

京都大学工学部

学生員 ○五十里洋行

京都大学大学院工学研究科

正会員 後藤 仁志

京都大学大学院工学研究科

フェロー 酒井 哲郎

京都大学大学院工学研究科

学生員 織田 晃治

1.はじめに 遡上津波の戻り流れは護岸上部からの落下時にナップを形成し、護岸前面の洗掘を急激に発生させる。この種の現象は発生頻度こそ高くはないが、海岸保全施設としての護岸の機能の低下を導き、甚大な災害に直結する。本研究では、Lagrange 的に Navier-Stokes 式を離散化する粒子法 (MPS 法: Koshizuka ら, 1995) に組み込み可能な砂面侵食モデルを新たに構築し、遡上津波の戻り流れによる落下流が護岸前面砂地盤を侵食する過程を時間発展的にシミュレーションする。

2. Navier-Stokes 式の離散化 Navier-Stokes 式

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \mathbf{F} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u}$$

を粒子間相互作用モデルを通じて離散化する。ここに、 $\mathbf{u}$: 流速ベクトル、 ρ : 水の密度、 p : 圧力、 ν : 動粘性係数、 $\mathbf{F}$: 外力 (ここでは重力) である。

移流項は手法が Lagrange 的であるため流体素子の移動として直接計算される。圧力項及び粘性項は物理的にはそれぞれ勾配・拡散を意味するので、MPS 法では圧力項や粘性項を直接これらの物理的な勾配及び拡散の現象を表すモデルで表現されて離散化される。流体素子 i の圧力項と粘性項を以下に示す。

$$-\frac{1}{\rho} \langle \nabla p \rangle_i = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\dim}{n^0} \sum_{j \neq i} \left\{ \frac{p_j - p_i}{r_{ij}^2} \mathbf{r}_{ij} w(r_{ij}) \right\} \quad ; \quad \nu \langle \nabla^2 \mathbf{u} \rangle_i = \nu \cdot \frac{2 \dim}{n^0 \lambda} \sum_{j \neq i} \{ (\mathbf{u}_j - \mathbf{u}_i) w(r_{ij}) \}$$

$$w(r_{ij}) = \begin{cases} \frac{r_e}{r_{ij}} - 1 & (r_{ij} \leq r_e) \\ 0 & (r_{ij} > r_e) \end{cases} \quad ; \quad n_i = \sum_{j \neq i} w(r_{ij}) \quad ; \quad \lambda = \frac{\sum_{j \neq i} \{ w(r_{ij}) \cdot r_{ij}^2 \}}{\sum_{j \neq i} w(r_{ij})}$$

ここに、 r_{ij} : 粒子 i とその近傍粒子 j との距離、 r_e : 粒子間相互作用の影響半径、 $w(r_{ij})$: 重み関数、 n_i : 粒子数密度 (非圧縮条件下での粒子数密度の一定値を n^0 とする)、 $\dim$: 空間の次元数、 λ : 変数分布の分散を解析解と一致させるための係数である。

3. 侵食モデル 護岸前面においてのみ侵食モデルを適用する。護岸前面の砂地盤は比重 2.65 の粒子を規則的に配列して構成する。表層にある粒子では、近傍流速を随時計測しておき、それが閾値を越えないうちは位置の更新計算を行わず、閾値を越えた流速が計測された時点で規則配列から離脱して水流中に放出されるという処理を行う。なお、閾値は、せん断による pick-up と水流の衝突衝撃による pick-up の両者を想定し、前者については Lane (1953) による許容限界流速を目安として 0.8 m/s とした。しかし、後者については実験値がなく経験的に決定せざるを得ず、試行錯誤的に 1.0 m/s とした。また、両者とも、砂地盤表面の局所的な形状を考慮して pick-up の発生を判定した。粒子径は $d = 0.01 \text{ m}$ 、粒子総数は約 13000 である。

4.護岸法先の洗掘過程の数値シミュレーション 図-1 に初期配列を示す。シミュレーションは野口ら(1997)の大規模模型実験と同様の条件で実施した。すなわち、1/40 勾配の陸上斜面前面に落差 0.6m の護岸を挟んで 1/20 勾配の移動床砂面が接続する地形条件で、陸上斜面端部から $0.033 \text{ m}^2/\text{s}$ の単位幅流量の落下流が生じる条件でシミュレーションを行った。図-2 に計算結果の一部を示す。落下流の水衝部に洗掘孔が発達していく様子が再現されている。

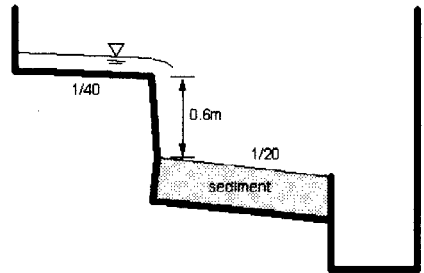


図-1 初期配列図

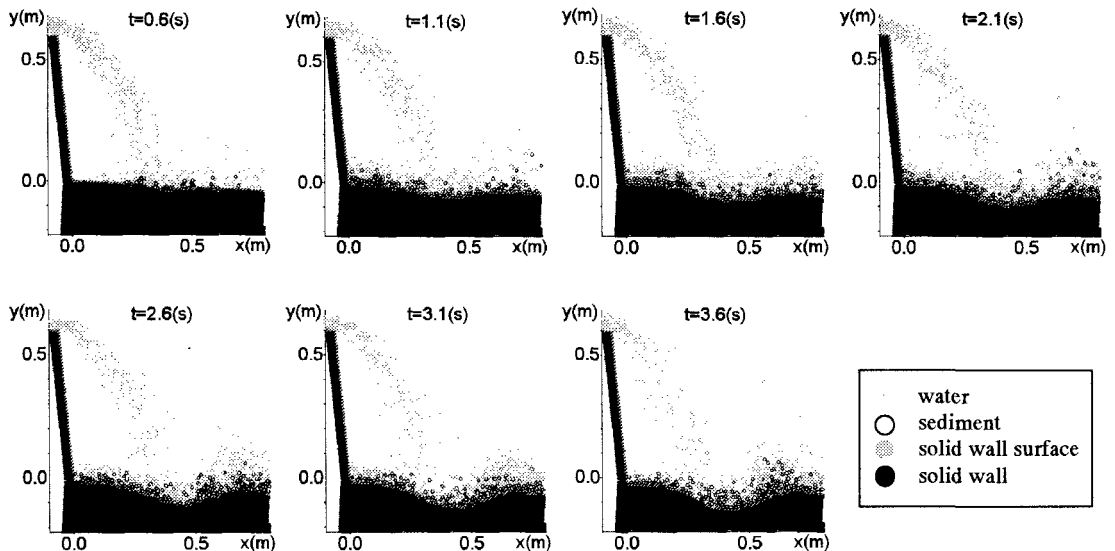


図-2 計算結果

参考文献：

Koshizuka, S. Tamako, H. and, Y. (1995): A particle method for incompressible viscous flow with fluid fragmentation, *Computational Fluid Dynamics Journal*, Vol. 4, No. 1, pp. 29-46.

Lane, E. W. (1953): Progress report on studies on the design of stable channels by Bureau of Reclamation, *Proc. ASCE*, Sep., 280.

野口 賢二・佐藤 慎司・田中 茂信(1997):津波遡上による護岸越波及び前面洗掘の大規模模型実験, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 296-300.