

OpenFOAM における造波時の波高減衰に関する一考察

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○佐藤晴高
 名古屋大学大学院工学研究科 正会員 趙 容桓
 名古屋大学大学院工学研究科 正会員 中村友昭
 名古屋大学大学院工学研究科 フェロー 水谷法美

1. はじめに

流体解析ソフトウェアの一つである OpenFOAM (Open source field Operation And Manipulation) はオープンソースソフトウェアとして公開され、海岸・海洋工学分野の数値計算にも広く利用されている(川崎ら, 2013)。コードが公開されていることから、処理内容を確認し、必要に応じてコードを書き換えることが可能であり、サードパーティ開発の拡張機能を利用することができる。海岸工学分野では波を造波して計算を行い、流動場の検討や構造物との相互作用についての検討を行う。しかし、OpenFOAM では波の伝搬に従って波高の減衰が確認され、造波した波の再現精度を検討する必要がある。本研究では、二次元での造波シミュレーションにおいて波の伝搬距離による波高減衰に影響を与える要素について検討した。

2. 数値計算の概要

計算には二相流の非圧縮・等温・非混合ソルバーであり波の造波・吸収が可能な interFoam と造波・減衰境界について改良したサードパーティ製ソルバー olaFlow を用いた。基礎方程式は非圧縮性のナビエ・ストークス方程式と連続式であり、界面捕獲法として VOF (Volume Of Fluid) 法が利用されている。本検討に用いた計算領域は、図-1 に示すように長さ 6 m、高さ 1 m であり、波高の減衰現象を検討するために 2 つの波高計 (CH1, 2) を設置した。水深 $h = 0.425$ m であり、波条件は入力波高 $H = 0.1$ m、周期 $T = 1.8$ s のストークス波 5 次近似とし、二次元計算のため奥行方向は考慮していない。基本ケースにおけるその他の計算条件は表-1 の通りである。乱流モデルとしては $k-\epsilon$ モデルを採用し、界面付近での乱流抑制項を導入した。この項は Ansys 社製 Fluent など

他の商用プログラムで導入されていることが多い一方で interFoam では考慮されておらず、界面付近にて不自然に大きな流速が発生する原因となっている。計算条件による波の減衰率について検討するため、 x 方向格子幅、 z 方向格子幅、時間離散化スキーム、クーラン数、 $C\alpha$ 値を変化させ計算を行った。減衰率は CH1, CH2

表-1 基本ケースの計算条件

計算格子間隔	$x: 0.01$ m $y: 水面付近 0.01$ m
計算時間間隔	クーラン数により調整
クーラン数	0.3
時間離散化スキーム	Euler
対流項流速 離散化スキーム	upwind
$C\alpha$	0.1

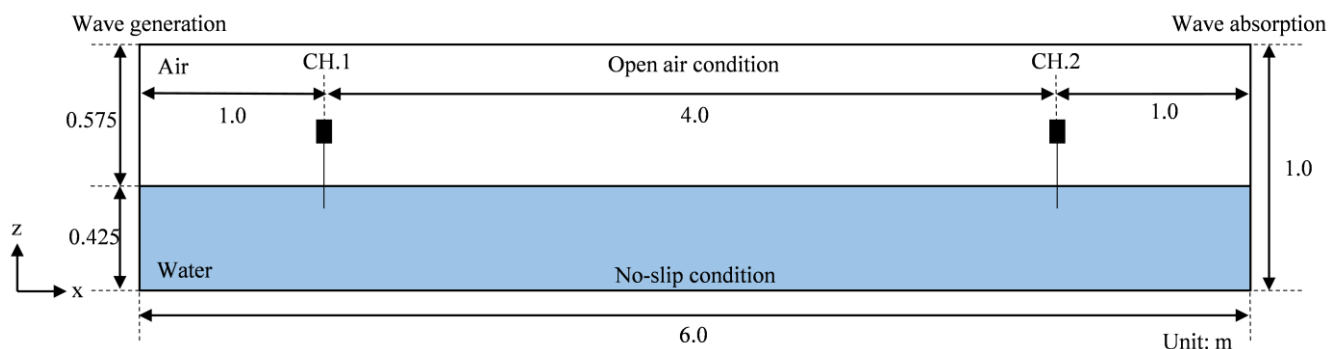


図-1 計算領域の概略図

の10波平均した波高から算出した。また、条件により造波吸収が不安定となる interFoam と比較した。

3. 実験結果および考察

表-2 に諸条件を変化させた際の CH1 (沖側) に対する CH2 の波高の減衰率を示す。ケース 1-8 では x, z 方向格子幅を変化させた。ケース 2-8 では格子幅が小さいほど減衰率は小さくなり、 x 方向と比較して z 方向の格子幅変化の影響が大きい。これは波高が 10 cm 程度であるのに対し、波長は 3.5 m 程度であり、格子幅に対する割合が異なることが原因であると考えられる。なお、ケース 1 では格子が小さすぎることで上手く計算が出来なかったため減衰率が大きくなっている。次にケース 9-12 において時間離散化スキームを変化させた。CN は陰解法に分類される Crank-Nicolson 法を表しており、係数は 0 から 1 に近づくほど陽解法から陰解法に近づく。結果より Euler 法から Crank-Nicolson 法に変更し、係数を 1 に近づけるほど減衰率が低下することが確認された。Euler 法は 1 次精度なのに対し、Crank-Nicolson 法は 2 次精度であり精度よく計算ができたと考えられる。続いてケース 13-15 においてクーラン数を変化させた結果、クーラン数を小さくすることで減衰率が低くなることが確認された。最後にケース 16-18 に $C\alpha$ 値変化による結果を示す。 $C\alpha$ は界面の圧縮を制御する係数であり、0 から 1 に近づくにつれて圧縮度合いが高くなり、拡散が小さくなるが水面形が変化することもある。 $C\alpha$ 値が大きくなるほど減衰率は小さくなった。これまでの結果より、計算コストを考えると時間の離散化スキームと $C\alpha$ 値を優先的に調整することが望ましいと考えられる。

表-3 にケース 13-15 における interFoam との比較を示す。ケース 13 では interFoam の減衰率が負の値をとっており、波吸収境界において入射波の一部が反射することで定常波のような波が形成されることが起因したと考えられる。また、olaFlow 使用時の減衰率は interFoam と比較すると大小関係は同じである一方で全体に大きくなっている。その理由は先述した波吸収境界の問題であり、interFoam では減衰率が過小評価されていると考えられる。これらのことから、OpenFOAM における造波・吸収を行う際には interFoam を改良した olaFlow などの使用が推奨される。

4. おわりに

OpenFOAM を用いた造波時の計算条件による波高減衰について比較を行った結果、計算コストを鑑みると格子幅とクーラン数の調整よりも優先して時間離散化スキーム、 $C\alpha$ の調整を行うことが望ましいと考えられる。また、interFoam を用いた造波計算の限界も確認され、olaFlow など造波・吸収境界に改良を加えたソルバーを利用することが必要である。本研究は公益財団法人立松財団の助成を受けたことを付記し、感謝の意を表する。

参考文献： [1]川崎, 松浦, 坂谷 (2013), 土論 B3 (海洋開発), Vol. 69, No. 2, pp. I_748-I_753.

表-2 計算条件による波高減衰率 (olaFlow)

Case No.	変化条件	条件の値	減衰率(%)
1	x 方向格子幅	0.005	36.82
2		0.01	16.65
3		0.02	17.80
4		0.04	20.01
5	z 方向格子幅	0.005	3.81
6		0.01	16.65
7		0.02	28.79
8		0.04	46.37
9	時間離散化スキーム	Euler	16.65
10		CN0.3	11.72
11		CN0.6	7.06
12		CN0.9	3.84
13	クーラン数	0.1	7.71
14		0.3	16.65
15		0.5	22.53
16	$C\alpha$	0.1	16.65
17		0.5	7.86
18		0.9	5.78

表-3 interFoam との比較

Case No.	条件の値	減衰率(%)	
		olaFlow	interFoam
13	0.1	7.71	-0.48
14	0.3	16.65	7.64
15	0.5	22.53	15.04