

京都大学工学研究科 正会員 後藤 仁志

京都大学工学研究科 正会員 酒井 哲郎

京都大学工学部 学生員 〇林 稔

1.はじめに 本研究では Lagrange 的な手法により Navier-Stokes 式を離散化する粒子法(MPS 法;Kosizuka and Oka,1996)を用いて防波堤前面での砕波の状況、越波を対象とした数値解析を実施する。また透水性構造物の影響を考慮するための簡便法を用いて数値解析を行い、その効果を検討する。

2.Navier-Stokes 式の離散化 MPS 法においては、偏微分演算子と等価な粒子間の相互作用モデルを構築することによって、Navier-Stokes 式

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

の離散化を行う。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, $\mathbf{F}$ は外力でここでは重力, 透水層における抗力がそれに相当する。

Koshizuka らにより、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。圧力項およ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 法では圧力項と粘性項を直接これらの物理的な勾配およ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 の圧力項と拡散項を以下に示す。

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

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

ここに、 r_{ij} :粒子 i とその近傍粒子 j との距離, r_e :粒子間相互作用の計算半径, $w(r_{ij})$:重み関数, $\langle n_i \rangle$: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。

本論文では透水性構造物について独自に仮定を設ける。透水層の影響で流体に生じる付加的抗力,

$$\mathbf{F}_{pl} = \frac{3 \cdot C_d}{4d_0} \overline{|\mathbf{u}_i|} \mathbf{u}_i \quad ; \quad \mathbf{u}_i = \sum_{j \neq i} \mathbf{u}_j w_u(r_{ij})$$

が作用すると仮定し、上記のように与えた。また流体排除の効果は無視した。ここに、 C_d :抗力係数(=1.53), d_0 :粒子径, $\overline{|\mathbf{u}_i|}$:粒子近傍の局所平均流速ベクトルとした。

越波流量は、防波堤より岸側の水粒子の個数 n を数え、水量を $d_0^2 \cdot n$ として計算した。

3.防波堤前面砕波の数値解析 初期配列図を図-1に示し、実験条件を表-1に示す。ここで t_{cy} :造波壁の移動の周期、振幅:造波壁の振幅である。なお、case 名の第1添字は水理条件を、第2添字は防波堤先端の形状(図-2参照)を表している。本研究では、 R/h を変化させて4パターン計算を行った。また、1つの水理条件に対して、先端形状の違いにより、3種の計算を行っている。造波壁を一周期分クノイド波形に従って移動させて造波した。水平床での

数値解析の結果より沖波波高を計算したところ、沖波波高は 0.15m、波速は 1.5m/s と計測された。

図-3 は case1-a と case2-a との越波の瞬間を示したものであるが、越波する粒子の速度の違いが明らかである。また、先端形状を変えて計算したところ、波返しを考慮した場合、その他の形状に比べ越波が抑制されている状況が見てとれた。また、防波堤前面に透水性領域を配置した case4-a では、透水性領域での速度減衰の効果が確認できた。

前述の方法で越波粒子数から越波流量を算出したが、越波流量には、同一の水利条件の元で $\text{case-b} < \text{case-a} < \text{case-c}$ という大小関係が生じた。また、透水層を配置した場合、case4-a の条件では配置しなかったものと比べて越波流量が減少した。また、case1~3 の計算結果と合田(1970)による越波流量曲線の比較を図-4 に示す。本研究の結果は、合田が実験的に定めた関係とほぼ良好に一致しているものと考えられるが、case3 についてはばらつきが大きくなった。これは case3 は本研究中最も越波流量が少なかった条件であり、それによる誤差が生じているものと考えられる。

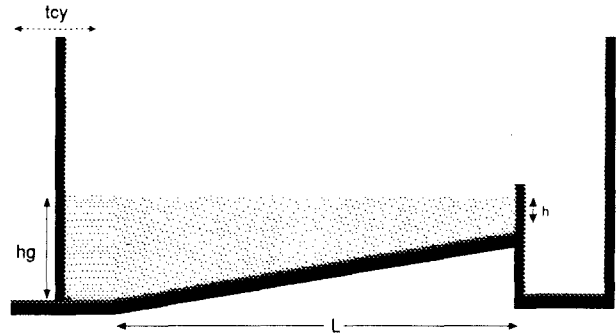


図-1 初期配列 (全体像)



図-2 先端形状について

名称	L (m)	hg (m)	h (m)	R (m)	tcy (s)	振幅(m)	海底勾配	透水層
case1	1.00	0.30	0.20	0.05	1.40	0.21	0.10	なし
case2	1.50	0.30	0.15	0.05	1.40	0.21	0.10	なし
case3	2.00	0.30	0.10	0.05	1.40	0.21	0.10	なし
case4	1.50	0.30	0.15	0.05	1.40	0.21	0.10	あり

表-1 各caseごとの条件

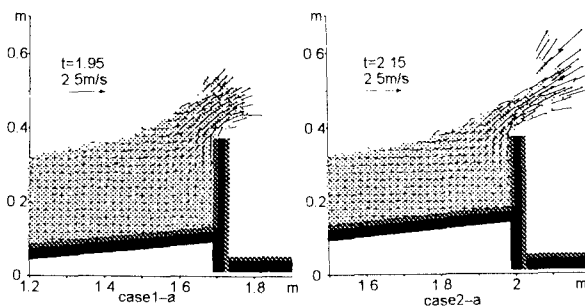


図-3 case1-aとcase2-aとの比較

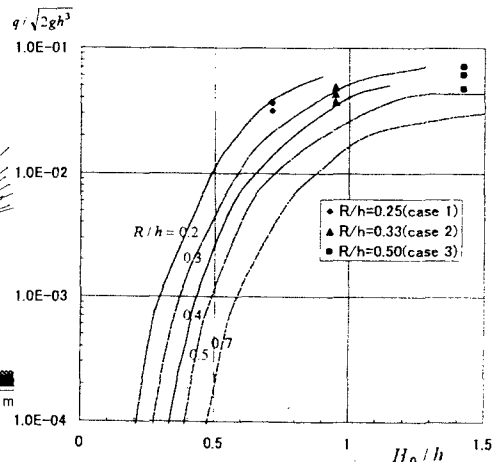


図-4 case1,case2,case3と合田の越波流量曲線との比較

参考文献：

合田 良実(1970)：防波護岸の越波流量に関する研究，港湾技術研究所報告，第9巻，第4号，pp.3-41

Kosizuka,S. and Y.Oka (1996)：Moving-Particle Semi Implicit Method for fragmentation of incompressible fluid, Nuclear Science and Engineering :123, pp.421-434.