

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24年 5 月 15 日現在

機関番号：17102
 研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21360433
 研究課題名（和文）荒天海域の耐航性能推定法としてCIP・直交格子法の実用化に関する研究
 研究課題名（英文）Practical Development of CIP based Cartesian Grid Method for Prediction of Seakeeping Performance in Rough Seas
 研究代表者
 胡 長洪 (HU CHANGHONG)
 九州大学・応用力学研究所・准教授
 研究者番号：20274532

研究成果の概要（和文）：

本研究の主な成果は以下のとおりである。

- (1) 自由表面の計算に界面補足法である THINC 法を改良した。非等間隔移動格子を使う場合、自由表面の計算精度を向上させた。
- (2) クォータニオンを用いて船体の6自由度計算法を開発した。斜波中大振幅運動の計算ができるようになった。
- (3) 直交格子法ベースの流体・構造連成解析法に関する研究を行った。流体解析はCIP・直交格子法、構造解析は非線形有限要素法を用いた流体・構造連成解析に関する分離解析法 (Partitioned approach) を開発した。
- (4) CIP・直交格子法の計算プログラムに対してMPIに基づく並列化開発を行った。PCクラスターで大規模並列数値計算ができるようになった。

研究成果の概要（英文）：

The achievements of this project are as follows.

- (1) THINC scheme, which is an interface capturing method, has been improved. The accuracy of the free surface calculation is increased by the improved method for the case using moving variable meshes.
- (2) A 6-DoF ship motion calculation method was developed by using quaternions. Numerical simulation of a ship in quartering waves has been successfully carried out by this method.
- (3) Fluid structure interaction simulation based on Cartesian grid method was studied. A coupled approach with a finite difference method and a finite element method was developed for simulating the interaction between free surface flows and a thin elastic plate.
- (4) A parallel version of the three-dimensional CIP based Cartesian grid code was developed. Very large-scale numerical simulations can be performed by the parallel code in PC cluster systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4200000	1260000	5460000
2010年度	2000000	600000	2600000
2011年度	1500000	450000	1950000
年度			
年度			
総計	7700000	2310000	10010000

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

船舶が荒天中で高い波に遭遇した場合、船舶の大振幅動揺だけでなく、スラミング、甲板冠水、スロッシングなどの流体衝撃現象が起こる。このような強非線形流体問題は船舶の安全性に非常に重要であり、それを扱える計算手法の開発は耐航性能研究の中心課題の一つになっている。水槽実験により、スラミング現象は空気巻き込みを含む複雑な3次元の現象であり、船舶と波浪の相対運動に大きく影響されている。一方、スラミング、甲板冠水、スロッシングなどの強非線形現象も船体の運動にも影響を与える。従って、荒天中の耐航性能問題に求められた計算手法はグローバルな船体応答とローカルな波浪衝撃荷重を同時に扱えるものである。

2. 研究の目的

研究代表者は、粘性流体支配方程式 Navier-Stokes 方程式を数値的に解く数値流体力学 (CFD) 手法が荒天中の耐航性能推定法として有望と考え、2004 年から CIP (Constrained Interpolation Profile) 法を応用した強非線形問題に関する直交格子 (Cartesian grid) ベースの CFD 方法を開発してきた。大変形・破砕する水面と大振幅動揺する浮体の相互作用問題を、この方法では気相、液相、固相が混在した多相流問題と見なし、自由表面と物体表面を計算領域の内部界面として扱うことにより、ロバストな数値計算が実現できるようになった。本研究の目的は、これまでの研究成果を踏まえて、CIP・直交格子法を本格的な荒天中の耐航性能問題の評価ツールとして開発していくことである。この目的を達成するには、3年の研究期間中に、計算法の改良の拡張、流体構造連成解析、計算プログラムの並列化、などの課題について重点的に研究を行う。

3. 研究の方法

(1) 計算法の改良の拡張：自由表面計算のための界面補足法の改良、斜波中問題への拡張、乱流モデルの応用などについて研究を行う。

(2) 流体構造連成解析：流体解析は差分法、構造解析は有限要素法を用いた流体・構造連成解析に関する分離解析法 (Partitioned approach) を開発する。計算法を検証するた

めに水槽実験も実施する。

(3) 計算プログラムの並列化：PC クラスタシステムで大規模数値計算を実現するために MPI を用いて計算プログラムを並列化する。

4. 研究成果

(1) 自由表面計算するための界面補足法である THINC 法の改良を行った。従来の directional splitting 法の代わりに、セル積分ベースの多次元 THINC 法を構築した。また、既存の THINC 法と THINC/WSLIC 法から発展して、本研究では新たに THINC/WPLIC を考案した。非等間隔移動格子を用いた数値水槽において水面進行波に対する数値計算を行った結果、THINC 法では波面の滑らかさに問題があり、THINC/WSLIC 法では波高が減衰する傾向になり、本研究で提案した THINC/WPLIC は一番バランスのとれたスキームであることが分かった。

(2) 計算プログラムを斜波対応へ拡張した。斜波中の船体の6自由度大振幅運動を計算するために、オイラー角の方法より計算効率・安定性の良いクォータニオンによる方法を開発した。そして、大波高斜波中航行するコンテナ船に加わる非線形波浪力を計算するための数値水槽を構築し、数値シミュレーションを行い、水槽実験と比較して精度検証を行った。

(3) 直交格子法ベースの流体・構造連成解析法に関する研究を行った。流体解析は CIP・直交格子法、構造解析は非線形有限要素法を用いた流体・構造連成解析に関する分離解析法 (Partitioned approach) の開発を行い、構造解析用の非線形有限要素法プログラムを作成し、2次元の連成計算コードを完成した。特に分離解析法が問題になりやすい連成の安定性に関して、流体・構造計算の反復回数、緩和係数、構造へ加わる流体荷重の平滑化などの項目について重点的に研究を行い、安定した計算ができるようになった。また、数値計算法の精度検証のために、床に設置された弾性垂直板に水が衝突するダム崩壊実験を実施した。対応する数値シミュレーションを行い、水面変化および板の弾性変形について計算と実験を比較し、計算精度の確認を行った。

(4) CIP・直交格子法の計算コードに対して PC クラスターで大規模並列演算を実現するために、MPI に基づくコードの並列化に関する研究を行い、3次元並列計算コードを開発した。開発された並列化コードには異なるシステムへの移植性を考慮してプログラムの構造に対して工夫を凝らした。タンクスロッシング問題や波浪と船舶の強非線形相互作用問題に対して、PC クラスターシステムで並列コードによる数値シミュレーションを行い、並列コードの精度を検証したと共に、コードの並列化率・加速率などの指標に対して調べた。

(5) CIP・直交格子法に LES 乱流モデルを導入した。流体・構造連成問題に対して、乱流モデルの導入で自由表面の激しい運動に対してより安定な数値シミュレーションができるようになった。

(6) CIP・直交格子法に対して風車モデルの導入などの拡張を行い、洋上風力発電用浮体の極限波浪荷重の予測に応用した。

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 9 件)

- ① Xizeng Zhao, Changhong Hu: Numerical and experimental study on a 2-D floating body under extreme wave conditions, Applied Ocean Research, 査読有, Volume 35, 2012, pp. 1-13.
- ② Changhong Hu, Kangping Liao: Numerical Simulation of 2-D Water Entry with Rigid and Elastic Circular Cylinder, Proc. 7th International Workshop on Ship Hydrodynamics, 査読無, 2011, pp. 229-233.
- ③ Changhong Hu, Kangping Liao: FDM-FEM Coupled Method for Simulation of Interaction between Free Surface and Elastic Structure, Proc. 26th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies, 査読無, 2011, pp. 61-64.
- ④ Changhong Hu, Makoto Sueyoshi, Ryuji Miyake, Tingyao Zhu: Development of CIP based Numerical Method for Prediction of Nonlinear Wave Loads on Real Ships, Proc. William Froude Conference, Advances in Theoretical and Applied Hydrodynamics - Past and Future, 査読無, 2010, pp. 73-80.
- ⑤ Changhong Hu, Makoto Sueyoshi, Masashi

Kashiwagi: Numerical Simulation of Strongly Nonlinear Wave-Ship Interaction by CIP/Cartesian Grid Method, Int. Journal of Offshore and Polar Engineering, 査読有, Vol. 20, No. 2, 2010, pp. 81-87.

- ⑥ Changhong Hu, Makoto Sueyoshi: Numerical simulation and Experiment on Dam Break Problem. Journal of Marine Science and Application, 査読有, Vol 9, No.2, 2010, pp.109-114.
- ⑦ 胡長洪, THINC 法を用いた水波の数値シミュレーション, 日本機械学会 第22回計算力学講演会 CD-ROM 論文集, 査読無, 2009, pp. 492-493.
- ⑧ Changhong Hu, Makoto Sueyoshi, Ryuji Miyake, Tingyao Zhu, Hirotsugu Dobashi: A Validation Study of Applying the CIP Method and the MPS Method to 2-D Tank Sloshing. Proceedings of the 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, 査読有, 2009, pp.198-204
- ⑨ Changhong Hu and Masashi Kashiwagi, Two-dimensional numerical simulation and experiment on strongly nonlinear wave-body interactions, Journal of Marine Science and Technology, 査読有, Vol. 14, 2009, pp. 200-213.

[学会発表] (計 8 件)

- ① Changhong Hu, Kangping Liao: 2-D Numerical Simulation of Impact of Elastic Body on Free Surface, 第25回数値流体力学シンポジウム, 2011年12月21日, 大阪大学.
- ② 胡長洪, 末吉誠, 経塚雄策, 大屋裕二: 大波高波浪中洋上風力発電用浮体に関する数値シミュレーション, 日本船舶海洋工学会講演会, 2011年5月20日, 福岡.
- ③ Changhong Hu, Kangping Liao: FDM-FEM Coupled Method for Simulation of Interaction between Free Surface and Elastic Structure, 26th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies, April 19, 2011, Athens, Greece.
- ④ Changhong Hu, Kyung-Kyu Yang, Yonghwan Kim: 3-D Numerical Simulations of Violent Sloshing by CIP-based Method. 9th International Conference on Hydrodynamics (ICHHD-2010), September 14, 2010,

Shanghai, China.

- ⑤ Changhong Hu: 3-D Numerical Simulation of Water Entry Using CIP Based Method, WCCM/APCOM 2010, July 22, 2010, Sydney, Australia.
- ⑥ Changhong Hu, 3-D Numerical Wave Tank by CIP-based Cartesian Grid Method, 25th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies, May 10, 2010, Harbin, China.
- ⑦ 胡長洪, 末吉 誠: CIP・直交格子法による斜波中船体運動の数値シミュレーション, 日本船舶海洋工学会講演会, 2009年11月19日, 熊本県荒尾市.
- ⑧ Changhong Hu and Xian Chen: Weak Coupling Method Using CIP and FEM for Water Impact Analysis, 15th International Conference on Finite Elements in Flow Problems, April 2, 2009, Tokyo, Japan.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

胡長洪 (HU CHANGHONG)
九州大学・応用力学研究所・准教授
研究者番号: 20274532

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

末吉 誠 (SUEYOSHI MAKOTO)
九州大学・応用力学研究所・助教
研究者番号: 80380533

柏木 正 (KASHIWAGI MASASHI)
大阪大学・工学研究科・教授
研究者番号: 00161026