

# OpenFOAM を用いた浅水域から遡上域における水位変動計算精度の検討

鹿児島大学工学部海洋土木工学科 学生会員 ○松島康太  
 鹿児島大学技術部 正会員 井崎丈・非会員 種田哲也  
 株式会社エコ一 正会員 石本健治  
 鹿児島大学大学院理工学研究科 正会員 長山昭夫・浅野敏之

## 1. 研究背景・目的

警視庁の発表によると、平成 26 年度の水難事故による死者・行方不明者は 740 名、そのうち海域での死者・行方不明者は 351 名であった。海域で発生する水難事故の多くは浅水域から波の遡上域で発生するため、この領域における波の 3 次元的流動が水難者に与える影響を定量的に検討する必要がある。そこで本研究では、海岸工学分野において波浪推算精度の検討が多くない OpenFOAM と多くの知見が蓄積されている CADMAS-SURF の 2 つの数値解析モデルを用いて、浅水域から波の遡上域の水位変動に的を絞り、その精度の検討を行った。また本報は 2 次元解析を対象とする。

## 2. 数値モデルの概要

### 2.1 OpenFOAM

OpenFOAM は C++ の流体解析ライブラリに特化したオープンソースのソフトであり、有限体積法を採用している。また VOF 法を用いた 2 相流解析ソルバがあり interFoam と称されている。今回使用するソルバは、この interFoam に造波ソースと反射波を吸収する境界条件を追加した ihFoam である。以下に基礎方程式を示す。

$$\nabla \mathbf{u} = 0 \quad \dots(1)$$

Navier-Stokes 式

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial x^2} \quad \dots(2)$$

流体率  $\alpha$  の移流方程式

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \mathbf{u}) + \nabla \cdot ((1-\alpha) \alpha \mathbf{u}_r) = 0 \quad \dots(3)$$

ここで  $\mathbf{u}$ : 流速ベクトル、 $t$ : 時間、 $\rho$ : 密度、 $p$ : 圧力、 $\nu$ : 動粘性係数、 $\mathbf{u}_r$ : 相対速である。また、流体率  $\alpha$  は  $\alpha=0$ : liquid phase,  $0<\alpha<1$ : interface,  $\alpha=1$ : gas phase である。なお、(3) 式の左辺第 3 項は界面圧縮項であり界面が広がることを防ぐために用いられる。

### 2.2 CADMAS-SURF

CADMAS-SURF は 1 相流解析、有限差分法を採用している。基礎方程式は上述の式(1)、(2)と VOF 関数  $F$  の保存方程式(4)である。(4)式は(3)式の第 3 項を考慮しない場合、等価となる。

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{u}F) = 0 \quad \dots(4)$$

## 3. 数値モデルでの水位変動計算条件

### 3.1 OpenFOAM

#### 3.1-a 各条件

鹿児島大学が保有する造波装置付き平面波動水槽の中央断面図を図-1 に示す。この断面図を 1/10 スケー

ルの 6 ケース(表-1)でモデル化した。なお、格子については CADMAS-SURF との比較のために直交格子とした。造波条件と境界条件については表-2 に示す。

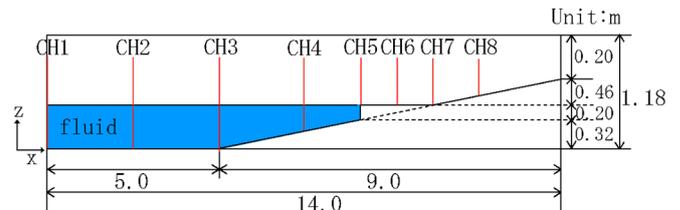


図-1 平面波動水槽中央断面図

表-1 検討ケース

	$L/\Delta x$	$H/\Delta z$
Case1	51	3
Case2	51	15
Case3	51	30
Case4	103	3
Case5	103	15
Case6	103	30

表-2 造波条件・境界条件

造波条件	Type	regular
	Theory	cnoidal
	Period	3.0s
	Height	0.3m
計算時間間隔		$C_{max}=0.45$
水	動粘性係数 $\nu$	$1 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$
	密度 $\rho$	$1000 \text{kg}/\text{m}^3$
空気	動粘性係数 $\nu$	$1.48 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$
	密度 $\rho$	$1 \text{kg}/\text{m}^3$
乱流モデル		laminar
速度境界条件	流入	IH_Waves InletVelocity
	流出	IH_3D_2DAbsorption InletVelocity
	壁面	fix Value
圧力境界条件	流入	zeroGradient
	流出	zeroGradient
	壁面	zeroGradient
界面の数値拡散抑制パラメータ $C\alpha$		1

### 3.1-b 水位変動計算結果

図-1 に示す 8 つの CH 位置(CH1~8)にて各ケースの水位変動結果の比較を行った。今回は、造波位置である CH1 での計算結果を図-2、最も岸側遡上域の CH8 における計算結果を図-3 に示す。また Case1 と Case6 における CH8 付近の同時刻における流体率  $\alpha$  の挙動を図-4 に示す。

図-2 より各ケースにおいて設定した条件が再現されていることがわかる。しかしながら、 $H/\Delta z$  の小さい case1 と case4 においては、水位が下がる時に他のケースと異なる挙動を示し誤差が大きくなることがわかった。

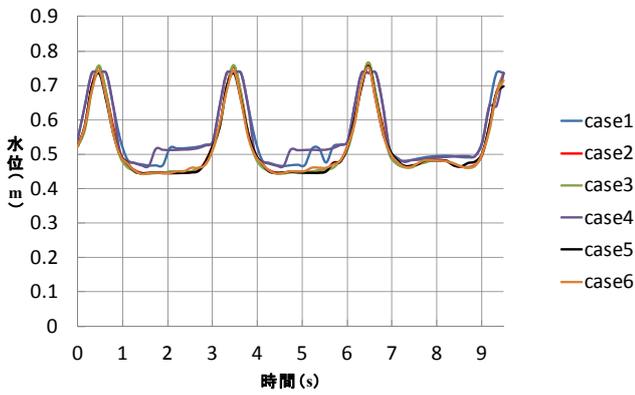


図-2 CH1における水位変動

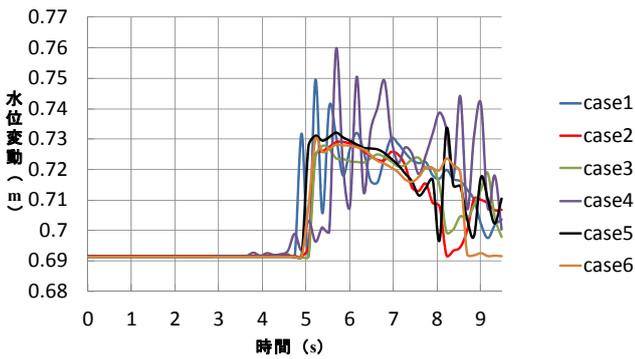


図-3 CH8における水位変動

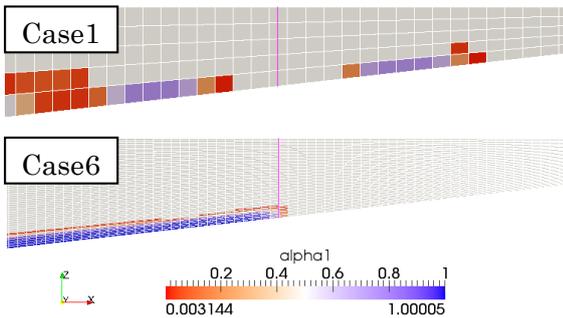


図-4 CH8 付近の同時刻における流体率  $\alpha$

次に最も岸側の遡上域である図-3においては、 $H/\Delta z$ の小さい case1 と case4 において振動が発生することがわかり  $H/\Delta z$  が小さいと振動が発生することが予測されるが case6 のように  $H/\Delta z$  が大きい場合でも 8s 以降では振動が発生していることがわかる。次に格子数の最も粗い case1 と格子が最も細かい case6 における CH8 における流体率を示す図-4 においては、格子数の影響により流体率の遡上が大きく異なり、格子が粗い場合は流体率の先端部が分断されることがわかった。

### 3.2 CADMAS-SURF

平面波動水槽(図-1)を 1/1 スケール、case6 と同様の条件でモデル化し水位変動の計算を行った。Case6 と CADMAS-SURF における CH1 の水位変動の比較を図-5、CH8 における比較を図-6 に示す。図-5 より、各モデルの入射波高に違いが認められる。CADMAS-SURF は、造波初期に一旦水位が低下するのに対し、ihFoam の case6 では水位は低下せず設定した波が入射するこ

とがわかる。また CADMAS-SURF は今回の条件下においては、時間の経過と共に入射波形が維持できないこともわかった。一方、case6 においては入射波形はほぼ一定に保たれている。次に図-6 においては、両ケースとも類似した水位変動を示すことがわかった。しかしながら、ほぼ同様の格子条件にも関わらず CADMAS-SURF においては水位の微振動が発生することがわかり 13s 以降では全く異なった水位変動を示すことがわかった。

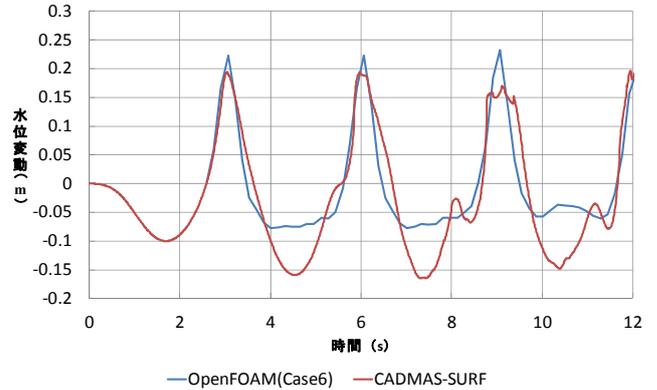


図-5 CH1における数値モデルの比較

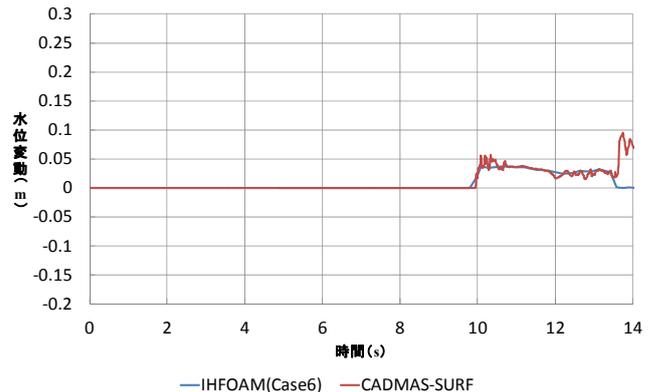


図-6 CH8における数値モデルの比較

## 4. まとめ

- 1) 沖の入射波と遡上域における水位変動結果について  $H/\Delta z$  の影響が大きいことがわかり、入射波に対して  $H/\Delta z$  は 15 以上、波の遡上域では  $H/\Delta z$  が 30 以上あれば精度が保たれる可能性が高い。
- 2) 格子が粗い場合、波の遡上域において流体率  $\alpha$  の先端部分が分断されることがある。
- 3) 今回の条件下において CADMAS-SURF よりも入射波形を維持でき、振動も発生しにくいこともわかった。

## 5. 今後の検討

平面波動水槽における造波実験を行い、観測データと計算結果との比較検討を行う。

### 謝辞

本研究の一部は、鹿児島県建設技術センター地域づくり助成事業(鹿建第 78 号)と鹿児島大学地域防災教育研究センター特別経費プロジェクトの助成を受け実施した。