

SMAC 法を用いたフレア型護岸近傍波動場の数値計算

九州大学大学院 学生員 上久保祐志

九州大学大学院 正会員 入江 功

宮崎大学大学院 正会員 村上 啓介

1. はじめに

近年、海岸におけるアメニティ向上の要請から、護岸天端を低くして景観を妨げないこと、および、護岸上を散策・遊漁といったレクリエーションのために親水空間として開放することが望まれているが、護岸上を安全に開放するためには越波の阻止（越波量を極力小さくすること）が重要な課題となる。著者らは十分な越波阻止機能を有し、低天端となりうる護岸の一つとしてフレア型護岸を考案し、その水理特性を実験的に検討してきた¹⁾。その結果、様々な越波制御特性・波圧特性を得ることができたが、現段階ではフレア型護岸近傍の詳しい流体運動の様子を十分に把握できていないため、数値計算を用いた、より詳細な現象の把握が必要となる。

本研究では、自由表面を持つ現象の解析に有効な数値計算手法の一つである SMAC 法を用い、フレア型護岸近傍の流体運動と、フレア型護岸下部におけるフーチングの有無が越波制御機能に及ぼす効果を検討することを目的とする。

2. 数値計算方法の概説

SMAC 法では、非圧縮粘性流体を対象とした 2 次元波動場を考え、以下に示す連続の式(1)と Navier-Stokes 運動方程式(2)(3)を基礎方程式として用いる。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial (uv)}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial (uv)}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 x, y : 水平・鉛直座標、 u, w : 流速の水平・鉛直成分、 p : 圧力、 ρ : 流体密度、 ν : 動粘性係数、 g : 重力加速度、 t : 時間を表す。

本論では、図-1 のように領域を格子状に区切り、その計算格子（セル）の中央に p 、格子上に流速 u, w を置く staggered grid を用いて、上述の基礎方程式を差分近似して数値計算を行う。セルはマーカーの有無や初期状態、まわりのセルの状況により数種類に分類される。

まずはじめに、静水位、入射波条件、構造物位置等の初期条件を入力する。次に、流速の境界条件を満足するように式(2)(3)を解き、次の時間ステップの流速を計算する。しかし、このとき式(2)(3)から得られた流速は必ずしも式(1)を満たしていないため、流速と圧力を調整しながら式(1)を満たすまで繰り返し計算を行う必要がある。SMAC 法ではポテンシャル関数を導入し、これを繰り返し計算によって解く。求められたポテンシャル関数から流速を求め、この流速の補間によってセル内のマーカーを移動させ、次の時間ステップでの流体の位置を決定する。同時に、セルの状態を変更し、次の時間ステップの計算に備える。以上述べた計算の流れを各時間ステップで繰り返すことにより時間発展計算が可能となる。

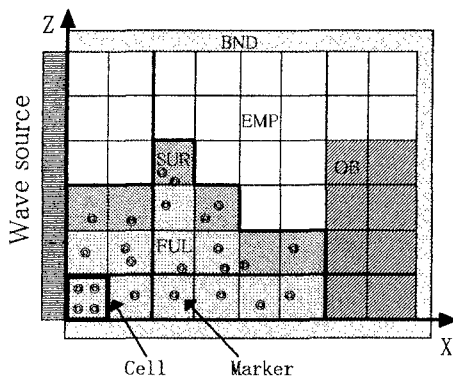


図-1 計算領域の説明図

3. 数値計算結果

フレア型護岸近傍の流体運動と、フーチングの有無が限界天端高さに及ぼす効果を検討する目的でSMAC法を用いた数値計算を行った。計算の初期条件を図-2に示す。計算に用いたフレア型護岸は、四半円形のフレア型護岸(1)と同型の護岸にフーチングを付けた護岸(2)の2種類で、フーチングは常に水表面下に没するように設置した。

SMAC法の数値計算におけるセルは、0.5cm (x方向) × 0.25cm (y方向) とした。また、差分には2次の風上差分を用い、造波境界は波浪条件に応じてストークス波第5次近似解とクノイド波第3次近似解を適用した²⁾。入射波の条件は、波形勾配 $H_0/L_0=0.036$ のもとで波高を2.4cmと2.6cm、それぞれの周期は0.65sと0.68sとした。なお、比較のために同様の条件で水理模型実験を行った

Wave source

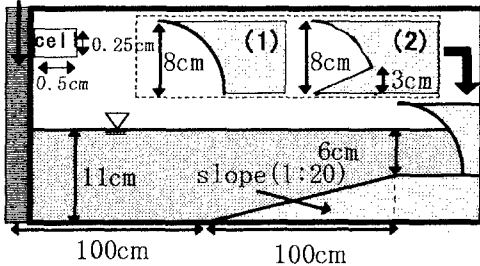


図-2 計算領域の説明図

図-3は、護岸近傍の水面形および速度ベクトルを示したもので、(A)(B)は非越波、(C)(D)は越波となる入射波高（非越波では $H_0=2.4\text{cm}$ 、越波では $H_0=2.6\text{cm}$ ）を与えた場合の計算結果の一例を示している。図中の t は造波開始からの経過時間を示す。時間経過とともに護岸前面の水位は上昇し、最大水位が生じる $t=2.8\text{s}$ あたりで(A)(B)では非越波、(C)(D)では越波が再現されている。フーチングがある場合とない場合とについて数値計算から求めた限界天端高さと水面近傍の流速ベクトルを比較した結果、両者はほぼ同様であり、フーチングの設置が越波阻止機能に影響を与えないことが数値計算でも確認できた。

4. あとがき

本研究では、SMAC法を用い、フレア型護岸近傍の流体運動と、フレア型護岸下部におけるフーチングの有無が越波制御機能に及ぼす効果を検討した。結果、数値計算は実際の現象の定性的な様子を再現できており、水理模型実験同様、フーチングの設置が越波阻止機能に影響を与えないことが確認できた。

1) 村上啓介ら (1996) : 非越波型防波護岸の護岸天端高さと作用波圧について、海岸工学論文集、第43巻、pp. 776-780.

2) 磯部雅彦ら (1978) : 保存波の摂動解の波高による表示、第33回年講概要集、II、pp. 760-761.

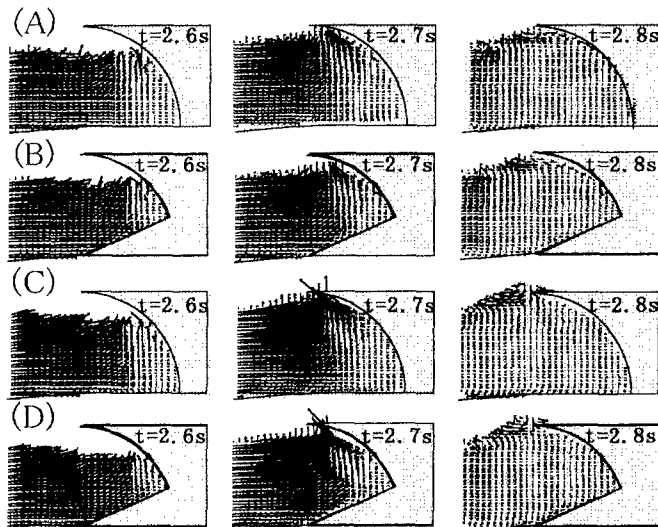


図-3 数値計算結果