

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14966

研究課題名（和文）損傷浸水事故時における旅客船の安全帰港シミュレーション手法の構築

研究課題名（英文）Development of a Safe Return to Port Simulation Method for Damaged Passenger Ships

研究代表者

河村 昂軌（kawamura, kouki）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・海上技術安全研究所・主任研究員

研究者番号：80757724

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）： 損傷浸水事故発生時における客船の安全帰港シミュレーション手法の開発に向けて以下の検討を行った。

・粒子法の計算コードに2次元スライスグリッドによる領域分割手法と計算時間ベースの動的負荷分散手法を導入し、64台のGPUを用いて50%程度の並列効率を保つことを達成した。・損傷船の生存率を評価するために、部分的に水が充填されたタンクを持つ浮体の運動をシミュレーションする連携計算手法を開発した。本手法は、粒子法の一つであるMPS法とRANSを用いた有限体積法をP2Pのファイル交換により連携し、各離散化手法の利点を保持するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多数の乗客を有する客船は、浸水事故発生時においても一定レベルに被害を抑え、安全に帰港することが求められる。様々な事故シナリオにおける安全対策を検討する際に、船体の運動性能や操縦性能が必要となるが、数値シミュレーションによる検討は有力であると考えられる。本研究ではこれに資する計算手法として、部分的に水が充填されたタンクを持つ浮体の運動をシミュレーションする連携計算手法を開発した。本手法の学術的意義として、現実的な計算時間に抑えつつ、各離散化手法の利点を保持するところにある。

研究成果の概要（英文）： To develop a safe return to port simulation method for passenger ships in the flooding accident, the following studies were conducted:

・A region partitioning method using 2D slice grids and a dynamic load balancing method based on the calculation time are developed, achieving approximately 50% parallel efficiency using 64 GPUs. ・To evaluate the survivability of damaged ships, a coupled computation method that simulates the motion of a floating body with partially filled tanks is developed. This method integrates the Moving Particle Semi-implicit (MPS) method with the finite volume method (FVM) using Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) equations through peer-to-peer (P2P) file exchange, thereby retaining the advantages of each discretization technique.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：損傷時復原性 浸水シミュレーション 粒子法 GPGPU 有限体積法

1. 研究開始当初の背景

客船の中でも外航のクルーズ客船は目覚しく大型化しており、乗員、乗客を合計 8000 名以上搭載可能な全長 350m を超えるものも就航している。旅客船タイタニック号の冰山との衝突沈没事故を契機に採択された、船舶の基本的な安全要求を定めている SOLAS 条約 (International Convention for the Safety of Life at Sea) により人命の安全は担保されているが、他の貨物船と違い多数の乗客を有する客船では高いレベルの安全性が求められている。客船の安全の中でも特に重要となるのが損傷時においても自力航行で帰港するという安全帰港 'Safe Return to Port' の考え方であり、これは本船もまた救命艇である 'A ship is its own best lifeboat' という考えに基づいている。ここにおいて自力航行が求められる海象は Beaufort scale 8 の海象で船速 6kt 以上と厳しいものとなっている。安全性評価を行う際に、実船を用いた浸水事故を想定した訓練は困難であり、船舶試験水槽などのスケールを落とした環境において模型船の浸水、航走実験などを実施することになる。しかしながら多数の水密区画を持つ客船は浸水事故だけにおいても無限に近い損傷事故シナリオがあり、事故海域での様々な海象を考慮すると模型試験のみで全てを網羅することは困難である。

実際の設計を考えると design by rule で設計される客船では設計ソフトウェア等の援用により損傷時復原性、規則で求められる安全帰港の要求を満足するか判断が可能であるが、水密区画などの大まかな配置による判断しか出来ていない。そのため規則により最大限の安全対策は取られているが、真に安全に帰港出来るかどうかのシミュレーションの実施までには至っていない。

2. 研究の目的

本研究の目的はより高度な安全対策を提案するために、損傷浸水事故、その後の安全帰港をシミュレーションできる数値計算手法を開発することにある。本研究で開発する計算手法は、強非線形現象に対して適用性が高いが、計算範囲が広大な船舶分野において大きな計算負荷と解像度不足のため適用が困難であった粒子法を損傷区画内部に限定させ適用可能とし、舵による操縦や波浪中運動、船体抵抗など摩擦や渦に対して高い精度が求められる船体周りの流体に実績のある有限体積法を適用させ、両者を境界条件、運動方程式にて結ぶことで損傷時の運動を予測するものである。この手法に対し、CPU と並列 GPU (Graphics Processing Unit) を用いたハイブリッド手法を用いることで実用的な解像度を持つ大規模高速解析を可能にする。

3. 研究の方法

3.1. 計算手法の概要

図 1 に各計算手法における計算領域を示す。連成手法の概要は以下の通りである。

- ・浮体に働く流体力は、流れが互いに直接影響しないと仮定し、FVM と MPS を用いてそれぞれ推定される。浮体およびタンクに働く流体力の合計として計算される。
- ・タンクに作用する流体力とタンク内の水の挙動は MPS によって推定される。
- ・浮体に作用する流体力、浮体周りの流れ、および波は FVM によって推定される。
- ・浮体の運動は、FVM に実装された運動方程式を解くことで推定され、MPS によって推定されるタンク内の水による流体力は外力項として扱う。
- ・各計算は異なる計算環境で実施され、運動と力の各変数の交換はファイル転送を通じて行う。

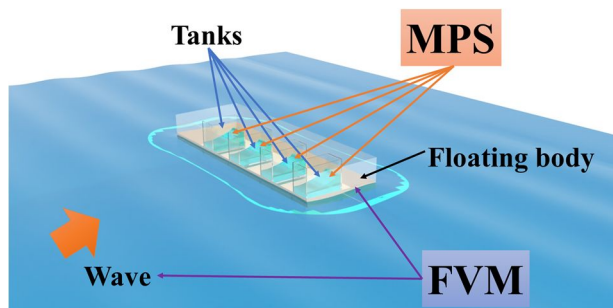


図 1 各計算手法における計算領域

3.2. 連成手法

図 2 に連成手法のフローチャートを示す。MPS と FVM の計算は以下のように順次行われる。

1. 次のタイムステップ (n) での浮体の位置、速度、および加速度は FVM を用いて推定される。

FVM 計算は x86-x64 CPU を持つ計算環境で実行される。変数はファイルに書き込まれ、SSH 通信を通じて MPS 計算を行う計算環境に転送される。

2. 受信したファイルに格納された浮体の位置、速度、および加速度に基づいて、MPS 計算は $(n-1/2)$ から $(n+1/2)$ ステップまでの 1 タイムステップの間で行われる。MPS のタイムステップサイズは FVM のそれよりも非常に小さいため、FVM のタイムステップに対応するために複数回の計算を行う。MPS 計算は CUDA 対応の GPU を持つ計算環境で実行される。1 タイムステップ間にタンクに作用する力とモーメントの平均値が取得される。これらの変数はファイルに書き込まれ、SSH 通信を通じて FVM 計算が行われる計算環境に転送される。

3. 受信したファイルに格納された力とモーメントの平均値は運動方程式の外力項として扱われ、次のタイムステップ $(n+1)$ での浮体の位置、速度、および加速度、および浮体周辺の流れが FVM を用いて推定される。

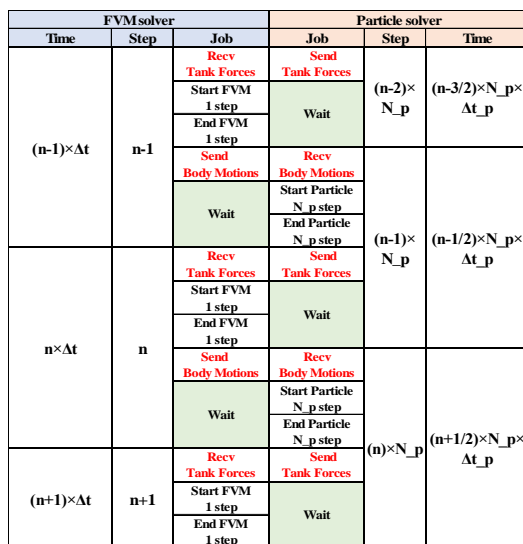


図 2 連成手法のフローチャート

4. 研究成果

計算手法の検証として、Sway、Heave、Roll 運動の計算結果と数値計算結果の比較を実施した。タンク内の自由水の影響を明らかにするために、数値計算は、タンク内に自由水がある場合と水が固定されている（固定水）場合の 2 つのケースで実施した。固定水の場合、FVM 計算のみが実施される。図 3、4、および 5 は、それぞれ Sway、Heave、Roll の RAO (Response Amplitude Operator) の比較を示している。自由水がある場合の RAO は、測定されたデータと良好な一致を示している。

自由水と固定水のケースの比較から、Sway および Roll の RAO は、 $\lambda/B = 1.0$ までと $\lambda/B = 1.9$ 以上では同じとなることがわかる。また、自由水がある場合の Sway および Roll の RAO が、 $\lambda/B = 1.2$ 付近で大きく、 $\lambda/B = 1.4$ 付近で小さくなることがわかる。一方で、Heave の RAO にほとんど差がないことがわかる。

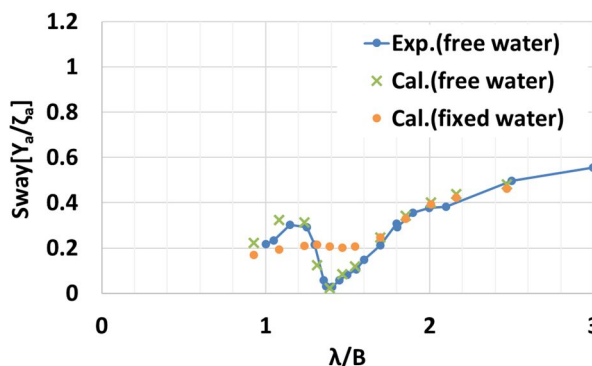


図 3 RAO(Sway)

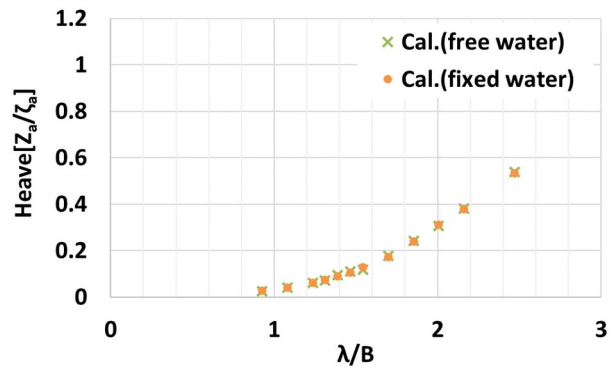


图 4 RAO(Heave)

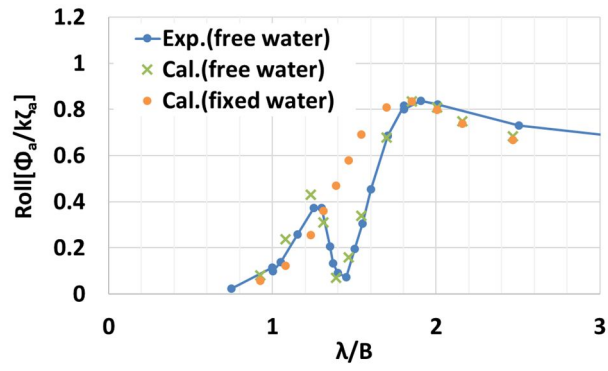


图 5 RAO(Roll)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kawamura Kouki, Hino Takanori	4. 巻 34
2. 論文標題 Development of a Coupled Method of Finite Volume and Particle Methods Based on Peer-to-Peer File Exchange	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of Offshore and Polar Engineering	6. 最初と最後の頁 83 ~ 92
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.17736/ijope.2024.sv08	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 河村 昂軌
2. 発表標題 GPU クラスタにおける動的負荷分散を用いた粒子法によるスロッシング計算
3. 学会等名 日本流体力学会年会 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kawamura Kouki, Hino Takanori
2. 発表標題 Development of a Coupled Method of Finite Volume and Particle Methods Based on Peer-to-Peer File Exchange
3. 学会等名 The 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference, Ottawa, Canada, June 2023. (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------