

MPS法における不規則波浪場での波動吸収制御の有用性に関する研究

A Study on the Usefulness of Wave Absorption Control in the MPS Method in Irregular Wave Fields

○竹尾知峻¹, 相田康洋², 居駒知樹²*Tomotaka Takeo¹, Yasuhiro Aida², Tomoki Ikoma²

Abstract: In the case where waves generated by a wave-making boundary are reflected by a model or a wall of a water tank and return to the wave-making boundary, absorption control is introduced to the MPS method by controlling the position of the wave-making boundary to continuously and stably generate waves to be generated without generating re-reflected waves. In this study, numerical simulations were conducted in a unidirectional irregular wave field. The introduced wave absorption control did not create waves, but only absorbed traveling waves. The wave height was measured at the point before the absorption control, and the reflected wave component was quantitatively evaluated by analyzing the incoming and reflected wave separation.

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。そこで、本研究ではMPS法のための無反射境界条件の開発を目的とする。

2. 波動吸収制御の導入

本研究では無反射境界条件として波動吸収制御を用いた。川口ら²⁾は吸収制御の理論式として式(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、造波を行わず進行波を吸収するのみの境界とした。また反射波は様々な周期の成分を含む不規則波であるため角周波数は前もって知ることができない。そこで角周波数は式(4)により推定する。

$$\omega_r = \sqrt{-\frac{\partial^2 \eta_r}{\partial t^2}} \quad (4)$$

ここで、 η_r は吸収制御全面での水面変動量、 $\partial^2 \eta_r / \partial t^2$ は反射波の時間に関する2回微分である。これにより、不規則波の性質を持つ反射波の代表的な周波数を時々刻々と得ることができる。

3. 数値計算概要

本研究で取り扱う数値水槽をFig.1に示す。全長4.5m、水深1.0mとし、右端をピストン式造波板、左端を波動吸収制御とした。Fig.1に示している地点で入反射波分離解析を行い、反射波成分の定量的な評価を行った。入反射波分離については合田³⁾によって提案された手法を用いた。距離 Δl だけ離れた2点で同時に波高を計測し、その波高データを用いて入反射波分離計算を行う。入反射波分離の式を式(3)、(4)に示す。

$$a_I = \frac{1}{2|\sin k\Delta l|} \left[(A_2 - A_1 \cos k\Delta l - B_1 \sin k\Delta l)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$a_R = \frac{1}{2|\sin k\Delta l|} \left[(A_2 - A_1 \cos k\Delta l + B_1 \sin k\Delta l)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

a_I : 入射波振幅, a_R : 反射波振幅, k : 波数, Δl : 波高計間隔とする。 A_1 , B_1 および A_2 , B_2 については2側点のそれぞれの波形についてフーリエ分析を行い、余弦、正弦成分の振幅となっている。発生させる不規則波には、波スペクトル密度関数 $S(f)$ として式(5)の修正Bretschneider-光易型スペクトルを用いる。

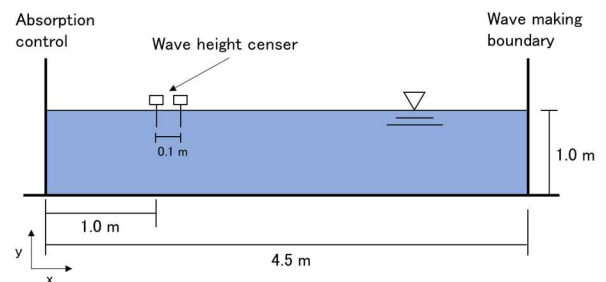


Figure 1. Numerical wave tank

$$S(f) = 0.205H_{1/3}^2 T_{1/3} (T_{1/3} f)^{-5} \exp[-1.03(T_{1/3} f)^{-4}] \quad (5)$$

ここで、 $H_{1/3}$ は有義波高、 $T_{1/3}$ は有義波周期、 f は周波数である。一方向不規則波の波形 $\eta(t)$ は、線形的な重ね合わせとして式(7)のように表すことができる。

$$\eta(t) = \sum_n a_n \sin(2\pi f_n t + \varepsilon_n) \quad (6)$$

ここで、 a_n 、 f_n 、 ε_n は n 番目の成分波の振幅、周波数、位相であり、 t は時間である。位相のずれは $0 \sim \pi$ の間の乱数を与える。不規則波を発生させるための造波板の変位 $\zeta(t)$ は式(6)を用いて式(7)で与えられる。

$$\zeta(t) = \frac{a_n}{F_n} \sin(2\pi f_n t + \varepsilon_n) \quad (7)$$

式(7)に含まれる F_n は n 番目の成分波の造波効率であり、次式で与えられる。

$$F_n = \frac{2 \sinh^2 k_n h}{k_n h + \sinh k_n h \cosh k_n h} \quad (8)$$

ここで k_n は n 番目の成分波の波数であり、 h は水深である。Table 1, 2 に本研究における不規則波形データの作成条件、計算実行条件を示す。有義波高 $H_{1/3}$ の異なる2ケースの計算を行い、波動吸収制御の消波特性について考察を行った。

Table 1. Specifications for generating irregular waves

	Case1	Case2
$H_{1/3}$	0.15[m]	0.25[m]
$T_{1/3}$	1.0[sec]	
Number of Waves	256	

Table 2. Simulation conditions

Total number of particle	49700
Particle distance	0.01[m]
Simulation time	350.0[s]
Time Increment	1.0×10^{-3} [s]

4. 計算結果及び考察

計測した波高を入射波分離解析した結果を Fig.2, 3 に示す。また、比較として固定壁の境界条件の結果も併記した。横軸は周波数、縦軸はパワースペクトルとなっている。Fig2, 3 のどちらも $f = 0.0$ Hz の近傍で推定値が著しく過大となっている。これは式(3), (4)で示した分離計算をする上で、 $\sin k\Delta l$ が0となる場合、計算が発散することから生じている。Fig.1 の有義波高が 0.15 m である Case 1 では、固定壁の境界条件の場合、反射波成分が消えないため入射波成分と同様なパワースペクトルとなっている。吸収制御を導入した場合には反射波成分を大幅に減少できていことが確認された。波の総エネルギーの代表値 m_0 は入射波成分だと74.0 m²、反射波成分は9.15 m²となった。入射波に対して反射波が約12.0 %残存していることが確認された。Fig.3 の有義波高が 0.25 m である Case 2

では、Case 1 ほど消波性能が良好ではないことが分かる。波の総エネルギーの代表値 m_0 は入射波成分だと155.0 m²、反射波成分は50.4 m²となった。入射波に対して反射波が約32.0 %残存していることが確認された。これらの結果から波振幅が高くなるほど消波性能が良好ではないことが分かった。今後、消波性能をより良くするためには、角周波数の算出の精度向上などに取り組む必要があると考える。

5. 結言

MPS 法に無反射境界条件として波動吸収制御を導入し、反射波を抑制することができた。波振幅が大きいほど消波性能が良好ではないため、さらなる改善が必要である。

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]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
- [3]合田良美, 鈴木康正, 岸良安治, 菊池治：不規則波実験における入・反射波分離推定法, 港湾空港技術研究所, 0248, 1976.

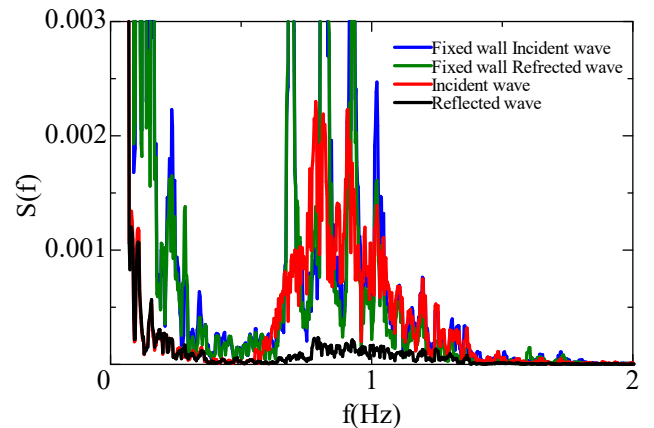


Figure 2. Estimation of incident and reflected waves at Case1

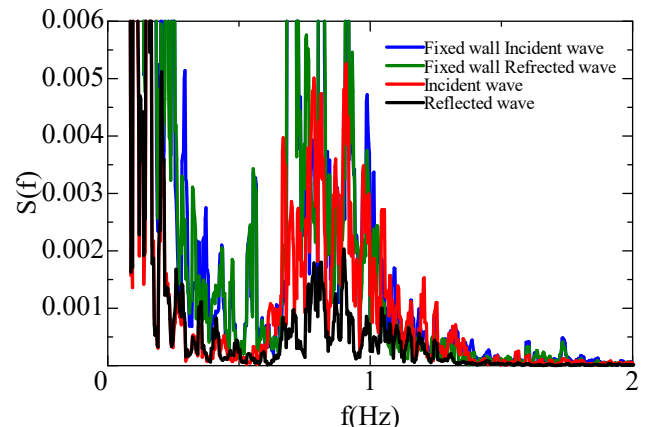


Figure 3. Estimation of incident and reflected waves at Case2