

[37]

氏名	もりしたゆう 森下祐
博士の専攻分野の名称	博士(学術)
学位記番号	安全博第3号
学位授与の日付	平成27年3月31日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	津波による土砂移動特性の解析と津波移動床モデルの高度化に関する研究
論文審査委員	主査教授 高橋 智 幸 副査教授 越村 俊 一 (東北大学) 副査准教授 越山 健 治

論文内容の要旨

本論文は津波による土砂移動特性を考察するとともに、近年得られた津波土砂移動に関する知見を踏まえて多角的な視点から、また実務面への展開を視野に入れ、津波移動床モデルの高度化を図ることを目的としている。以下、研究方法を述べる。

(1)宮城県気仙沼湾は1960年チリ津波、2010年チリ津波、2011年東北津波の地形変動実績が整理されている極めて稀な海域となっている。そこで、これらを活用して各津波による土砂移動の実態を考察することに加え、津波波形や湾内の流況、浸水区域等と地形変動との関係性についても考察している。(2)複雑な港湾施設が入り組む実港湾地形において、津波による土砂移動特性を考察した。津波移動床モデルの適用性を評価することに加え、実港湾地形で予測される土砂移動特性を時系列的な変化等を交えながら詳細に考察した。また防波堤の有無など、港湾施設が土砂移動に及ぼす影響を津波防災の観点から考察し、津波による土砂移動を検討する際の実務上の留意点等についても言及した。(3)津波移動床モデルの高度化に際し、まず2011年東北津波において精度の高い現地記録を有している気仙沼湾を対象に、既往モデルの再現性評価と課題の抽出を行った。課題となり得る要因が多岐に及ぶ可能性があることを考慮し、格子間隔や粒径等の外的要因に着目した改良、浮遊砂濃度の移流解法など差分解法に着目した改良、津波土砂移動に影響を及ぼす因子の評価方法に着目した改良などについて感度分析を行った。その結果、より改良効果が期待でき、かつ改良による実務上の課題も少ない因子に着目した改良方法を選定した。因子としては無次元掃流力、流砂量式係数、飽和浮遊砂濃度、沈降速度に着目し、より津波の物理特性に準じた評価方法へと改良を行った。その後、各支配的因子の改良効果を個別に考察するとともに、最終的な高度化モデルを提案した。(4)提案モデルの汎用性の評価を行うため1960年チリ津波に適用した結果、既往モデルに比べて再現性の低下が見られたことから、感度分析でその要因を確認し、流砂量式係数の評価方法と特定した。2011年東北津波と1960年チリ津波では非定常性が大きく異なるため、これまで定数として評価していた流砂量式係数を無次元掃流力の時間変化の関数として評価した。関数形は不確定因子を含めたパラメータから構成し、パラメータの感度分析を行うことで流砂量式係数の関数評

価の必要性や更なる改良の着眼点について考察した。

以上の検討より、次のような結果を得た。気仙沼湾に來襲した津波による地形変動実績は津波による土砂移動が津波の周期や押し波・引き波の規模等に密接に関連していることを示唆した。また、津波による土砂移動は、引き波時を中心に港湾施設周辺での局所的な侵食を引き起こすことや本来津波を減衰させる機能を持つ外郭施設等が設置位置によっては予期せぬ範囲での土砂の堆積等を引き起こす可能性も示唆され、実務面において憂慮すべき課題として提示した。2011 東北津波を対象に高度化を図った津波移動床モデルでは、津波の物理的な特性を踏まえて因子の評価方法を改良した。この結果、既往モデルに比べて、狭窄部から湾口の再現性を飛躍的に向上することができた反面、流れが複雑化する湾奥では再現性がやや劣る結果となった。また、汎用性に着目した検討では、1960 年チリ津波に対し、本提案モデルが既往モデルに比べて再現性を低下させることが明らかとなった。このため、その要因となる流砂量式係数に対し、津波の非定常性を考慮することで、両津波とも再現精度を低下させることなく評価できる可能性があることを示した。

論文審査結果の要旨

津波が浅海域に達すると大きな掃流力と乱れにより大量の土砂が移動し、様々な被害の原因となる。そこで津波による土砂移動とそれに伴う地形変化を事前に評価するために必要となる津波移動床モデルの再現性および適用性の向上が本論文の目的である。以下、それぞれの研究事項に関する審査結果を述べる。(1)モデルの高度化を行うためには実際の津波による土砂移動特性を理解することが重要であるため、1960 年チリ津波、2010 年チリ津波、2011 年東北津波による宮城県気仙沼湾での地形変化に関する現地調査結果を解析している。その結果、振幅や周期などの津波波形と侵食および堆積の分布や割合などの関係性を明らかにしている。特に、遠地津波と近地津波による侵食あるいは堆積の卓越過程の相違は興味深い。(2)津波移動床モデルの適用性を調べるため、最近の防災実務で使用され始めている 2m 格子での地形モデルによる数値計算を実施している。複雑な地形を有する小規模な漁港を対象としているが、数値的な不安定性は発生せず、詳細な移動床計算が実務上問題のないレベルで行えることを示している。また、現在一般的に用いられている津波固定床モデルと比較し、津波移動床モデルでは港口などの狭窄部で大きな侵食が発生し、それに伴う通水断面の増加により、背後での流速や水位が小さくなる結果を得ている。よって、津波移動床モデルの方がより実際に近い流況を再現できることを示しているが、従来の被害想定やハザードマップ作成に用いられている津波固定床モデルは過大評価となる傾向を有しているため、保守側の結果を与えており、防災対策としては今後も有効であることを示している。(3)津波移動床モデルの高度化を行うため、既往モデルを 2011 年東北津波來襲時の気仙沼湾に適用した結果、侵食と堆積の分布が実測値と異なっていることを明らかにした。そこで、その原因となっている因子を複数抽出し、パラメータスタディを行うとともに、それぞれについて物理的な検討を行っている。その結果、特に流砂量式係数および飽和浮遊砂濃度の影響が卓越していることを明らかにし、前者には粒形依存性、後者には流速依存性を考慮したモデルを導入することにより、津波移動床モデルの再現性の向上を実現している。また、湾口部およびそれに続く狭窄部に比べて、湾奥部での地形

変化の再現性が低いことに注目し、人工的な護岸を有する遡上域から水深の小さい湾奥部への流入の影響が大きいことを明らかにしている。すなわち、このような地形においては鉛直方向の流れが大きくなり、積分モデルでは流速自体の再現性が低くなるのが原因であるため、三次元計算が必要であることを示している。(4)提案モデルの適用性を調べるため、1960年チリ津波来襲時の気仙沼湾に適用した結果、既往モデルに比べて再現性が低下する結果となった。そこで、その原因として流砂量式係数において非定常性を考慮していないことに着目し、無次元掃流力の時間変化を考慮した簡易モデルを導入することにより、地形変化の再現性を向上させ得ることを示している。

以上のように、本論文は津波による土砂移動とそれに伴う地形変化の予測精度を向上させた津波移動床モデルを提案した上で、防災実務への適用性について述べ、また残された課題についても考察している。よって、本論文は博士論文として価値のあるものと認める。