{sy} + q_{by}$$

③. 結果及び考察

図-2 は波の作用後 30 分の実験によって得られた地形変化とそれに対する計算結果との比較を示したものである。図から判かるように等深線の位置や一般的な河口地形変化のパターンは良く一致していると見られるが、河口前面の沿岸砂州の発生位置は十分再現されて

いるとはいかない。これは水深変化 Δh が q_{sx} と q_{bx} に関係していることから q_{sx} と q_{bx} のより 妥当な値の評価が問題である。

本計算結果によると地形変化は定性的にある程度再現されてたが、ごまかい所は良く再現されていない。これは掃子の間隔に起因すると

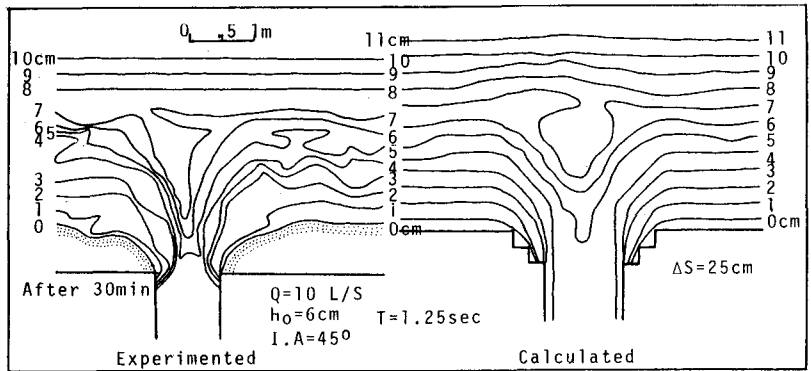


図-2. 実験及び計算結果

考えられる。一方、河口周辺の流れの強い領域においては浮遊砂の flux により水深変化量 Δh_s と掃流砂による水深変化量 Δh_b の比は $\Delta h_s / \Delta h_b \approx 10 \sim 50$ 程度となり、掃流砂に較べて過大評価しているように思われる。

一方、砂の濃度に対する濃度評価も問題であるが、これについては (5) 式より計算される C は碎波近辺で $10^{-3} \sim 10^{-4}$ まで変化し、(8) 式より求められる C_0 は 10^{-2} の値であって、他の多くの実験結果と較べると十分良い一致をみせていることから本モデルの改良のためには q_{sx} や q_{sy} の水深変化に対する寄与率の評価が問題である。また、本計算結果は最初の地形変化のパターンであって、実際には変化された地形条件に対する波と流れの計算をくりかえすことにより水深は smoothing されるので、ある安定な地形変化のパターンになると考えられる。

④. あとがき

本研究では河口周辺部の地形変化のモデル化のために浮遊砂 flux 及び掃流砂による地形変化の計算を試みした。その結果本モデルの適用性はある程度認められたが、より正確な予測のためには浮遊砂の flux と水深変化との結びつけや変化された任意地形に対する波浪変形及び流れ場の計算を時間ステップと共にとり入れていかねばならないが、今後このような問題に対して実験及び理論的研究を続ける予定である。

参考文献

- 1) 野口恵司; 河口閉塞にともなう最小流水断面の変化に関する研究, 昭和 46 年度大阪大学工学部卒業論文。
- 2) Madsen, O.S. et al; Quantitative description of sediment transport by waves, Proc. 15th Conf. Coastal Engrng., ASCE, PP 1093-1112.