

II -31 部分的に波形の分解能を上げたVOF法の数値計算

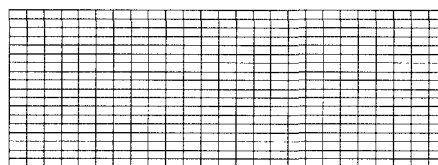
防衛大学校土木工学教室 正会員 藤間功司・喜田義輝
東亜建設工業 正会員 青野利夫

1. はじめに

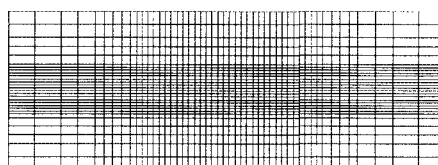
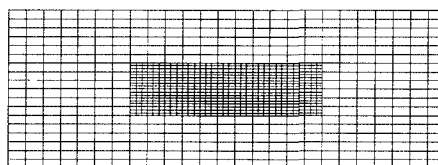
VOF (Volume Of Fluid) 法は、自由表面を表すために計算格子内での流体割合を表す変数 F を使う計算手法であり、砕波なども再現可能な実用的な数値計算手法として、防波堤の設計などに用いられつつある。

一般的に言って、波の変形を精度よく再現するためには計算において細かな格子を採用し、空間の分解能を上げる必要がある。一方、安定的な造波・消波を行うためには構造物を囲む広大な領域を計算領域にする必要があり、実用性を考慮するとあまりに細かな格子は採用しにくい。また、必要な精度から言っても、構造物や砕波領域から離れるとそれほど細かな格子は不要なのが普通である。そこで、砕波領域や構造物周辺でのみ細かな格子を使い、それ以外の領域では大きな格子を使うなどしてメモリーを節約することが望ましい。しかし、格子間隔 Δx 、 Δz を徐々に変化させる方法(図1(B))では格子の縦横比が1から著しくはずれた格子ができてしまい、計算の安定性や精度の観点から好ましくない。格子間隔を変化させ、かつ格子の縦横比を適正に保つためには、計算領域を大格子領域と小格子領域に分けて領域接続するか、あるいは大領域内に入れ子式に小格子領域を設定するなどの方法が望ましい。

そこで、ここでは、VOF 法における領域分割手法の開発の第1歩として、図1(C)のように計算領域内の一部でのみ F の計算に $1/3 \times 1/3$ の格子を使い、波形の分解能を上げることを試みる。



(A) 均一格子

(B) Δx 、 Δz を徐々に変えた格子

(C) 本研究で用いた格子

図1 計算格子

2. 計算方法

VOF 法では、格子内での流体の割合を表す変数 F の移流方程式を解くことによって水表面形の時間変化を得る。本計算手法は基本的に通常の VOF 法と同じで、流速と圧力は通常の VOF 法のアルゴリズムにしたがい、計算領域全体で大格子を使って計算する。 F の移流方程式を解く部分だけを以下のように置換える。

- ① 大格子で計算された流速値を線形補間し、小格子での流速を求める。
- ② 小格子での F の移流方程式を解く。境界での F の値は大格子での値から決定する。
- ③ 大格子での F の移流方程式を解く。小格子領域では小格子の F を平均し、大格子での F 値とする。

すなわち、本計算手法では流速・圧力の分解能まで上げているわけではなく、計算精度は通常の VOF 法と同じである。しかし、通常の VOF 法では格子内で流体が水平または垂直であると見なして F の移流計算を行うが、本計算手法では、格子の中を9分割した上で F の移流計算を行う。そのため、格子の中での F の分布を考慮することができる。

キーワード VOF 法、砕波、多重格子

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校土木工学教室

TEL: 0468-41-3810(内線 2355) FAX: 0468-44-5913 E-mail: fujima@cc.nda.ac.jp

3. 計算結果

計算条件を図-2に示す。大格子は計算領域をx方向に400分割、z方向に50分割しており、潜堤周辺の潜堤より上の領域を小格子に切っている。入射波は周期8s、波高3mのStokes波である。

均一な大格子を使った、通常のVOF法による波形の計算結果の一部を図3(A)に、部分的にFの分解能を上げた本計算手法を使った、同時刻の波形を図3(B)に示す。なお、図3の波形は $F=0.5$ のコンターとして描いたものである。潜堤から離れた領域では両者の計算結果にほとんど差がないが、本計算手法ではより複雑な碎波波形が得られている。通常のVOF法の結果(A)は(B)の碎波波形を押しつぶしたような形になっている。

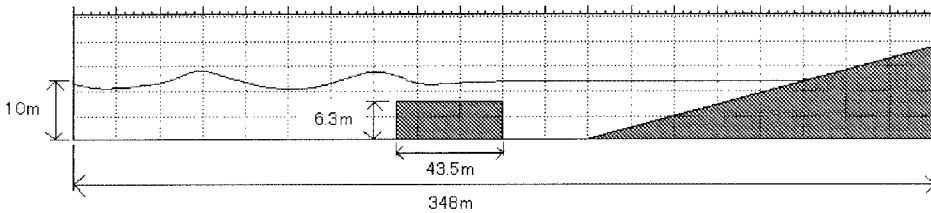


図2 計算領域

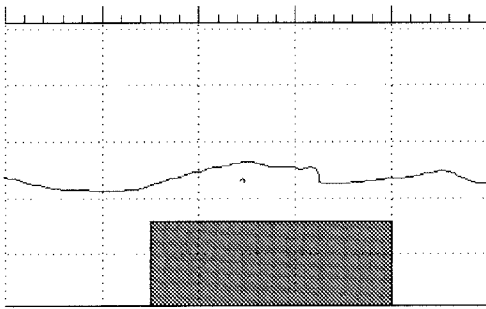


図3(A) 均一格子を使った計算結果

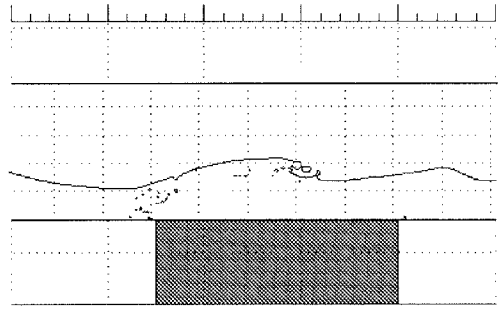


図3(B) 本計算手法を使った計算結果

4. 結論

波形に関してのみ空間分解能を上げた本計算手法では、本質的に計算精度が向上するわけではないが、格子の中で流体が水平または垂直に分布すると見なして計算を進める通常のVOF法に比べ、より複雑な波形を表現できる。計算時間も、通常のVOF法とほとんど同じである。

ただし、流速を線形補間しているため、小格子で連続の式が必ずしも満たされない。そのため、図3(B)では小さな気泡が潜堤付近から発生してしまっている。小格子の領域でも圧力緩和計算を実施し、連続の式を満たすようにするか、または物理的に意味のある気泡が計算誤差かを識別する閾値を甘くするなどして、不合理な気泡が発生しないようにする必要がある。また、物理的に意味のある気泡であれば、その気泡を浮力によって水表面まで移動させるなどの工夫が必要であろう。

謝辞 本研究の一部は「数値波動水槽の耐波設計への適用に関する研究会」（代表：東京大学磯部教授）の活動の一環として行われました。ここに記して、関係各位に謝意を表します。