

II-330 碎波変形機構の数値解析結果について

熊本大学 工学部 正 員 滝川 清

熊本大学 工学部 正 員 ○ 山田 文彦

熊本大学 工学部 学生員 松本 健作

1. 概説 碎波とは、水平方向に突き出して巻き、それが落下するという巻き込みジェットの形成であり、残余の波動場への再突入による流れ場の錯乱である。この変形過程では、波の強い非線形性が出現するため、解析解を得ることは非常に困難である。近年、コンピュータの発達とともに、様々な数値シミュレーションが行われるようになった。著者らは、FEMとSMAC法を組み合わせることで、斜面上の碎波変形について、かなり精度のよい解析手法を確立している。

本論文では、同様の手法を潜堤上碎波に適用し、その碎波変形、圧力分布特性について報告する。

2. 解析手法 斜面上碎波の計算に関しては、滝川¹⁾のFEMによる計算結果を、潜堤上碎波の計算に関しては、微小振幅波理論によってそれぞれ初期値を与えて、SMAC法で解析を行う。SMAC法が用いている基礎方程式は次にあげる非圧縮性粘性流体に関するNavier - Stokes の方程式と連続の式である。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} = - \frac{\partial \phi}{\partial x} + \nu \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) + F_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} = - \frac{\partial \phi}{\partial y} - \nu \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) + F_y \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ここで u, v : 流速の x, y 成分, ϕ : 圧力/密度, ν : 動粘性係数, F_x, F_y : 外力の x, y 成分

(1)式を y で、(2)式を x で微分し、前者から後者を引くと、圧力の項が消えて、渦度の輸送に関する方程式を得ることができる。すなわち、渦度は圧力に独立であり、N-S 方程式にどのような圧力場を仮定しても、その結果得られる流速場は正しい渦度を輸送していることがわかる。しかし、この流速場は(3)式を満足していない。そこでこの流速にポテンシャル関数の勾配を加えた変数を考え、これが連続式を満たすように関数の設定を行えば、新しい流速場は渦度を正しく輸送し、連続の式も満足する一意的な解に一致する。

3. 計算条件と解析結果 斜面上碎波では、計算の初期条件として、滝川の有限要素法による碎波直前の結果を用いた。その時の計算条件は、斜面勾配 $1/20$ 波の周期 2.5 sec 碎波水深 13.4 cm 碎波波高 11.3 cm 換算沖波波形勾配 0.0083 である。また、SMAC法におけるセルは、 2.0 cm (X 方向) $\times 1.0 \text{ cm}$ (Y 方向) とし、計算の時間ステップは、安定条件から 0.0025 sec とした。このときの計算結果を図-1に示す。(a) (b) (c) はそれぞれ初期状態から $0.4, 0.6, 0.8$ 秒後のマーカー粒子である。(a) の 0.4 秒後の図では、波の峰から水塊が飛び出して、巻き込みジェットを形成している様子が見える。(b) の 0.6 秒後の図では、巻き込みジェットが水面に突入し、気泡を含むboreが形成されている。また、突入によって、新たな水塊が飛び出している様子もうかがえる。(c) の 0.8 秒後の図では、飛び出した第2の水塊も水面に突入し、boreの領域も波の前面に広がっている。第3の水塊の飛び出しは、顕著には表れていない。

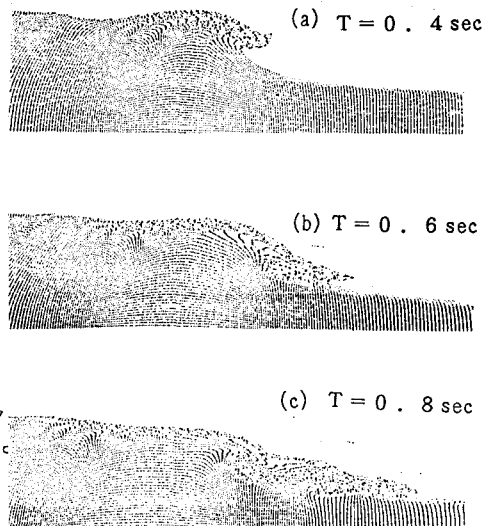


図-1 斜面上碎波の数値計算結果
マーカー粒子

図2, 3に潜上碎波の計算結果を示す。堤潜堤上碎波では、計算の初期条件としては微小振幅波理論を用いた。計算条件は、水平床で、斜面勾配0、水深20cm 周期0.4386 sec 波高5.0 cm 波長130 cmである。SMAC法におけるセル及び、計算の時間ステップは、斜面上碎波と同じである。図-2 (a) (b) (c)は、それぞれ初期状態から0.1, 0.2, 0.3秒後のマーカ粒子とそれに対応する流速ベクトルである。(a)の0.1秒後の図では、波が対称性を失って前傾している。波の前面下方では粒子が峰から崩れ落ちている様子がうかがえる。右側で水位が若干上昇しているのは、右側境界で波が反射しているためだと思われる。また、このときの流速ベクトルの図では、潜堤上方にさしかかった波の流速ベクトルは、波の下部では前方斜め下の潜堤方向を向いており、潜堤にぶつかった波が潜堤上辺に落ち込んでいる様子があらわれているものと思われる。(b)の0.2秒後の図では、水塊は、水面に突入している。(c)の0.3秒後の図では、右側境界からの反射波の影響によって粒子の乱れが見られる。図-3は、初期状態から0.3秒後の渦度分布をあらわしたものである。入射波と反射波の衝突によるものと思われる大きな渦が発生しているが、衝突点以外においても潜堤の上辺に沿って非常に大きな渦が発生している。値は 500 sec^{-1} 程度であり、bore部における 150 sec^{-1} 程度の渦に比べるとはるかに大きな渦が発生していることになる。なお、圧力分布特性等、詳細については講演時に発表する予定である。

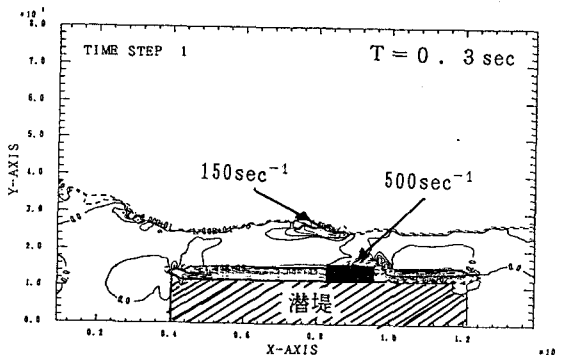
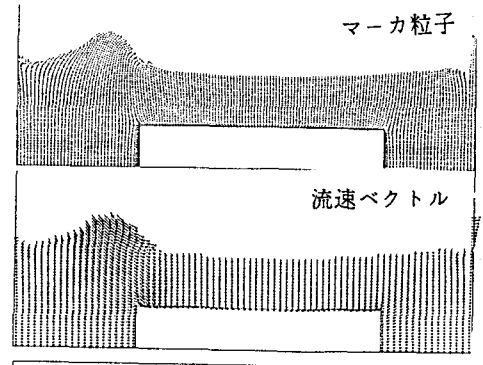
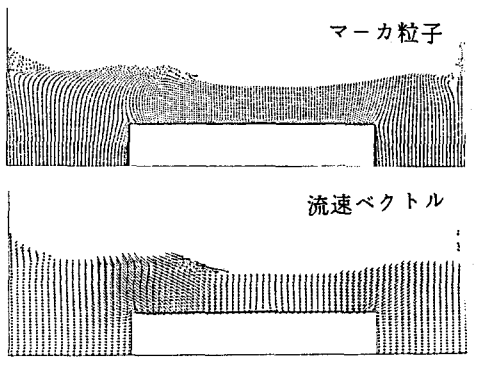


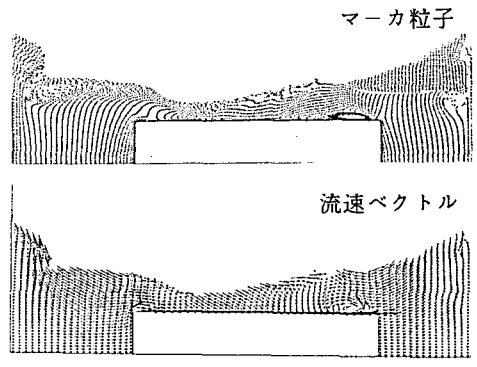
図-3 潜堤上碎波の数値計算結果
渦度分布



(a) $T = 0.1 \text{ sec}$



(b) $T = 0.2 \text{ sec}$



(c) $T = 0.3 \text{ sec}$

図-2 潜堤上碎波の数値計算結果
マーカ粒子
流速ベクトル

参考文献

- (1) 滝川 清・岩垣雄一・中川政博：有限要素法による斜面上の波の碎波変形と内部機構の解析
第30回海岸工学講演会論文集, pp. 20~24, 1983.