

論文審査の結果の要旨

氏名：相 田 康 洋

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：津波漂流物と構造物の衝突問題への MPS 法の応用に関する基礎的研究

審査委員：（主査） 教授 増 田 光 一
（副査） 教授 小 林 昭 男 教授 中 西 三 和
准教授 居 駒 知 樹

先の東日本大震災の津波災害で特徴的であったのは、船舶、自動車、コンテナ等が津波漂流物となって少なからず建築物を含む構造物に被害を与えたことである。この様な津波による構造物の被害のメカニズムを整理検討し、沿岸域の構造物の耐津波設計に対する合理的な荷重算定法を提案する必要があり、そのためには次の 3 つの課題について今後検討されるべきである。① 建築センター提案の静水圧近似を基にした建築物に作用する津波波圧算定式の適用範囲を明確化。② 引き波時の建築物に作用する津波力及び RC 建築物における洗堀の影響の評価法の検討。③ 津波漂流物が沿岸域の建築物を含めた構造物に作用する衝突力の実用的推定法の検討。

以上の考察を踏まえて、申請者は、本格的な研究が少なくまた合理的且つ実用的な解析法がない③の研究課題を選択し、津波による大質量の漂流物の構造物への衝突は、その構造的な破壊を招くため構造物の設計・計画において津波漂流物による衝突力を予測し、その影響を考慮する必要があると見解を述べている。

さらに、申請者は、津波漂流物の衝突力を予測するための有力な手段として数値シミュレーションがあり、沿岸域の津波伝搬現象に数値シミュレーションを利用した研究は数多く存在するが、津波漂流物の衝突問題を取り扱った研究は極めて少ないと既存の研究を整理した結果に基づいて指摘している。

また申請者は、衝突問題のシミュレーションを難しくする理由として、数値シミュレーションに非線形非圧縮性流れ場を解ける手法であること、漂流浮体を取り扱える手法であること、衝突力の取り扱いが可能な手法であることの 3 点を合理的且つ実用的に満足する必要があることに起因しているという見解を述べている。同時に、申請者は、沿岸域の津波現象は砕波、越波、越流を伴い自由表面の大変形が発生し、これらの現象を合理的に解析できる手法が沿岸域の津波シミュレーションおよび津波漂流物の衝突シミュレーションにおいては必要不可欠であるという見解を述べている。

越塚らによって 1995 年に開発された非圧縮性流体のための粒子法である MPS (Moving Particle Semi-implicit) 法は、自由表面の大変形の際にも格子法のような煩雑な格子生成の作業を行わずに統一的に流れ場を扱うことができる数値シミュレーション手法である。また MPS 法上での浮体のモデル化については、浮体-流体間に特別な境界条件を設定せずに波浪中浮体運動が解析可能な手法が提案されており、津波漂流物を浮体として取り扱うことで、津波漂流物の構造物への衝突現象を数値シミュレーションする際に極めて有力な解析法であると申請者は主張している。同時に、申請者は津波漂流物の構造物への衝突問題に MPS 法を適用した研究は例が少なく、合理的且つ実用的にその衝突力を再現可能にした研究は申請者の知る限りないとしている。

以上、申請者は既存研究に関する考察から津波漂流物の発生から構造物への衝突までの一連の現象を統一的に解くことが可能な数値解析法を確立した研究例がないという結論を得ている。

そこで本研究では、津波漂流物の衝突に関する研究の現状問題点を整理し、津波漂流物の構造物への衝突問題について MPS 法を用いて合理的且つ実用的にシミュレーションするための課題を解決し、津波漂流物の発生から構造物への衝突までの一連の現象を統一的に解くことが可能な MPS 法による数値解析法を確立することを目的とした。

本論文は第 1 章序論、第 6 章結論を含めて 6 章で構成されている。

第 2 章 「衝撃津波流体圧および漂流物衝突力に対する MPS 法の拡張」では、既存の研究で行われていた剛体としてモデル化された浮体と壁粒子間での衝突力を壁粒子の圧力の面積分として求める場合の問題点を数値実験に基づいて明確にし、その原因となる問題を考察し特定している。前述の問題点の解決方法として津波漂流物と構造物の衝突問題を合理的に解析するために申請者は独自に仮想弾性境界の導入を提

案している。本論文で提案された仮想弾性境界は浮体構造物のみに作用するものであり、直接流体には作用しないが、浮体に作用する流体力との連成は考慮されている境界である。MPS法による衝突問題の数値解析に仮想弾性境界を導入する本手法の優位性は、前述の壁-剛体モデル間での衝突問題を解析した際に発生するほぼ全ての問題を解決できることであると考察している。以上、上述のMPS法に仮想弾性境界を導入したことは、本研究の新規性の1つであると判断できる。

第3章「基礎的な現象の再現」では作成したMPS法プログラムコードの基本的な現象の再現の確認を行い、その妥当性を検討している。検討の対象としては、流れ場に関する検討、浮体の喫水に関する検討、仮想弾性境界への浮体の衝突の際の衝突力の検討、以上の3点である。

これにより粒子で壁を構成した場合に発生する各種問題を解決できることを明確している。2章で提案された理論をもとに開発された仮想弾性境界を伴ったMPS法の数値解析システムを基本的な物理現象へ応用し解析精度の検証を行っている、以上の検討により、申請者は、本論で提案した数値解析法の妥当性を明確にしている。

第4章「衝撃津波流体圧の再現」では、衝撃的な津波流体圧の解析に関するMPS法の適用性について水槽実験との比較を基に検証し、実用上十分な精度を有していることを明確にしている。即ち、浮体が構造物に衝突した際に浮体に作用する衝撃津波流体圧が開発した本解析法で再現可能であることを確認するため、構造物に作用する衝撃津波流体圧の数値実験および水槽実験を行った。実験結果と数値実験結果の比較考察に基づいて本数値解析法の精度を検証している。

第5章「津波漂流物の衝突現象の再現」では、津波漂流物の発生から構造物への衝突までの一連の現象を水槽実験と仮想弾性境界を伴ったMPS法を用いた数値実験で再現し、これら2つの結果の比較考察から津波漂流物の乗り揚げり挙動、構造物への衝突力を本論で提案したMPS法により実用上十分な精度で推定できることを明確にした。即ち、海域に設置された浮体が津波により岸壁へ乗り上がり、陸上構造物に衝突するまでの一連の現象を実験とシミュレーションで再現した。津波による岸壁への乗り上がり挙動では水平挙動、鉛直挙動、回転挙動の数値解析結果を水槽実験の結果と比較し、定量的に精度よく再現できることを明らかにしている。その後の漂流から構造物の衝突までの挙動も精度よく再現できることを明確にしている。また最大衝突力は実験値の9割程度を再現可能であり、衝突開始から終了までの時間も実験値と実用上問題無い範囲で一致することを明確にしている。

以上の考察より本論で開発したMPS法による数値シミュレーション法は、海域にある船舶等の大質量の津波漂流物の発生から陸域へ乗り上がり構造物へ衝突するまでの一連の現象を合理的且つ実用的に十分な精度で予測できることを明確にしている。この結果は、本研究の中で最も独創的で且つ新規性のある結果である。

第6章「結論」では、本論文の各章の考察で得られた結論を整理し最終的に総括している。

本論文の主要な結論は、津波漂流物の構造物への衝突問題に対して仮想弾性境界を伴ったMPS法に基づいた数値解析法を開発し、各種の検証計算と水槽実験との比較考察を通じて本数値解析法の妥当性を明確にし、さらに津波漂流物の発生から構造物への衝突までの一連の現象を統一的に解くことのできる仮想弾性境界を伴ったMPS法による合理的且つ実用的な数値解析法を確立した点である。本研究の成果は、沿岸域の危険施設、建築物の耐津波設計に寄与すること大である。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士(工学)の学位を授与されるに値するものと認められる。

以上

平成27年2月19日