

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22760632

研究課題名（和文）：波浪中大振幅船体運動と船体への衝撃荷重の粒子法による数値解析手法の開発

研究課題名（英文）：Numerical analysis of ship motion in rough seas and impact force due to waves using a particle method

研究代表者

柴田 和也（SHIBATA KAZUYA）

東京大学・大学院工学系研究科・講師

研究者番号：30462873

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、波浪中における大振幅船体運動および船体が海水から受ける衝撃荷重を汎用的にかつ高精度に計算する手法を確立することである。この目的を達成するために、粒子法を用いて大振幅船体運動モデルを開発した。また、開境界部での非物理的な反射波が生じることを低減する境界条件を開発した。さらに局所的な領域のみを高解像度で計算する手法を開発し、低い計算コストで高解像度の計算を実施可能にした。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study is to develop a numerical method which is able to accurately simulate large amplitude ship motion in rough seas and impact force acting on ship's hull using a particle method. To accomplish this purpose, a new ship motion model and an open boundary condition were developed using a particle method. Moreover, a zooming technique was developed for a particle method to simulate fluid behavior around ship in high spatial resolution at low computational cost.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：推進・運動性能

1. 研究開始当初の背景

波浪時の船体運動および波浪衝撃荷重を十分な精度で計算することは、船舶の安全航行にとって重要である。船体運動の計算方法として従来ストリップ法が広く用いられており、大波高に対しても非線形のストリップ法が開発されており、かなりの部分が計算できるようになっている。しかし大波高の波浪

中において船体近傍の流体挙動の様子を詳細に把握することは、非線形の自由表面流れを扱う必要があり依然難しい問題のひとつとされている。また海水打ち込みや転覆などを伴う船体運動に関しては汎用的に計算できる方法はまだ十分に確立されているとは言えない状況であった。またスラミングにより船体に加わる衝撃荷重についても従来の

ワグナー理論だけでは近年多く建造されている双胴船、三胴船、高速船などの新しい船型に対応できない場合がある。

研究代表者は粒子法の1つであるMPS(Moving Particle Semi-implicit)法を用いて規則波中を航走する船舶の海水打ち込みを伴う船体運動ならびに甲板上の衝撃荷重の計算を行ってきた。MPS法はラグランジュ手法であり、自由表面を有する流体の大変形や分裂を容易に解析できるという特徴を持つ。粒子法を用いれば大波高の波浪中における船体近傍の詳細な把握および波浪衝撃荷重の汎用的な計算の実現が期待できる。また粒子法を用いれば海水打ち込みや転覆などを伴う船体運動を汎用的に計算できることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、波浪中における大振幅船体運動および船体が海水から受ける衝撃荷重を汎用的にかつ高精度に計算する手法を粒子法を用いて確立することである。

3. 研究の方法

粒子法の1つであるMPS法を用いて船体運動モデルを開発した。船体は1つの剛体とみなし、剛体と流体との相互作用を計算することとした。また、船体運動を高効率にかつ高精度に計算するために波の透過境界条件を開発した。具体的には、吸収式造波機の原理を数値計算に応用し、波の透過境界前面部の水位を取得し、線形の進行波として入射波の周波数成分を求め、その情報を基に境界部の粒子を運動させる方法とした。

また、局所的な領域のみを高解像度で計算するために有限体積法で用いられる重合格子法の考え方を粒子法に導入し、局所的に空間解像度を向上させる手法(重合粒子法)を開発した。

4. 研究成果

大振幅船体運動モデルを開発し、大波高時の船体運動を計算した。また数値水槽を開発し、船速と入射波を考慮可能にした。この数値水槽は線形波の入射が可能であり、船速を考慮することができる。開発した計算手法を用いて海水打ち込みを伴う船体運動の数値計算を計算した流体と船体運動の挙動の様子を図1に示す。海水打ち込み挙動を再現できていることが分かる。図2は、船体の上下運動を比較した結果である。開発した計算手法の計算結果は、ストリップ法と実験結果と定性的に一致した。図3は、船体の縦運動を比較した結果である。開発した計算手法の計算結果は、ストリップ法と実験結果と定性的に一致した。

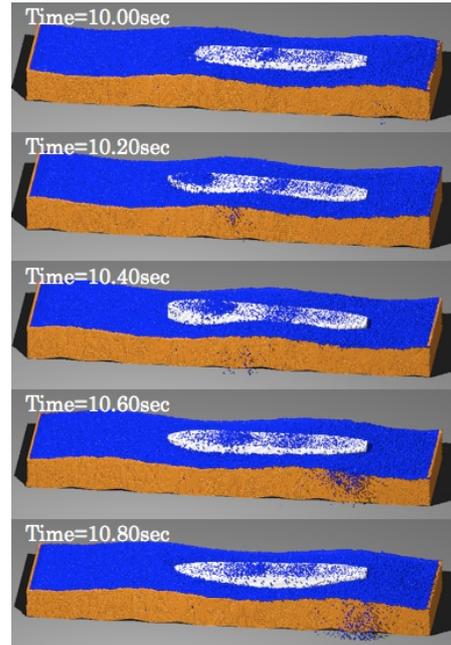
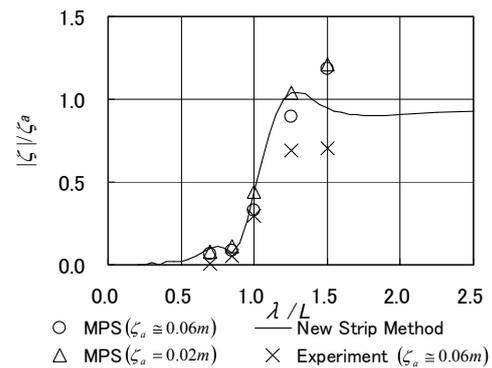
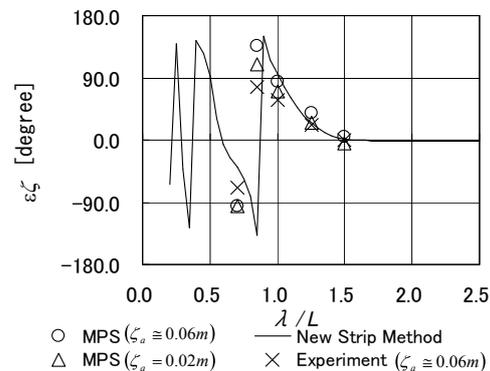


図1 流体と船体運動の挙動の様子

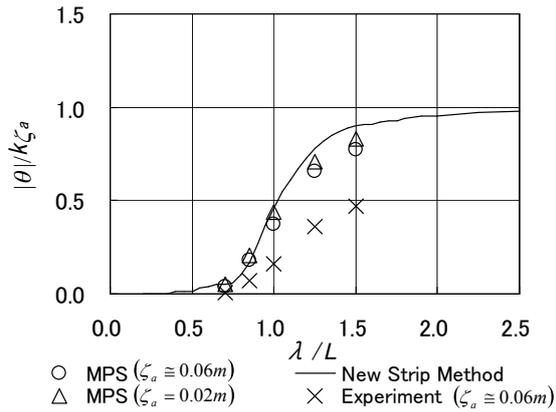


(a) 振幅

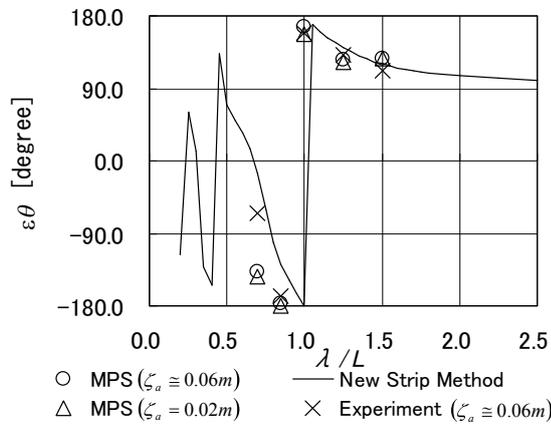


(b) 位相

図2 船体の上下運動



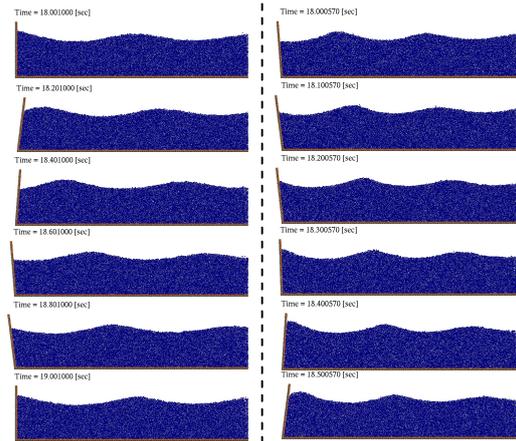
(a) 振幅



(b) 位相

図3 船体の縦運動

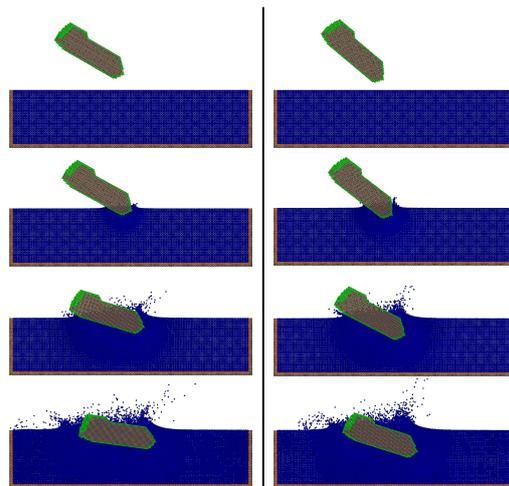
船体運動を高効率にかつ高精度に計算するための波の透過境界条件を開発した。開発した境界条件を検証するために、進行波の伝播の計算を2種類の波周期で行った(図4)。提案した波の透過境界条件を用いた計算結果を、固定壁の境界条件を用いた場合と、従来手法である高粘性領域によって反射波を抑制する場合と比較した。その結果、固定壁の境界条件を用いた場合では反射波が生じ定在波の状態になったのに対し、本手法の計算結果は高粘性領域を用いた方法と同様に進行波を透過し、反射波を抑制できることが示された。また高粘性領域による手法に比べて計算領域を小さくすることができ計算量と計算時間を削減できることを確認した。本方法により粒子法による水波の計算が従来と比べて高解像度にかつ短時間で実施可能になった。これにより計算領域を船体近傍に絞り込むことができ、粒子法による規則波中の船体運動の計算の実用化に近づけた。



(a) $T_w=1.00$ s (b) $T_w=0.83$ s

図4 波の透過境界

次に、開発した粒子法の大振幅船体運動モデルを自由降下式救命艇に適用し、着水時の救命艇に加わる衝撃加速度を求め、実験と比較することで計算手法の検証を行った(図5)。また艇の着水時の姿勢(トリム角、ヒール角)と排水量を様々に変化させた計算を行い、艇の着水時の姿勢と排水量が衝撃加速度に与える影響を調べた。救命艇の自由度は6自由度全て固定無しとした。計算量を削減するために、救命艇が滑り台上を滑走し、水面に着水するまでの自由落下運動は、田崎らによる半解析的な手法で計算し、それをMPS法の初期値として与えた。救命艇に働く加速度は、実験と同じく船首部、船体中央部、船尾部の3か所で求め実験と比較し、実験とほぼ一致する結果を得た(図6)。



(a) Skid angle=30deg. (b) Skid angle=40deg.

図5 自由降下式救命艇の数値解析

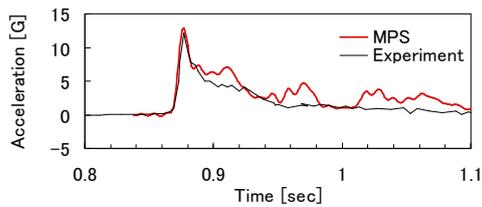


図6 救命艇に働く加速度の時系列波形

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

1. 玉井佑、柴田和也、越塚誠一,” Taylor 展開を用いた高精度 MPS 法の開発”, Transactions of JSCES, Paper No. 20130003 (2013)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscs/2013/0/2013_20130003/_article/-char/ja/

2. Yang Shao、伊藤広貴、柴田和也、越塚誠一、Hamiltonian MPS 粒子法による Reissner-Mindlin シェルの解析モデル, Transactions of JSCES, Paper No. 20120013 (2012)

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscs/2012/0/2012_20120013/_article/-char/ja/

3. Xiaosong Sun, Mikio Sakai, Kazuya Shibata, Yoshikatsu Tochigi, Hiroaki Fujiwara, Numerical modeling on the discharged fluid flow from a glass melter by a Lagrangian approach, Nuclear Engineering and Design, Vol. 248, pp.14-21 (2012)

doi:10.1016/j.nucengdes.2012.04.004

4. Kazuya Shibata, Seiichi Koshizuka, Mikio Sakai and Katsuji Tanizawa, Lagrangian simulations of ship-wave interactions in rough seas, Ocean Engineering, Vol.42, pp.13-25 (2012)

doi:10.1016/j.oceaneng.2012.01.016

5. Kazuya Shibata, Seiichi Koshizuka, Mikio Sakai, Katsuji Tanizawa, Transparent boundary condition for simulating nonlinear water waves by a particle method, Ocean Engineering, 2011, Vol. 38, pp.1839-1848

doi:10.1016/j.oceaneng.2011.09.012

6. M. Sakai, Y. Yamada, Y. Shigeto, K. Shibata, V.M. Kawasaki, S. Koshizuka, Large-scale Discrete Element Modeling in a Fluidized Bed, Int. J. Numer. Meth. Fluids, 64, pp.1319-1335 (2010)

doi:10.1002/flid.2364

7. 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, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol. 11, pp.125-136, 2010

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjasnaoe/11/0/11_0_125/_article

8. 一ノ瀬 康雄、辻本勝、粉原直人、柴田和也、高木健、バラスト状態での波浪中抵抗増加の推定, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol. 11, pp.109-116, 2010

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjasnaoe/11/0/11_0_109/_article

[学会発表] (計 18 件)

1. Kazuya Shibata, Seiichi Koshizuka, Tasuku Tamai and Koji Murozono, Overlapping particle technique and application to green water on deck, International Conference on Violent Flows (VF2012), Nantes, France, September 25-27, 2012, pp.106-111

2. Kazuya Shibata, Koji Murozono, Masahiro Kondo, Mikio Sakai and Seiichi Koshizuka, Numerical modeling of gas-phase and negative pressure in a Lagrangian approach, The 10th World Congress on Computational Mechanics (WCCM 2012), 18548, São Paulo, Brazil, 8-13 July 2012

3. Kazuya Shibata, Seiichi Koshizuka, Mikio Sakai, Katsuji Tanizawa and Susumu Ota, Numerical Analysis of Acceleration of a Free-fall Lifeboat Using the MPS Method, Proceedings of the Twenty-first (2011) International Offshore and Polar Engineering Conference, Maui, Hawaii, USA, June 19-24, 2011, pp.718-725

4. Kazuya SHIBATA, Seiichi KOSHIZUKA, Mikio Sakai, Katsuji TANIZAWA and Masaru TSUJIMOTO, “Transparent Boundary Condition for Water Waves in a Particle Method”, WCCM/APCOM2010, Sydney, Australia, 19-23 July, 2010

5. 柴田和也、室園浩司、近藤雅裕、酒井幹夫、越塚誠、MPS 法における外気圧と負圧の考慮および curl 演算子の開発に関する研究、計算工学講演会論文集, Vol. 17, C-2-3, 京都, 2012 年 5 月 29-31 日

6. 柴田和也、室園浩司、越塚誠一、酒井幹夫、玉井佑、市東素明、倉田隼次、重合粒子法の開発および海水打ち込みと津波への適用、日本船舶海洋工学会論文集, 第 14 号, 論文番号 2012S-G2-9, pp. 215-218 (2012) (平成 24 年 日本船舶海洋工学会 春季講演会、神戸、平成 24 年 5 月 17, 18 日)

7. 山川貴大、越塚誠一、柴田和也、新聞敦、若原善行、MPS 法におけるキャビテーションモデルの開発、日本機械学会 第 25 回 計算力学講演会 CMD2012, 2012 年 10 月 06 日~10 月 09 日, 神戸

8. ショウウウ、伊藤広貴、柴田和也、越塚誠一、Hamiltonian MPS 粒子法による Reissner-Mindlin シェルの解析モデル、日本機械学会 第 25 回 計算力学講演会 CMD2012, 2012 年 10 月 06 日~10 月 09 日, 神戸

9. 澤洋平、富山秀樹、柴田和也、室谷浩平、越塚誠一、MPS 法による高粘性非ニュートンモデルの開発、第 26 回数値流体力学シンポジウム, 2012 年 12 月 18 日~12 月 20 日, 東京

10. 水谷慎、茂渡悠介、酒井幹夫、柴田和也、越塚誠一、"粒子法による粉末成形体の構造解析," 化学工学会 第 76 年会 研究発表講演要旨集, 454, 東京, Mar. 22-24 (2011)

11. 孫曉松、酒井幹夫、柴田和也、栃木善克、藤原寛明、"ガラス溶融炉の数値解析に関する基礎研究," 化学工学会 第 76 年会 研究発表講演要旨集, 481, 東京, Mar. 22-24 (2011)

12. 柴田和也、越塚誠一、酒井幹夫、谷澤克治、太田進、「自由降下式救命艇に働く加速度の MPS 法による数値解析」、『平成 23 年日本船舶海洋工学会春季講演会』、福岡、平成 23 年 5 月 19 日(木)、20 日(金)、論文番号 2011S-G5-26

13. 酒井幹夫、孫曉松、水谷慎、柴田和也、栃木善克、藤原寛明
ガラス溶融炉の数値解析に関する基礎研究、日本原子力学会「2011 年春の年会」

2011 年 3 月 28 日~30 日 (福井大学文京キャンパス)

14. 酒井幹夫、孫曉松、茂渡悠介、柴田和也、栃木善克、藤原寛明、"粒子法による溶融ガラスの流下解析手法の開発," 日本原子力学会 再処理・リサイクル部会, 144-145, 東京, Jan 19 (2011)

15. 水谷慎、茂渡悠介、酒井幹夫、柴田和也、越塚誠一、"粉体の充填配置を反映した構造解析手法の開発," 粉体工学会 秋期研究発表会講演論文集, 5-6, 東京, Nov 30 - Dec 1 (2010)

16. 柴田和也、室園浩司、崎原康平、酒井幹夫、越塚誠一 (2010), "MPS 法によるカルマン渦の数値解析とその境界条件について", 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 11 号, pp. 237-240, 2010E-G2-8, 平成 22 年 日本船舶海洋工学会 秋季講演会 2010 年 11 月 12 日 タワーホール船堀 (東京都江戸川区)

17. 酒井幹夫、茂渡悠介、青木拓也、柴田和也、越塚誠一、"自由液面を伴う固液混相流の数値解析," 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 595, 札幌, September 15-17 (2010)

18. 柴田和也、越塚誠一、酒井幹夫、谷澤克治、辻本勝、MPS 法による水波の透過境界条件の検討, Transparent Boundary Condition of Water Waves by MPS method, 日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 10 号, 論文番号 2010S-G11-5, 平成 22 年 6 月 7 日 (月)、8 日 (火), 東京

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :

番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴田 和也 (SHIBATA KAZUYA)
東京大学・大学院工学系研究科・講師
研究者番号：30462873

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：