

MPS 法による数値造波水槽のためのエネルギー減衰帯及び
吸収制御システムを用いた無反射境界の開発

Development of Non-reflective boundary with damping area and absorbing control
for Numerical wave tank with MPS Method

○竹尾知峻¹, 相田康洋², 居駒知樹², 増田光一²

*Tomotaka Takeo¹, Yasuhiro Aida², Tomoki Ikoma², Koichi Masuda²

Abstract: In this study, we have developed a non-reflective boundary for a numerical wave tank by the MPS method. We introduced a wave absorption control that controls the position of the boundary by detecting the amount of water surface fluctuation in front of the boundary when setting a high viscosity area with a finite width from the end of the water tank as damping area. As a result, when the damping area was introduced, the wave amplitude at the edge of the water tank was reduced by about 50% compared to the traveling wave. By introducing wave absorbing control, we were able to reproduce the wave field of only traveling waves without generating overlapping waves.

1. 緒言

近年、海洋開発分野は技術の進歩とともにその領域を拡げ、海洋空間の有効的活用が期待されている。世界的には沖合での活動拠点として浮体式構造物の利用が一般的となっているが、浮体式構造物の波浪中性能の、より高度な評価のためには強非線形現象を含む波浪場における浮体運動の解析が今後の課題である。有力な手法として越塚ら¹によって提案されたMPS法がある。しかしMPS法では計算領域の外周を壁境界で構成した場合、壁境界による反射波により重複波が発生する。沖合海域を再現する場合には、反射波を吸収する境界を導入したMPS法の開発が必要である。そこで、本研究では沖合海域での複雑な波浪場における浮体運動の解析にMPS法を利用するための第一段階として、エネルギー減衰帯、波動吸収制御の開発を目的とする。

2. エネルギー減衰帯の導入

2.1 数値計算概要

本研究では、固定壁の手前に高粘性領域を設け、波振幅を減衰させる。固定壁の手前からそれぞれ波長の

2倍、3倍、4倍の長さを高粘性領域とした。数値水槽をFig.1に示す。減衰帯長さが違う結果を比較することで、どのケースにおいて消波性能が高いかを考察した。また、波高の計測地点は減衰帯直前の地点とした。

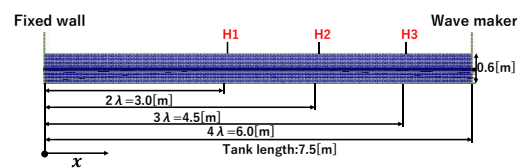


Fig.1 Numerical wave tank

Table.1 Simulation conditions

Total number of particles		41457
Particle distance		0.01[m]
Simulation time		40.0[sec]
Δt		1.0×10 ⁻³ [sec]
Kinematic viscosity coefficient at high viscosity area		1.0×10 ⁻² [m ² /sec]
Wave maker	amplitude	0.04[m]
	period	1.0[sec]

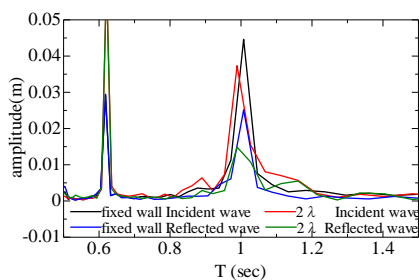


Fig.2 estimation of incident and reflected waves at 2λ

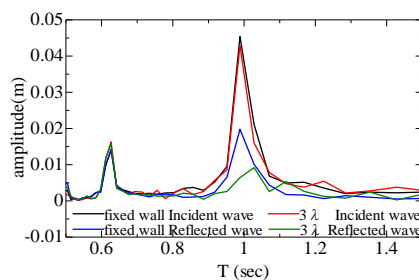


Fig.3 estimation of incident and reflected waves at 3λ

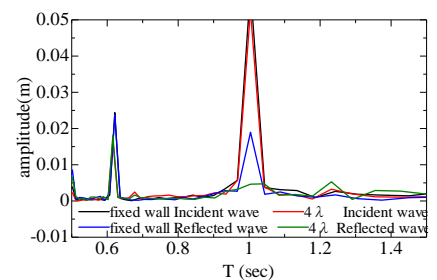


Fig.4 estimation of incident and reflected waves at 4λ

1 : 日大理工・院(前)・海建, Department of Oceanic Architecture and Engineering, CST., Graduate School of Nihon University
2 : 日大理工・教員・海建, Department of Oceanic Architecture and Engineering, CST., Nihon University

2. 2 計算結果

計算実行条件を Table.1 に示す. ケース毎の計測された波高を入反射分離を行うことで反射波成分を定量的に示した. Fig.2, Fig3, Fig4 に入反射分離の結果を示す. 横軸は波周期, 縦軸は各波周期の振幅を示す. また, 減衰帯のない固定壁の境界条件の結果を併記した. Fig.2, 3, 4 を比較した場合, Fig.4 の減衰帯長さが 4λ の場合, 反射波成分が少なく消波性能が最も高いことが分かった.

3. 吸収制御システムの導入

3. 1 波動吸収制御理論式

川口⁴⁾は吸収制御の理論式で式(1)~(3)を与えている.

$$A = \frac{2\sinh^2 kh}{kh + \sinh kh \cosh kh} \quad (1)$$

$$C = \frac{2\sin^2 kh}{kh + \sin kh \cos kh} \quad (2)$$

$$\dot{X} = \frac{\omega}{A} \{2\eta_D - (\eta_0 - CX)\} \quad (3)$$

k : 波数, h : 水深, ω : 角周波数, η_D : 目標波形, η_0 : 吸収制御前面の波面変動, X : 吸収制御変位, \dot{X} : 吸収制御速度とする. 本研究では $\eta_D = 0$ として, 造波を行わない. これらの式(1), (2), (3)を MPS に組み込み反射波を生じさせないシステムを構築した.

3. 2 数値計算概要及び計算結果

数値水槽を Fig.5 に示し, 規則波の計算実行条件を Table.2 に示す. 波高の計測地点は, $x = \lambda/2, \lambda/4$ 地点とした. 時系列の波高データを Fig.6, 7 に示す. 比較のため固定壁の境界条件の波高データを併記した. Fig.6 は, 固定壁では波の節であるため水位変動が少ない. 一方, 吸収制御では入射波を吸収できているため, 進行波の波形が保たれていることが分かる. 波の腹の部分である Fig.7 では, 固定壁は進行波と反射波が重なり重複波となって波高が高くなっている. 一方, 吸収制御では入射波は吸収され重複波にならず, 波高が固定壁の場合に比べ約 1/2 となっていることが確認できる. よって, 吸収制御は重複波にならず, 明らかに進行波のみの状態になっていることが確認された. また, 吸収制御はエネルギー減衰帯のように波の減衰領域を長くする必要がなく, 計算負荷が軽くなる長所があることも確認できた.

4. 結言

本研究によって以下の結論が得られた.

- 1) エネルギー減衰帯の長さが 4λ の場合, 消波性能が最も良好であることを確認した.

- 2) 吸収制御では重複波にならず, 入射波のみの波浪場を再現することができた.
- 3) 吸収制御はエネルギー減衰帯よりも計算負荷が小さい効率的な消波システムであることを確認した.

5. 参考文献

- 1) 越塚誠一: S. Koshizuka and Y. Oka, Moving-Particle Semi-implicit Method for Fragmentation of Incompressible Fluid. NuclSci.Eng, 123, pp421-434, 1996.
- 2) 末吉誠, 内藤林: 粒子法による波浪中大変位浮体運動の数値計算, 第53回理論応用力学講演会 講演論文集, 2004.
- 3) 柴田和也, 越塚誠一, 酒井幹夫, 谷澤克治, 辻本勝: 粒子法による水波計算のための透過境界条件の開発, 日本船舶海洋工学論文集, 第11巻, pp.125-136, 2010.
- 4) 川口隆: 波面検出及び速度制御を用いた無反射造波方式, 三井造船技報(128), p20-24, 1986-06

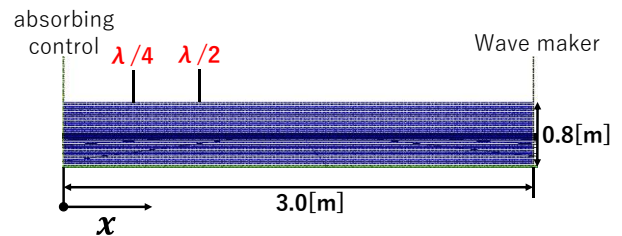


Fig.5 Numerical wave tank

Table.2 Simulation conditions

Total number of particles		24093
Particle distance		0.01[m]
Simulation time		20.0[sec]
Δt		1.0×10^{-3} [sec]
Wave maker	amplitude	0.05[m]
	period	1.0[sec]

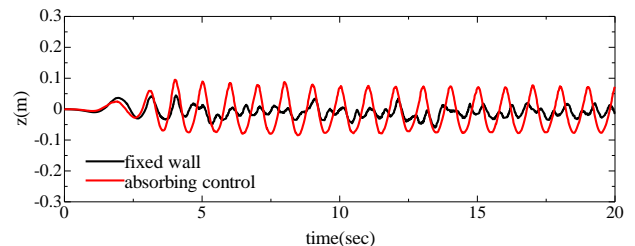


Fig.6 Time series waveform at $x = \lambda/2$ point

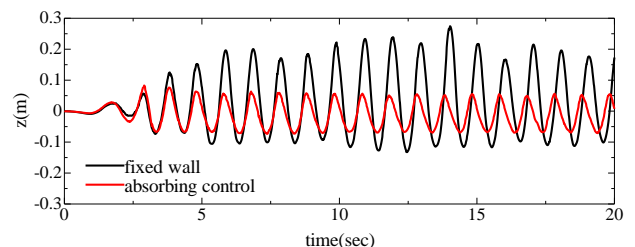


Fig.7 Time series waveform at $x = \lambda/2$ point