

## 審査の結果の要旨

氏名 深沢 壮騎

広域の津波伝播と氾濫の再現計算には、非線形長波理論に基づいたモデルが主に用いられるが、沿岸部における分裂を伴う比較的周期の短い波動成分の生成・伝播特性や、海岸堤防などの構造物の越流量などの再現性には課題が残されている。また、波の分散性による影響を考慮した非線形分散波理論に基づいたモデルでは、上記の課題の再現性の向上がある程度期待されるが、急勾配地形への適用は難しく、特に構造物の周囲における複雑な流れ場の計算が難しい。その一方で、三次元流体モデルは、エネルギーの保存性や計算負荷に課題が残っている。

本研究ではまず、東日本大震災において福島県の木戸川流域で撮影された動画に基づき、実地スケールでの津波の河川遡上の特徴を整理するとともに、様々な計算条件や計算方法に基づく数値モデルを適用する数値実験を実施し、その再現性の比較を行った。その結果、非線形長波理論に基づいたモデルでは、全体的に津波の河川遡上速度を過小評価する傾向があること、摩擦係数や河川流量、入射波の形状や入射角等のパラメータや、基礎式の離散化方法を変えることによってある程度再現性の向上が見られること、特に入射波形の違いは遡上速度に有意な影響を及ぼすことなどを明らかにした。しかしながら、これらの計算条件や計算方法の変化では、画像から推定した遡上速度を十分には再現できなかった。それらの結果から、非線形長波理論で考慮していない分散性や、河川流との重合に伴う水平方向流速の鉛直方向分布などの現象を再現できないことが原因であると推察した。

そこで、静水圧近似がなされておらず有限振幅性と非線形性を考慮した分散性を含む後藤(1984)の非線形分散波方程式を、各深度の流量を変数として考慮した多層モデルへ拡張した。鉛直加速度を考慮した同様の多層モデルとして金山(1997)の平面波浪場のものが挙げられるが、本モデルは遡上計算を前提としたために式展開の過程で非回転の仮定そのものを用いていない点や、流速ではなく流量を変数として展開している点、スケーリング操作により各層毎の移流項を式内に残している点で異なる。既往研究では簡便に与えられることの多い層間の剪断応力についても、方程式の導出を行った。そして導出した多層型非線形

分散波モデルを解析する数値シミュレータの開発を行った。

開発したモデルを用いた既往の実験の再現計算に適用し、従来の非線形長波モデル、ブシネスクモデル、3次元モデルの解析結果との比較検討を行った。方程式の近似精度としては、非線形長波モデル、ブシネスクモデル、多層モデル、3次元モデルの順に高くなり、計算時間はこの順に膨大となる。

まず、ブシネスクモデル以上の近似精度を持つモデルを用いて得られる段波到達時刻は沿岸域、遡上域共に実験とよく一致する一方で、非線形長波モデルは特に底面勾配のある場合に遅くなる傾向が見られた。また、ブシネスクモデル以上の近似精度であれば、伝播に伴う波の分裂を再現することができた。

またブシネスクモデルよりも多層モデルに優位性がみられた現象としては圧力の再現精度の向上が挙げられることが分かった。堤防を越流する流れがある場合、天端や裏法尻にて圧力が静水圧分布から大きく外れる。既存モデルではその傾向をつかめているのみであったが、多層モデルで層数を増やすにつれて、実験結果に近づいた。次に、分散第1波高について、3層モデルによる計算結果と実験値とのずれは、ブシネスクモデルによる計算結果と実験値のずれと比べて、半分程度になった。また、水平流速の鉛直分布についても、層数を増やすにつれて3次元モデルから得られた分布に近づいた。そして、鉛直堤防の非定常越流実験においては、多層モデルで層数を増やすにつれ、堤防越流量の再現性が大きく向上した。また堤防の越流実験では、越流直後に波が跳ね上がることで、後続の堤防に向かう流れが継続する一方で水表面近くでは反射波が逆流する現象が生じることを、実験結果や3次元解析結果が示しているが、多層モデルでは、このような水平流速が鉛直方向に大きく変化している流れ場についても、その特性を妥当に再現できることがわかった。

以上の研究成果は、既往の津波の伝播・氾濫解析モデルの基礎式と数値解法を既往の実験や現地データとの比較に基づく精査により、その特性および適用性を明らかにしたこと、さらに、新たに非線形分散性を考慮した多層モデルの基礎式を導き、シミュレータを構築・適用することによって、実用性の観点でまだ課題は残るものの、開発した多層モデルの適用性を実証した点において新規性が認められ優れている。

以上より、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。