

論文の内容の要旨

論文題目 津波遡上計算における
多層型非線形分散波モデルの適用性の検証
(Applicability of Multi-Layered Nonlinear Dispersive
Long Waves Model for Tsunami Run-up Simulation)

氏 名 深沢 壮騎

本研究は津波解析の精度と実用性の向上を目指すべく、フィールドスケールの計算から既存モデルの特性を取りまとめ、そこから浮かび上がった問題点を解決するべく新たなモデルの構築と開発、適用性の検証を行ったものである。

広域の津波と氾濫の解析においては、鉛直積分型の非線形長波理論に基づいたモデルが主流であるが、このモデルは津波のマクロな浸水域は比較的精度良く計算できるものの、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、上記の分裂波の生成・伝播特性や、鉛直方向加速度の影響による圧力場の変化などの算定において再現性の向上が期待されるが、急勾配地形への適用は難しく、特に人工物の周囲のような複雑な流れ場の計算が難しい。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映像を元に、実地スケールでの津波の河川遡上の特性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見られたが、摩擦係数や河川流量、入射波の形状や入射角、基礎式の離散化手法などを変更することによって、遡上速度に有意な影響を与えることが示された。特に、入射波形の

違いと離散化手法は遡上速度に大きな影響を及ぼした。しかしながら、これらの検討では、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。以上より、鉛直加速度に起因する分散性や、河川流との重合に伴う水平方向流速の鉛直分布などの、非線形長波理論では再現できない現象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と同様の仮定で、各深度の流量を変数として考慮した多層モデルを導出した。同様に鉛直加速度を考慮した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式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シミュレータの開発を行った。

開発したシミュレータを用いた既往の実験の再現計算について、従来の非線形長波モデル、ブシネスクモデル、3次元モデルによる解析結果を用いて比較検討を行った。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増加する。

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底面勾配のある場合に実験よりも遅れる傾向が見られた。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できた。これらは、鉛直加速度に起因する分散項の効果である。

多層モデルを用いた場合にブシネスクモデルよりも再現性が上がったものとして、まず圧力の評価が挙げられる。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。さらに、単層モデルでは表現し得ない鉛直堤防への衝突直後の複雑な流れ場についても、その特徴をつかんだ妥当な解析が可能であった。

最後に、開発した多層型非線形分散波モデルを用いて木戸川における津波の河川遡上の再現計算を行い、非線形長波理論のモデルの結果との比較を行った。ブシネスクモデル、多層モデル共に、この津波の遡上速度は上記の実験の再現計算と同様に非線形長波モデルよりも速く算出され、ビデオ解析から得られた遡上速度を十分に再現することができた。また、層数を増やした場合には、津波と逆向きの流れが津波にも影響を与え、遡上速度が減速する傾向があることが示された。