

斜面上の碎波変形機構の数値解析

熊本大学	工学部	正 員	滝川 清
熊本大学	工学部	学生員	○ 山田 文彦
熊本大学	工学部	学生員	加行 孝
熊本大学	工学部	学生員	羽倉 伸一

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、数値シミュレーションが行われるようになり、宮田ら⁽¹⁾は、TUMMAC法を用いて、巻き込みジェットが接触するまで計算を行っている。また、酒井ら⁽²⁾は滝川⁽³⁾の計算結果を用いMAC法で同様の計算を行っている。だが、ジェット着水時の扱い方には問題が残る。本研究はこの点を改良し、碎波帯を含む波変形場の一貫したシミュレーション手法の開発を行うものである。

2. 解析手法 ここでは、酒井らと同様、滝川の計算結果を初期値に用い、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。すなはち、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 計算の初期条件としては、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表-1の通りである。また、その碎波直前の計算結果を図-1に示す。SMAC法におけるセルは、1.0 cm (X 方向) × 0.5 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。斜面の存在を考慮するため、ここでは、① X 軸を斜面に平行にとる。従って、重力加速度はX成分を有する。②斜面を階段状に近似し、鉛直方向のみ重力を作用させる。③差分格子網を横切る境界設置法を用いる。以上の3つのタイプを考える。計算領域は、X方向に114cm, y方向に40cmである。酒井らは流入・流出速度を一樣流としているが、本研究では境界での流速値をそのまま使用できるように改良した。また、酒井らは初期値に流速のみを用いているが、波動運動では加速度は重要な要因であるので、それも考慮できるようにしている。図-2には流速のみ考慮した計算結果を示す。

表-1 滝川の計算条件

i	T (sec)	h_b (cm)	H_b (cm)	H_0/L_0
1/20	2.5	13.4	11.3	0.0083

i : 斜面勾配, T : 波の周期
 h_b : 碎波水深, H_b : 碎波波高
 H_0/L_0 : 換算冲波波形勾配

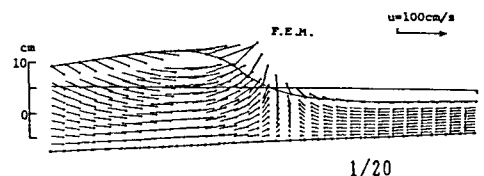


図-1 初期条件に用いた計算結果

4. 考察 図-2の(1)は初期状態を示す。底面からの
の峯高は、約 22cm である。この場合の線形長波の速
度 $\sqrt{gh}$ は、約 110cm/sec である。x 方向の最大の水
粒子速度も約 110cm/sec で、線形長波の伝播速度には
ほぼ等しい。なお、この初期状態は、図-1のF.E.M 結
果からcomputerにより、直接入力できるようになって
いる。(2)は 0.2sec後の計算結果を示す。波頭は、
初期状態から約 32cm 岸側へ移動している。また、
その前面は、垂直に立ち上がっており、ここを砕波点
と見なすことができる。この時間では、波頭の移動に
ともなって、波頭下のマーカー粒子は、上昇運動を行っ
ている。これは、巻き波砕波へと移行して行く初期の
過程を表すものと考えられる。左右の流出入境界では、
簡単のため、初期値を保持したままとしており、これ
に対する若干の改良が必要である。(3)は、0.3sec
後の結果を示している。下側の図は、波の峰からの水
塊の飛び出し (jet)の存在を示している。飛び出した
jetと前面の水面の間に存在する空洞部(air tube)は、
酒井らの計算では実験値より、小さな値となっている
が、本研究室で行った実験値とこの計算値との比較で
は、たがいに4.0 cm 程度となり、一致している。実
験結果を(4)に示すが、画面のハードコピーである
ため若干明瞭さにかけている。実験方法の詳細は文献
(5)に詳しい。

また、速度ベクトルは jet部分が最も大きな値を示し、
このステップでは、波頭下に上昇したマーカーが jet部
分に取り込まれる様子がよく現れている。

(5)は、0.4 sec 後の計算結果を示す。jet 部分は、
前面の水面に衝突している。上の図から、再び跳ね
上がりスプラッシュする水塊の速度はかなり速いこと
がわかる。前述したような、衝突を含めた改良手法に
ついては講演時に発表する予定である。今後の課題と
しては、可視化実験との比較による計算精度の、より
厳密な検討を行い、砕波から波再生に至るシミュレ
ーション手法を確立することである。

最後に、本研究は昭和63年度文部省科学研
究費による研究の一部であることを記し、
ここに謝意を表す。

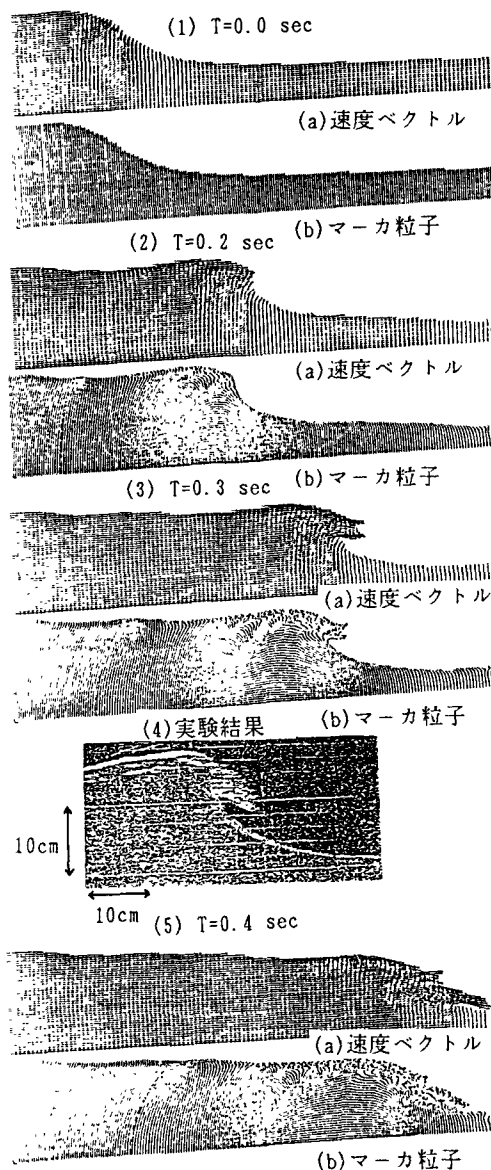


図-2 数値計算結果 (1)~(3), (5)

参考文献

- (1) HIDEAKI MIYATA : Finite - Difference Simulation of Braking Waves, J.Comput.phys 65, 179-214(1986)
- (2) 酒井哲郎・水谷太作・田中秀明・多田幸夫: 斜面上の巻き波型砕波の砕波後の運動機構の数値解析, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 71~75, 1987.
- (3) 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砕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.
- (4) 武内智行: 自由表面を持つ急変不定流の数値解析に関する研究-MAC法による不定流解析(1) 農業土木学会論文集第87号, PP. 44~52, 1983
- (5) 羽倉伸一・滝川 清・山田彦彦・加行 孝: ビデオ画像解析による砕波変形特性について 平成元年度土木学会西部支部研究発表会論文集 投稿中