

## 波浪の数値計算

日大生産工(院) ○岡野谷 知樹 日大生産工 鷺見 浩一

### 1. はじめに

沿岸災害や海域環境の総合的対策を講じるためには、対象海域における物理環境場の機構を精緻に解明することが必要である。これまで、沿岸域の海象場を明らかにするために、理論、水理模型実験、数値計算を活用しながら、多数の研究が系統的に行われてきた。しかし、沿岸域における物理環境場は、風、波浪、流れ、漂砂、構造物などの固相・気相・液相の多相場が複雑に絡み合っており、未解明な現象が現在もなお存在している。

近年、コンピュータの高速化および数値解析技術の発達に伴い、CFD(Computational Fluid Dynamics)技術が海岸・水工学分野においても理論や水理模型実験に代わる一手段として、重要性が認識されつつある。

本研究では、コンピュータによる流体の数値シミュレーションを行い、直立堤の周辺における波の越波状況を検討した。さらに、自由界面の解析手法には、MARS法とVOF法を適用し、それぞれの手法の界面の取り扱いの差異による波内部の流速や圧力値、水面変化量を考究した。

### 2. 数値計算

数値計算を実施するにあたって、構造物や造波境界の設定をする必要がある。計算領域は水路長 20.0m、高さ  $H=1.50\text{m}$  とし、初期水深  $h=0.70\text{m}$  とした。入射波条件は波高  $H=0.23\text{m}$ 、周期  $T=3.67\text{s}$  の微小振幅波とした。構造物は水路岸側端に設置し、上底 0.60m、下底 14.00m、高さ 0.90m の直立堤をとした。

自由水面を有する波の数値計算の研究に関

してはHirt・Nichols(1981)によるVOF法の開発により、波の変形や自由表面形状のモデル化、構造物への波の作用に関する数値解析が発展している。功刀(1997)により考案されたMARS法は、VOF法を応用した自由界面の解法である。MARS法は流体体積率の輸送方程式をNavier-Stokes方程式と連立させ解くVOF法のDonor-Acceptor法に基づく厳密な界面の体積保存に加えて、計算格子の界面勾配を一次関数として近似するline-segment関数の導入により、界面形状の正確な捕獲と輸送および格子界面内での流体率の連続性が考慮可能となった多相流の直接解析手法である。

水平方向を  $X$ 、水深方向を  $Z$  とする多相流の連続式、運動方程式をそれぞれ式(1)~(4)に示す。

$$\frac{\partial(F_1 + F_2)}{\partial t} + \frac{\partial F_1 u}{\partial x} + \frac{\partial F_1 w}{\partial z} + \frac{\partial F_2 u}{\partial x} + \frac{\partial F_2 w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = - \frac{1}{F_1 \rho_1 + F_2 \rho_2} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( [v] \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( [v] \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\delta w}{\delta t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -g - \frac{1}{F_1 \rho_1 + F_2 \rho_2} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left( [v] \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( [v] \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial t} + \frac{\partial F_1 u}{\partial x} + \frac{\partial F_1 w}{\partial z} - F_1 \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (4a)$$

$$F_1 + F_2 = 1.0 \quad (4b)$$

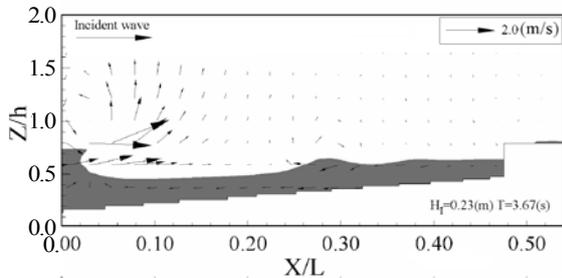
Numerical Analysis of Wave

Tomoki Okanoya and Hirokazu Sumi

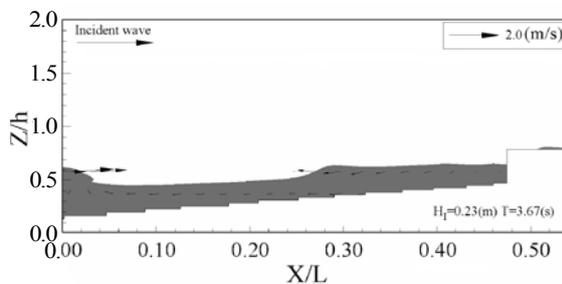
ここに、 $F_1, F_2$ は気相と液相の流体体積率、 $u, w$ は $X, Z$ 方向の流速、 $P$ は圧力、 $\rho_1, \rho_2$ は気相と液相の密度、 $\nu$ は動粘性係数である。

### 3. 計算結果

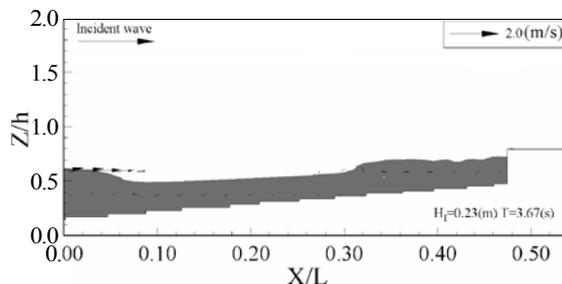
図-2は、各手法による界面形状の取り扱いを判別するために、水路岸川端から5mの地点において、造波開始から2波目の波頂部が最大となることを $X=0$ とした際の空間ベクトル図である。水表面の形状に若干の差異が確認できた。また、二流体MARS法では、一流体MARS法に比して、気相の影響により波頂部付近において流速が大きくなっていることが判る。



(a)MARS 法二流体



(b)MARS 法一流体



(c)VOF 法二流体

図-2 計算結果

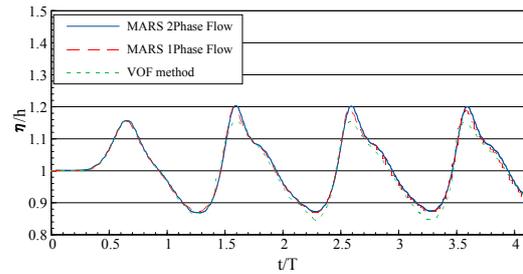


図-3 水面変化量と時間の関係

図-3に、各手法の構造物付近における水面変化量と時間の関係を示した。今回の研究では、VOF法ではMARS法に比して、水面変動が小さく表れる傾向が見られた。また、図-2の結果からもVOF法では、波頂部において水面変動が小さく表れる傾向が見られる。

### 4. まとめ

計算結果から、界面の形状保存性および連続性の差異により、VOF法とMARS法では流速ベクトル図および水面形状に関してMARS法がより詳細な結果を得ることができた。

### 5. 参考文献

- 1)川崎浩司, 潜水構造物による砕波変形と再生過程に関する基礎的研究, 名古屋大学博士学位論文, (1998), p.1~44.
- 2)川崎浩司, 海岸工学分野における数値波動水槽の研究・開発について, 数理解析研究所考究録, 1673巻, (2010), p.77~90.
- 3)功刀資彰, 自由界面を含む多相流の直接数値解析法, 日本機械学会論文集, 21巻, (1997), p.88~96.
- 4)長瀬恭一, 島田昌也, MARS法を用いた数値波動水槽に関する研究, 海岸工学論文集, 47巻, (2000), p.46~47.
- 5)C.W. HIRT and B.D.NICHOLS, Volume of fluid(VOF) method for the dynamics of free boundaries, Jour.Comp.Phys, (1981), Vol.39, p.201-225.