

TSUBAME 共同利用 令和2年度 学術利用 成果報告書

利用課題名 損傷船体の縦曲げ最終強度と波浪中安全性評価に関する研究
英文: Study on the ultimate bending strength and the safety assessment of damaged ships

橋本 博公
Hirotada Hashimoto

大阪府立大学 大学院工学研究科
Osaka Prefecture University
http://kyoindb.osakafu-u.ac.jp/html/110441_ja.html

船舶が衝突・座礁した場合、折損・沈没などの大規模損傷に至るかどうか、至る場合はどの程度の時間が残されているかを、海象条件を考慮して評価する必要がある。本研究は、漂流あるいは被曳航状態の損傷船体について、浸水流動が全船応答および縦曲げ強度に及ぼす影響を調査することを目的とする。TSUBAME3.0 上でのハイブリッド並列計算により、1.5 億超の粒子を用いた大規模な陽的 MPS 法を用いて、内部浸水を含む非線形流体挙動をシミュレートし、付加質量力や減衰力等の巨視的流体力に及ぼす影響を明確化することを試みた。特に、内部の浸水影響の詳細について議論するため、瘦型船のラディエーション流体力に及ぼす損傷破孔の有無の重要性について調査を行った。

In this study, the influence of floodwater on a ship response and longitudinal bending strength of a damaged hull was investigated. By using hybrid parallel computation on TSUBAME3.0, nonlinear fluid behavior including internal floodwater was simulated by a large-scale explicit MPS method with 150 million particles. Then influences on an added mass force and a damping force of a damaged hull were presented. In particular, in order to discuss the details of internal floodwater effects, we investigated the importance of the existence of a damage hole on the radiation forces of a slender ship.

Keywords: Damaged ship, Floodwater, Radiation force, Explicit MPS, GPGPU

背景と目的

船舶が衝突・座礁した場合、人命・財産・環境への影響を最小化するためには、漂流あるいは被曳航状態の損傷船が、折損や沈没に至るかどうか、あるいは至る場合にはそれまでの時間を、海象条件を考慮して、即時に精度良く判断する必要がある。そのため、まず上述の状態にある損傷船体を対象として、詳細な数値解析(波浪中弾性応答、縦曲げ崩壊挙動、浸水部流体挙動)、並びに水槽試験を行い、波浪中における損傷船体の縦曲げ崩壊挙動を浸水・傾斜影響を含めて明らかにすることを目的とする。

本研究では、損傷船体の縦曲げ最終強度評価法を確立するにあたり、損傷破孔を介して出入りする浸水滞留水が波浪中の船体応答及び縦曲げ荷重に及ぼす影響を明らかにすべく、スーパーコンピュータ TSUBAME3.0 を使用し、十分な大きさの数値水槽を用いた大規模粒子法によって、損傷破孔の有無が船体に作用するラディエーション流体力に及ぼす影響に

ついて明らかにした。

概要

浸水流動が全船応答や区画内部への荷重に及ぼす影響を縦強度の観点から調べた研究はこれまでなく、その第一歩となる検討を行う。数値計算には、研究代表者らが開発してきた複数 GPU を用いた並列計算が可能な陽的 MPS コードを用いる。粒子法の計算コストは、GPU 単体でも大幅に低減させることが可能だが、MPI 通信を用いた複数デバイスによるマルチ GPU 並列プロセス計算を行うことで、2 億超の粒子数を用いた計算を可能としている。MPI によるプロセス並列は、複数の CPU プロセッサで複数のタスクを同時に実行することを可能としており、OpenMPI を並列処理に使用することで計算領域を分割し、それぞれの分割領域における演算を CPU プロセッサに割り当てて処理することで、計算負荷の分散を図っている。また、プログラムにおけるメインストリーム、領域分割の各種処理、分割領

域同士の情報通信(コミュニケータ)はホスト側で逐次処理を行い、分割領域内での粒子法による流体解析では、最も計算コストの高い時間発展部分の全てをデバイス側の演算によって処理する。

数値水槽とシミュレーション条件は Fig.1 と Table 1 に示した通りであり、水槽壁面からの反射波の影響を避けるため、損傷区画に対して十分に大きな水槽サイズを確保し、計算領域の両側には傾斜角 15 度の消波用ビーチを設けた。本研究では、TSUBAME3.0 の 4 ノード、16 プロセス、16GPU を用いて 30 秒間のシミュレーションを行った。

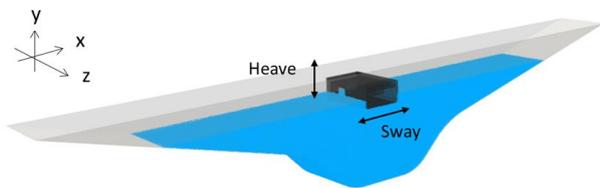


Fig.1 Numerical wave tank

Table 1 Simulation condition

粒子間距離 [m]	0.005
総粒子数	15,968,650(非損傷船モデル) 16,122,122(損傷船モデル)
マッハ数 [-]	0.2
クーラン数 [-]	0.2
時間刻み幅 [s]	1.61×10^{-4}
動粘性係数 [m^2/s]	1.00×10^{-5}

数値水槽に設置した船体区画を強制的に規則的な上下運動(Heave)または左右運動(Sway)を与える、いわゆるラディエーション問題を解くことで、強制運動に対する反力としてラディエーション流体力を求めた。非損傷状態と右舷中央部に損傷破孔と損傷区画を有する損傷状態の 2 状態について、シミュレーションを実施した。強制動揺の条件は、線形の深水波の理論をもとに、左右方向に造波される波の波長が垂線間長 3.0m とその半分の 1.5m となる周期 1.39s と 0.57s に設定した。30 秒間のシミュレーションでは、最初の 5 秒間は静定状態を作り出すために動揺は与えず、5 秒時点から 10 秒間の線形ランプを設定したうえで強制動揺を与えている。

結果および考察

Sway 方向強制動揺シミュレーションで得られた非損傷船と損傷船の流体力を Fig.2-3 に示す。前者は動揺周期が 1.39s の結果、後者は動揺周期が 0.57s の結果である。x 軸方向では、ラディエーション流体力の変動振幅が損傷時の方が大きい。これは、損傷破孔から流入した滞留水が内部区画側壁に衝突する際の衝撃的な圧力が加わったためと推察される。動揺周期を短くすると区画全体に作用する流体力振幅が大きくなった。浮体には正弦的な強制動揺により生じる加速度、速度に比例する力が作用するため、動揺周期を短くする方が大きな流体力が船体に作用する。y 軸方向については、動揺周期が長い場合は制限的な変動となっているが、動揺周期が短い場合は損傷の有無に関わらず非線形な変動を示している。また、損傷時には一定の滞留水が船内区画に存在することによる定常値の変化がみられる。z 軸まわりのモーメントでは、損傷時に非対称浸水による定常傾斜モーメントが発生している。しかしながら、動揺周期が 0.57s のときには定常モーメントの発生に加えて振動振幅も大きくなることが確認できる。Fig.4-5 は各周期でのシミュレーションのスナップショットである。周期が長い場合でも区画内部のスロッシングや損傷破孔を通じての流入が生じていることが確認できる。

まとめ、今後の課題

TSUBAME3.0 を用いた大規模な陽的 MPS により、瘦型船の非損傷/損傷状態でのラディエーション流体力の推定を試みた。本計算における空間解像度は、喫水に対して約 20 個、全幅に対して約 96 個の粒子を確保しており、圧力振動は避けられないものの、Sway 方向と Heave 方向のラディエーション流体力への損傷破孔および区画内部滞留水の影響を明らかにした。今後は水槽実験を実施し、その結果と比較することで、縦曲げ強度の解析に求められる精度が得られているかを検証する必要がある。また、現在の粒子法コードには壁境界条件にミラー粒子を用いているが、薄板を挟んで内外の流れをシミュレートするにはミラー粒子の生成位置に工夫が必要であり、今後解決すべき課題となっている。

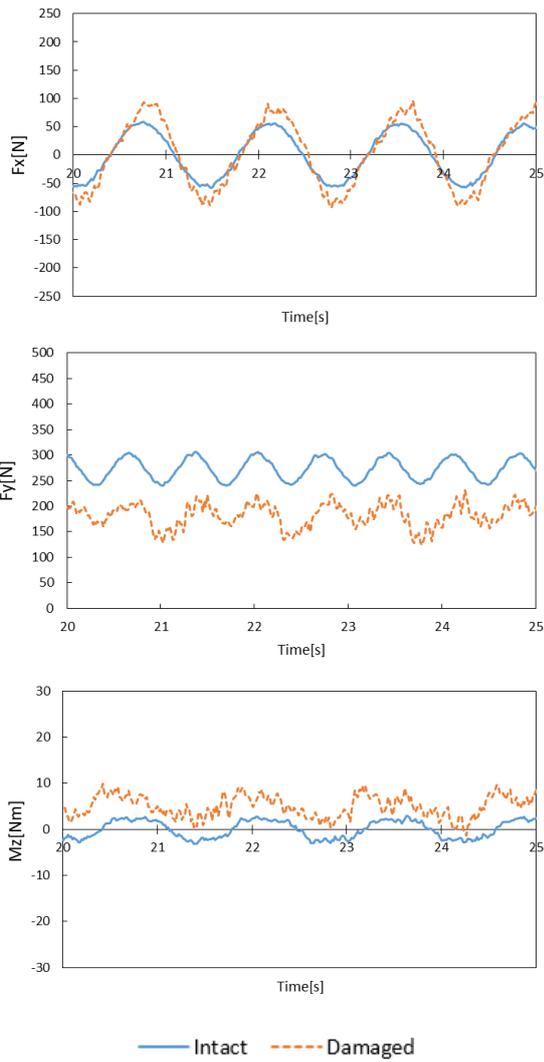


Fig.2 Time series of simulated radiation forces under forced sway [1.39s]

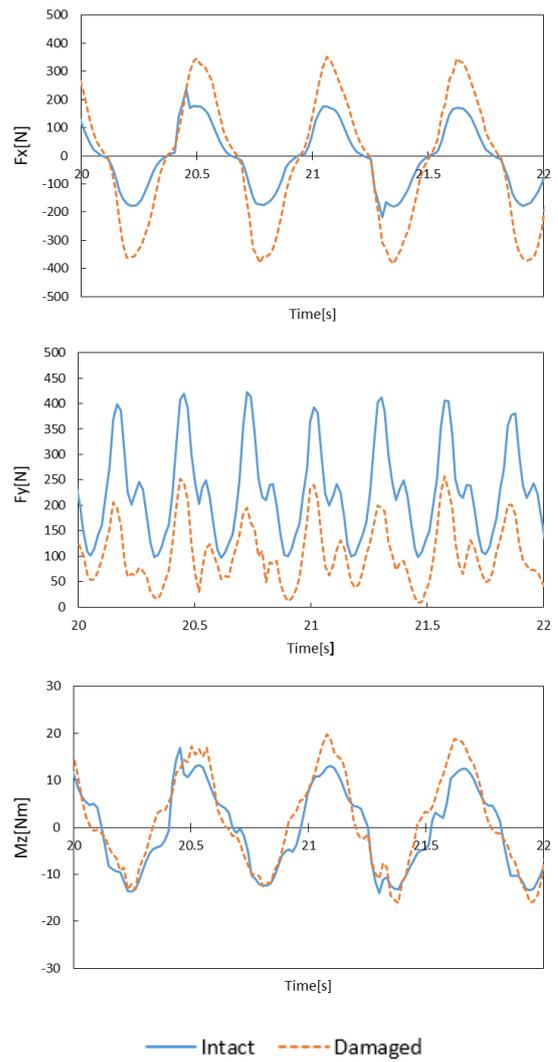


Fig.3 Time series of simulated radiation forces under forced sway [0.57s]

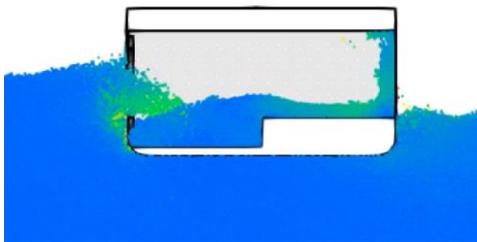


Fig.4 Interaction of water and a damaged hull under a forced sway motion at period of 1.39s

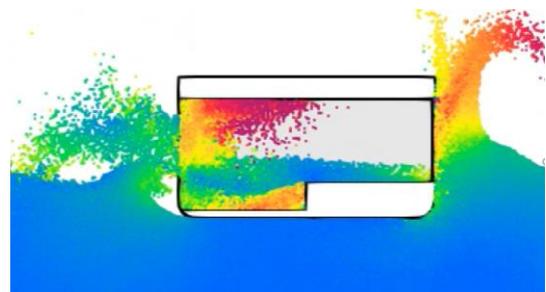


Fig.5 Interaction of water and a damaged hull under a forced sway motion at period of 0.57s