

II-117 有限要素法による2次元砂州フラッシュ計算

(株)アイ・エヌ・エー新土木研究所 正員 高木利光

同 上 今野 敦

同 上 高嶋克宜

1. はじめに

砂浜に流出する河川の多くはその河口部に砂州が発達しており、その河口砂州は洪水疎通能力の低下を招く原因となる。河川計画上、砂州の発達を予測することとともに、洪水時の砂州のフラッシュ過程を予測することが重要な問題である。従来、河口砂州のフラッシュの検討方法としては、河床変動計算と同様に、1次元の不等流計算と流砂量公式を結びつけた手法がとられることが多い。しかし、河口砂州は平面2次元的に複雑な形状であること、また河道と異なり河口と接続している海域は2次元的な広がり呈していることなどから、平面2次元的な砂州のフラッシュ計算手法が必要となる。ここでは、有限要素法による平面2次元流況計算と流砂量公式を結びつけた砂州の2次元変形計算手法を提案する。なお、当手法には水位が変化することによる水際線の移動処理を取り入れた。

2. 基礎方程式および有限要素法の適用

基礎方程式は、ナビエー・ストークスの方程式を鉛直方向に積分して得られる浅水長波方程式と、流砂量公式を用いた砂の連続である。

$$\dot{u}_i + u_j u_{i,j} + g \eta_{,i} + f u_i - A_t (u_{i,j} + u_{j,i}),_j = 0 \quad (1)$$

$$\dot{\eta} + \{u_i (\eta + h)\}_{,i} = 0 \quad (2)$$

$$\dot{\zeta} + q_{i,i} / (1 - \lambda) = 0 \quad (3)$$

ここに、 u_i は鉛直方向平均流速、 η は水位変化量、 h は水深、 ζ は水深変化量、 g は重力加速度、 A_t は水平渦粘性係数、 q_i は単位幅当り流砂量、 λ は底質の空隙率であり、 $\cdot$ は時間微分を表す。また、底面摩擦項の f は

$$f = g n^2 (u_k \cdot u_k)^{1/2} / (h + \eta)^{4/3} \quad (4)$$

であり、ここに n はマンニングの粗度係数である。また、流砂量式はブラウン型の

$$q_i = \frac{u_i^{*5}}{(\sigma / \rho - 1)^2 g^2} \frac{10}{d}, \quad u_i^* = \sqrt{\tau_i} / \rho, \quad \tau_i = \rho g n^2 / (h + \eta)^{1/3} \cdot \sqrt{u_{k,i} u_{k,i}} \quad (5), (6), (7)$$

を用いた。ここに、 σ 、 ρ は底質および水の比重、 d は底質の粒径である。

(1)~(3)の基礎方程式に対し、空間方向にはガレルキン法を適用し重み付き残差方程式を導き、さらに時間方向には2段階陽解法を適用し、有限要素方程式を導いた。空間方向の近似関数としては、三角形1次の内挿関数を用いた。また、2段階陽解法には、Kawahara, et al. (1982)¹⁾ が提唱しているSelective lumping法を適用した。

3. 移動境界の処理

砂州部の変形を計算する上で、砂州部が浸水する過程を次のような処理によりモデル化する。図-1に示すように、陸域である節点に隣接する水位がその節点の標高よりも高まった場合、その節点は浸水したものとし、次のステップからその節点を含む要素を計算域に含めるものとする。この際、連続の式において部分積分していることにより自動的に水際線の境界条件が設定されるため、煩雑な境界の処理が不要となる。

4. 数値計算例

長さ100m、幅28m 水深5mの長方形水路のほぼ中央に半径27m、高さ10mの球面状の砂州を設定したモデル地形で計算を行った。初期条件は流速水位とも0とし、境界条件としては水路両端（A-B,C-D）において、異なる振幅、周期のsin 波で水位を振動させた。n, Δt は0.03, 0.0m²/s、0.05sとした。

図-2,3に20s後、図-3,4に80s後の流速ベクトルおよび地形コンターを各々示す。また、図-6にA-D断面の20,40,60,80s後の水位および地形標高分布を示す。

水位が低い時（20s後）には、砂州部を避けるような流れが見られ、最狭部で流速が速くなっている。最狭部付近の砂州の側面が侵食し、その後方で堆積している。水位が徐々に高まるにつれ陸域であった砂州部が徐々に浸水し80s後には完全に水没している。砂州はその前面が大きく侵食を受け、初期に5mであった砂州高が3mに削られ、削られた砂は砂州の後方に広く堆積している。また初期の状態-5mであった最狭部も-7m近くにまで侵食している。

5. おわりに

今後、実際の河川に当モデルを適用しモデルの検証を行うと共に、河口処理対策工の評価に当モデルが利用できるものと考えられる。

<<参考文献>>

- 1) Kawahara, M. H. Hirano and K. Inagaki; Selective lumping Finite Element Method for Shallow Water Flow, Int. J. Num. Meth. Fluids, 2, 89-112, 1982.

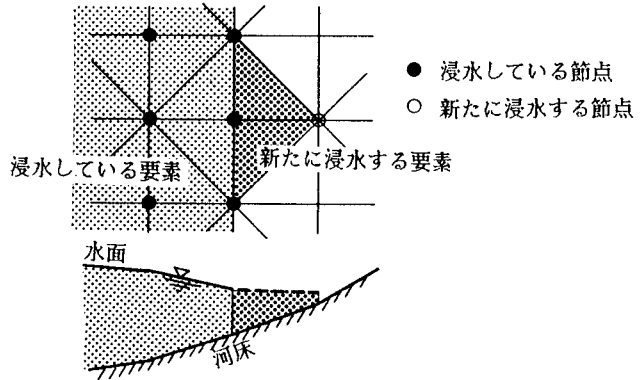


図-1 移動境界の処理

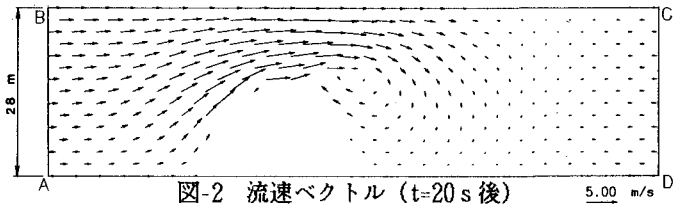


図-2 流速ベクトル (t=20s 後)

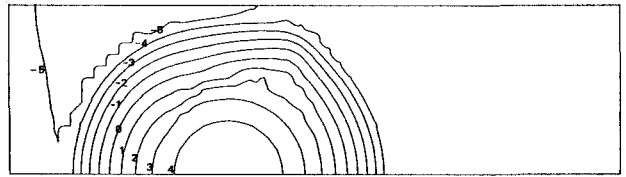


図-3 地形コンター (t=20s 後)

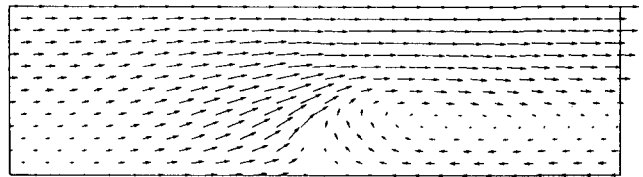


図-4 流速ベクトル (t=80s 後)

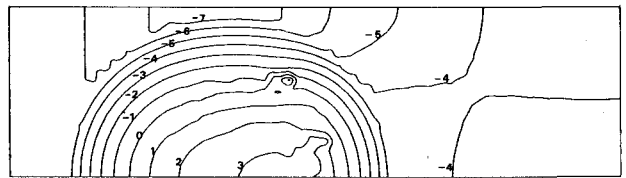


図-5 地形コンター (t=80s 後)

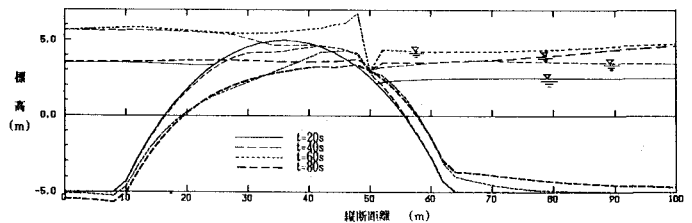


図-6 水位・地形縦断分布 (A-D)