

審査の結果の要旨

氏名 柴田 和也

本論文は波浪中における船舶甲板への海水打ち込みの粒子法による数値解析に関する研究で、5章より構成されている。

第1章は序論で、研究の背景と目的が述べられている。荒天中を航行する船舶は、大波を受け甲板上に大量の海水が流れ込む場合がある。この現象は海水打ち込みと呼ばれ、甲板構造物の損傷や船体の復元力の低下などが引き起こされる。これまでの研究では実験にもとづく数式モデルが開発されてきた。しかし数式モデルでは、打ち込み水の3次元的な挙動や様々な打ち込み条件に対応することが困難である。そこで、粒子法の1つであるMPS法(Moving Particle Semi-implicit)を用いて3次元の波浪衝撃解析手法を開発すること、および波浪時の大振幅運動にも対応可能な船体運動モデルを開発することが研究の目的であるとしている。

第2章ではMPS法の計算手法が述べられている。MPS法による自由表面流れの計算手法について記述されている。本研究では大規模な3次元計算をおこなうことから、近傍粒子探索の高速化、連立一次方程式のソルバー、MPS法の並列化、および計算時間と粒子数の関係について研究されている。

第3章では粒子法を用いて開発された船体運動モデルについて記述されている。海水打ち込みが生じるほどの高波の条件では、船体運動の非線形性を考慮しなければならない。そのため、従来の線形の計算手法(ストリップ法)では十分な計算精度が得られなかった。本研究で開発されたモデルでは、船体を剛体とみなし、剛体と流体は粒子で離散化している。剛体と流体の相互作用は弱連成で計算され、剛体が流体から受ける力は剛体表面の圧力の積分より求められている。また、船体の姿勢の表現方法としてクォータニオンが採用された。これにより、船体と波との相互作用の計算において、船体の非線形な大振幅運動や海水打ち込みを考慮できるようになった。

第4章の内容は開発した手法の検証計算である。実験は(独)海上技術安全研究所の谷澤らが実施したものである。まず静止した船首模型への海水打ち込みの計算がおこなわれた。計算では打ち込み水が船首の両脇から中央部に集中する3次元的な挙動が得られ、実験と一致している。船首周りの水位については実験と定量的によく一致している。甲板上の圧力の時間変化は大きく振動する成分を含むものの、時間積分値(力積)は実験とほぼ

一致している。本実験解析から、開発された計算手法により海水打ち込みの3次元挙動や甲板上の力積を評価できることが示された。

次に、船体を強制運動させながらの海水打ち込みの計算がおこなわれた。船体を向かい波方向に航走させ、船体の上下揺(Heaving)と縦揺(Pitching)として航走実験の測定値を強制的に与え、海水打ち込みのみを比較できるようにしている。計算結果では、波長船長比が0.7の場合に船体運動は小さく、入射波は船体の前面で激しく衝突してから甲板上へ落下している。波長船長比が1.0の場合、水面に対しての船体運動が大きく、船体が波の山に突入し、大量の流体が勢いよく甲板上に打ち込んでいる。波長船長比が1.5の場合、船体運動は大きい水面の動きに沿っており、打ち込み水は甲板の表面に沿って緩やかに流れる挙動を示している。これらの流体挙動は実験と良く一致している。甲板上に加わる圧力の積分値もほぼ実験と一致したが、全体的に実験よりも小さくなる傾向が見られた。その原因は解像度の問題であると説明されている。

さらに、船体運動と波との相互作用が計算された。船体運動が安定するためには長時間の計算が必要であり、そのために、流入境界と流出境界を工夫した仮想水槽が開発された。波長船長比が0.5では船体は殆ど運動がなく、1.0, 1.5では大きく運動した。揺れの振幅を実験および従来のストリップ法と比較したところ、本計算では海水打ち込みの影響が考慮されているために振幅はストリップ法より小さくなり、実験に近づく傾向が示された。すなわち、開発した手法によって海水打ち込みを考慮した船体運動を計算できることが示された。

第6章は結論であり、本研究のまとめが述べられている。

以上を要するに、本論文では粒子法を用いて船舶甲板への海水打ち込みの定量的な3次元解析手法の確立および大振幅運動が扱える船体運動モデルの開発をおこない、多数の検証計算を実施している。これらは、粒子法によるコンピュータシミュレーションを実用的な技術として展開するものと位置づけられる。こうした成果はシステム量子工学の進歩に貢献するところが少なくない。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。