

論文審査の結果の要旨

氏名：村 田 一 城

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：MPS 法による津波中の浮体挙動および衝突力の推定に関する研究

審査委員：（主査） 教授 居 駒 知 樹

（副査） 教授 小 林 昭 男

特任教授 増 田 光 一 客員教授 宮 本 卓次郎

大津波による被災は海上においては港湾などの浅瀬にある船舶や浮体施設から始まり、陸上では遡上した海水に全てが押し流される。日本では歴史的に津波による沿岸部の被害は繰り返されており、壊滅的な被害も局所的には数十年の間隔で経験している。東北地方太平洋沖地震による大津波は1000年に一度の大津波であり、それが頻発するわけではないが、津波防災や被災予測の方法について根本的に考え直すきっかけとなった。実施に、南海・東南海・東海地震ではそれに匹敵する規模の津波と被災が想定されており、可能な範囲で対策を講じることが命題である。

津波防災には考えるべき問題が幾つかあり、可決するための課題も様々である。本論文はその中でも海上から陸上に遡上して流される、いわゆる漂流物として船舶に代表される浮体構造物に着目し、主にそれらが陸上の建築物へ衝突することを問題点として取り上げ、それを解決するためには相応の計算精度で現象を予測可能な数値シミュレーション法が必要であるという立場で展開される。本論文では、大津波による船体などの漂流は①陸上構造物の倒壊、②石油貯蔵施設からの石油流出やそれによる火災、③陸上での座礁による港湾機能の消失と④陸上および海上の物流路の閉塞による地域の復旧や経済活動の停滞などの危険事象を引き起こす原因となり得ることを、文献や実態調査から述べている。申請者は、このような被害を防ぐためには、原因となる船体等の漂流の挙動特性を理解し、陸上構造物への物理的被害に対しては衝突現象と衝突荷重を直接評価することが必要であると、そのための数値計算法が必要であると述べている。

本論文は上述の着想に至る背景を述べながら、津波による漂流物の衝突現象の数値計算法に関して、その課題を整理し具体的な解決方法を考究している。

衝突する物体は海上から海水に流されて陸上へ移動するという非常に複雑な挙動を示す。これを考慮するために、本論文では数値流体力学（CFD）的手法の適用が有効であると述べ、その中でも MPS（Moving Particle Semi-implicit）法なる粒子法を選択している。その理由として、津波による流体（海水）の挙動は幾何学的に大きく変形する強非線形現象であり、さらにそれによって流される物体の挙動も非線形性が強い現象であると述べ、計算格子によって物体座標が特定されるオイラー的 CFD 計算の離散化よりもラグランジュ的に物体の移動を直接解くための数値モデルが有力であると述べている。しかしその一方で、本論文では、MPS 法による物体間の衝突現象の再現には未だ問題点があり、その解決方法は MPS 法の適応課題の拡大という観点からも課題であると考察している。

本論文では MPS 法において衝突現象を扱うためには物体を弾性体としての扱いが必須であるとしながら、さらに粒子間の摩擦を導入する必要性を述べて、具体的に新たな摩擦モデルを提案している。第 2 章においてはこれらを含めた数値モデルの離散化を丁寧に解説している。MPS 法は水波を取り扱う分野ですでに多くの応用例があるが、衝突現象の再現に特化させるための摩擦モデルの工夫は興味深く、後述するようにその妥当性の検証方法は極めて厳密で、信頼性の高いものである。このような新たな数値モデルの提案は高く評価される。

開発された MPS 法による摩擦モデルは解析解との比較により検証され、水と物体が相互に影響し合う環境下での適応性についても水槽実験結果との比較から検証されている。衝突力の計算の妥当性は運動量に着目して、その保存性を力積の状態から検証している。また、水槽実験値との比較においても物体衝突力の最大値での議論だけでなく、力積による評価が行われており、検証の信頼性は高く評

価される。

本論文の第4章と第5章では、実際に想定される規模の模擬津波が静岡県清水港内に接岸する船舶に入射することを想定した数値実験が実施され、研究目的である漂流する浮体の建築物への衝突現象の特性が考究されている。数値実験では船舶の喫水や積載重量の変化や岸壁からの距離を変化させており、それらが船体の陸上への遡上と漂流状態に強く影響することを明らかにし、かつ定量的に考察されている。この違いが結果として、同一形状の建築物に対しても衝突の状態や衝突力が変化する原因であることが明らかにされている。

さらに、遡上し漂流する船体の建築物への衝突性状は船体と建築物の長さの比に強く依存していることが数値計算から示され、その原因についても考究されている。その理由は、建築物による遡上流の反射によるものであり、反射流が大きな状態では、船体は衝撃的に衝突することすらできなくなることを数値計算結果から結論づけている。結果として、この考察は船体の遡上の状態とも関連付けることができることを示しており、非常に信頼性が高いとともに、衝突性状そのものと特徴が解明されたとも評価できる。このような津波による船体等の構造物への衝突の状態や衝突力の特性が定量的な考察はほとんど行われておらず、高く評価される。

本論文の新規性は、従来は困難であった津波漂流物の挙動と陸上へ遡上した際の衝突現象を精度良く推定できるようにMPS法を拡張し、その妥当性を検証したことにある。本論文の主たる目標は達成され、これまでは定性的で曖昧な議論であった津波漂流物の衝突現象が深く理解され、今後の防災対策への寄与が期待される。

本論文の論旨の展開は、既往研究の整理ならびに研究目的の設定から課題解決に至るまで明快であり、目的を達成するために実施した研究内容とその結果に対する考察と得られた結論は妥当であると考えられる。本研究で開発された摩擦モデルを含む数値モデルは、MPS法のさらなる発展と応用可能分野の拡大にも寄与すると考えられる。また、港湾地域の津波防災対策を講じる上で、本研究の成果は、海上の船舶などの浮体の漂流対策と陸上建築物の配置計画や構造強度の検討に広く示唆を与えるものと考えられる。

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29年2月16日