

## 第II部門

## 粒子法による極值的越波過程の再現のための入射・反射境界個別制御の試み

京都大学工学部地球工学科	学生員	○望月 貴文
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	学生員	五十里 洋行
京都大学大学院工学研究科	フェロー	酒井 哲郎

## 1. 概要

防波護岸を建設するにあたって、高潮・津波等が起こったときの沿岸への影響を予測するために事前にシミュレーションし、より適切な形状の護岸を検討することは、事故防止のために重要なことである。本研究では、沿岸の一般道路における有効な越波対策のための護岸構造型式を検討するために、粒子法の一つである、Koshizuka ら(1995)によって提唱された計算手法である MPS 法を用いて越波過程の数値シミュレーションを行う。

## 2. MPS 法の概要

MPS 法は、流体を流体素子の集合体として表し、流体運動を、流体素子間の相互作用の計算を行うことによって計算する粒子法の一つであり、Koshizuka ら(1995)によって提唱された計算手法である。流体素子間の相互作用を、運動方程式の各項を粒子間相互作用モデルを用いて離散化する。

MPS 法においては、2 粒子間が相互に作用しあう影響の大小を、2 粒子間の距離  $r$  に基づく重み関数

$$w(r) = \begin{cases} \frac{r_e}{r} - 1 & (r \leq r_e) \\ 0 & (r > r_e) \end{cases}$$

によって表す。次に、流体の密度に相当するものとして扱われる粒子数密度を、

$$\langle n \rangle_i = \sum_{j \neq i} w(r_{ij})$$

によって定義する。非圧縮条件は、この粒子数密度を一定に保つことにより満足される。

Navier-Stokes 方程式

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

において計算する必要があるのは移流項、外力項、圧力項、粘性項であるが、このうち移流項については、粒子素子の移動として直接計算される。また外力項として通常重力を考える。圧力項は圧力の空間 1 階微分で表され、これは物理的には「勾配」を意味するので、粒子間の相互作用を勾配モデルによって次のようにモデル化する。

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

粘性項は流速の 2 階微分で表され、これは物理的には「拡散」を意味するので粒子  $i$  が持っている値の一部を重みに応じて近隣粒子  $j$  へと分配する形で拡散現象を表す拡散モデルを導入し、次のようにモデル化する。

$$\nu \langle \nabla^2 u \rangle_i = \frac{2\nu \cdot \mathbf{dim}}{n^0 \lambda} \sum_{j \neq i} \left\{ (\mathbf{u}_j - \mathbf{u}_i) \cdot w(r_{ij}) \right\}$$

3. 計算初期条件

護岸形状は図1に示すタイプ1:アーチ型護岸, 図2に示すタイプ2:コの字型護岸の2タイプで計算を行う. 粒径は0.002mに設定し, 各寸法はに示す通りである. 海底地形は図2に示すようになっており, 海底勾配は1/20で一定とし, 造波のための移動壁から斜面までの水平床の長さを0.5m, 斜面部分の長さを1.5mとする.

4. 越波過程の数値シミュレーション

実現象を忠実に再現するためには, 不規則波を発生させなければならないが, 計算では不規則波を長時間起こすことが非現実的なため, 顕著な越波が生じる波のみを対象とする. しかし, 越波量の著しい越波は入射波と護岸からの反射波の衝突によって生じるため, 反射波を再現しなくてはならない. そこで護岸直前に可溶性移動壁を設置し, それによって水流を湧き出させ, 反射波を模擬する. この湧き出しによる流れは造波板の鉛直方向への振動による造波システムによる流れとよく似た流れであると考え, 広本ら(1967)による鉛直振動流型造波装置から, 造波板運動速度(湧き出しの速度)  $v = e a \cos \omega t$  ( $2e$ :造波板往復運動振幅(m),  $\omega$ :回転速度(rad/s))と設定した. 総粒子数は約85000個である.

図3は各タイプの越波前後の時間  $t=2.3\sim 2.7$  におけるスナップショットである. 一波前の波の影響により, ある波が護岸に到着し, 護岸直前の水深が上がっている状況で, 波高の大きな波が来襲し, 大きな越波が起こるという現象を湧き出しという方法で再現した. それぞれを比較してみると越波の様子は概ね再現できていると考えられる. 越波流量の単位幅換算値は, アーチ型護岸で  $0.40(\text{cm}^3/\text{cm})$  であり, コの字型護岸で  $0.96(\text{cm}^3/\text{cm})$ であった.

参考文献: (1)後藤仁志・酒井哲郎・目見田哲・沖和哉・林稔(1999): 粒子法による直立護岸前面の碎波・越波過程の数値解析, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.46-50. (2)広本文泰・安部淑輝・須藤茂(1967): 鉛直振動型造波装置の設計とその造波特性について, 港湾技研資料, No.32, pp.81-97. (3)S.Koshizuka, H.Tamako, Y.Oka(1995): A partical method for incompressible viscous flow with fluid fragmentation, Computational Fluid Dynamics Journal, vol4, no.1, pp.29-46.

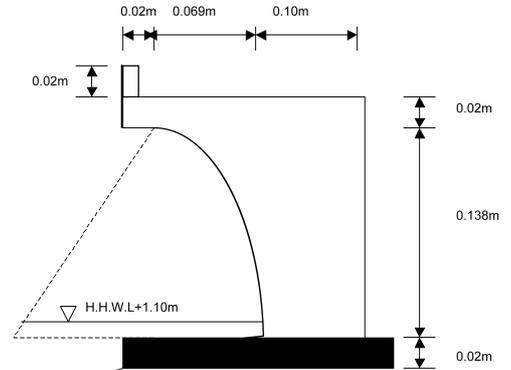


図1. タイプ1:アーチ型護岸

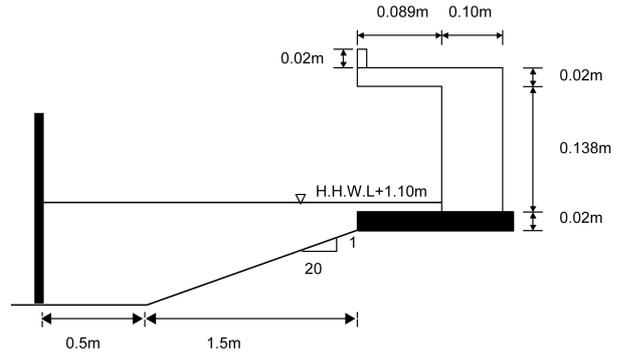


図2. タイプ2:コの字型護岸

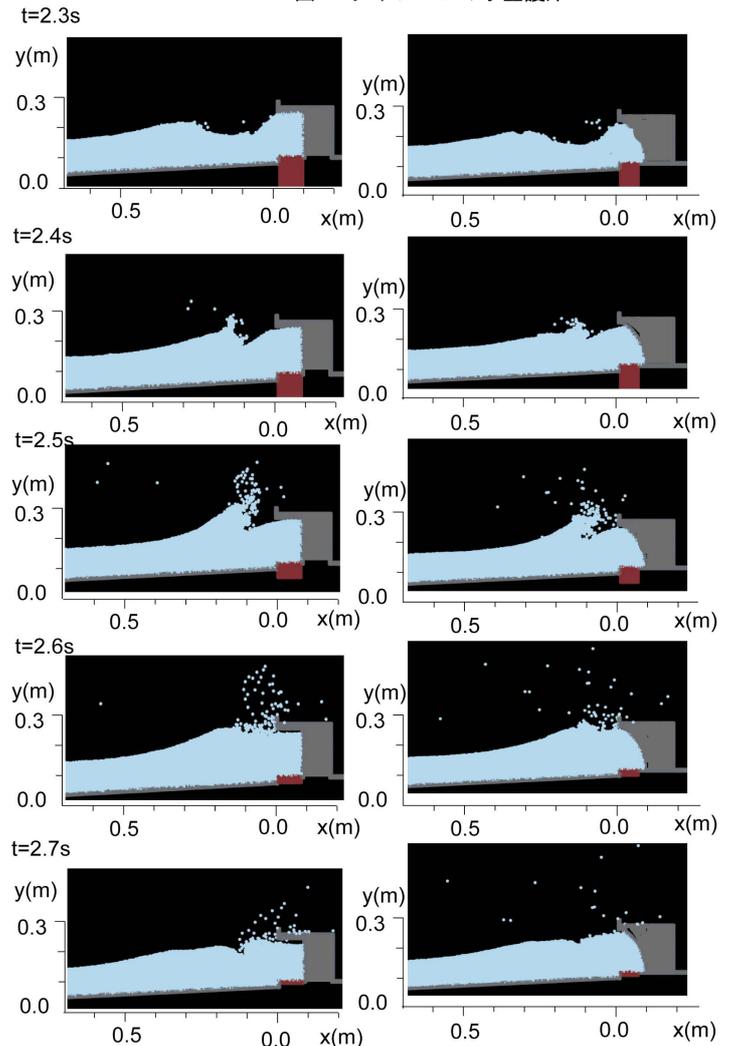


図3. スナップショット 左:コの字型, 右:アーチ型