

数値計算と現地調査による極端気象外力にともなう離岸堤周辺域の海浜変形の発生機構の解明

Numerical simulation and field survey of coastal shoreline changes around detached breakwaters associated under atmospheric extremes' forcing

新潟大学工学部工学科社会基盤工学プログラム 准教授 中村亮太

(研究計画ないし研究手法の概略)

新潟海岸は、大河内分水路の建設にともなって100年以上の間、海岸侵食の被害を被ってきた。現在の海岸線は300m程度後退した結果であると整理されており、国土強靱化の観点からも、新潟海岸の汀線の維持は重要な国の課題となっている。この汀線を維持するために多数の海岸構造物が新潟海岸の全域に設置されている。この海岸構造物としては、離岸堤やヘッドランド工法、突堤、護岸などが挙げられる。この中でも、離岸堤はその汀線保護の観点から、多数設置されており、汀線維持に有用な工法である。一般的に離岸堤は、沿岸波浪の回折現象を引き起こして減衰した波浪によって、背後に土砂の堆積を引き起こす。この土砂の堆積によって、トンボロや舌状砂州の地形を構成することができるため、背後の汀線維持管理に役立つと考えられる。ここで、既往の研究成果においては、新潟海岸における海浜変形は依然として大きいと指摘されている。ここで、このような海浜変形に対して、離岸堤の海浜変形への影響度合いを定量的に評価した研究は少ない。また、離岸堤の背後においても、極端外力作用時（例えば、台風や冬季風浪の作用時）には、後背地において浜崖が形成されることもあり、その役割を適切に評価する必要がある。

このような背景から、本研究では現地調査と数値計算結果に基づく、極端気象外力にともなう離岸堤背後の海浜変形の発生機構の解明を目的とした研究を行った。最初に、現地調査では、UAVを用いた写真測量を実施することにより、陸域の海浜地形の3次元データを高精度に取得する。次に、魚群探知機に搭載されているソナーを用いて海底地形の深さを計測する。また、汀線付近では、UAVの写真測量と深淺測量を補完するために、GNSS測量結果を行っている。これらの現地調査を実施することで、新潟海岸における陸域・海域の地形データを構築する。2021年度以降、研究代表者らはこの手法を用いて新潟海岸の測量を行っており、研究実施期間である2023年度においても、同様の測量を行った。以下にUAVによる陸域の測量結果を示す。

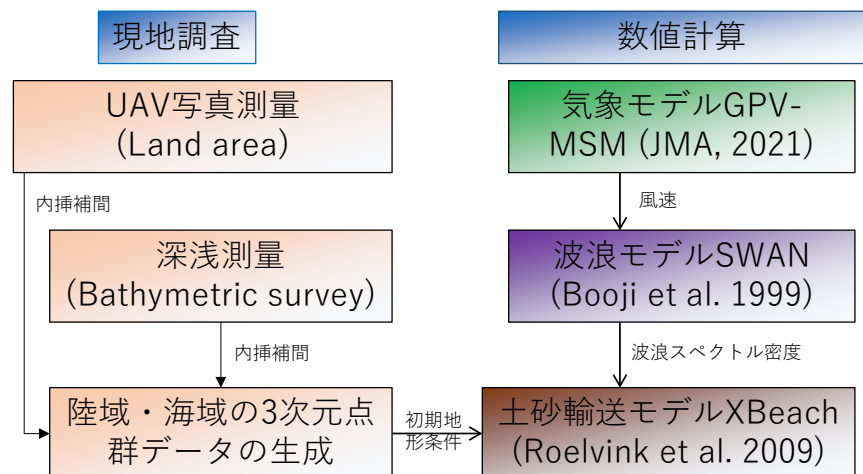


図-1 本研究で実施した現地調査と数値計算

以下にUAVによる陸域の測量結果を示す。

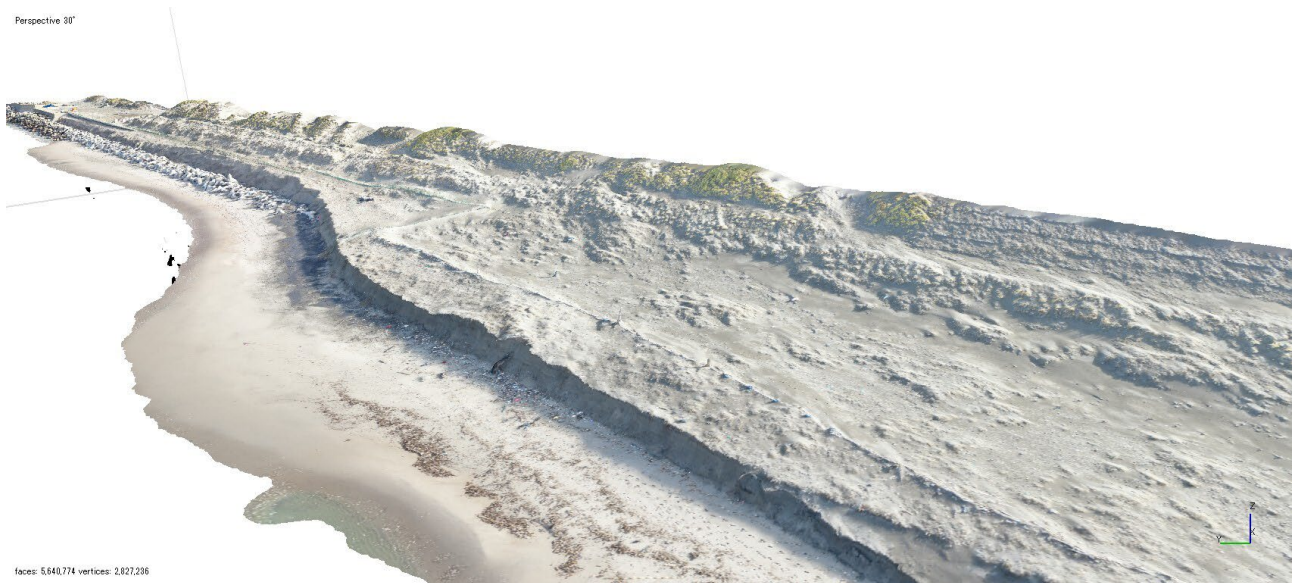


図-2 UAV 写真測量による新潟青山海岸の地形．浜崖が前方にみられる。

次に，土砂輸送数値計算モデル XBeach を用いた海浜変形の数値計算を実施する。土砂輸送モデル XBeach は，デルフト工科大学によって開発された 3 次元土砂輸送・地形変化解析モデルであり，世界各地の海岸に適用されている。ここで，波浪推算モデル SWAN と土砂輸送数値計算モデル XBeach に用いた計算領域を図-3 に示す。

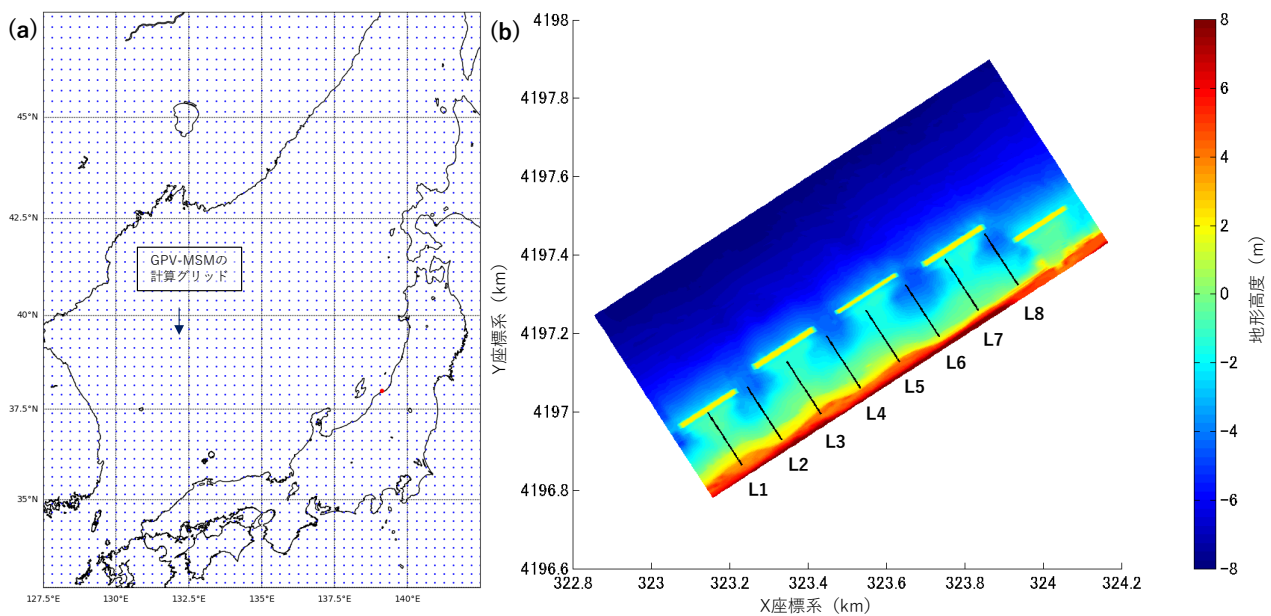


図-3 波浪推算モデル SWAN の計算領域（左）と土砂輸送モデル XBeach の計算領域（Nakamura et al. 2024 を編集して引用）

初期地形は，陸域と海域の測量結果より構築した。Surf beat モードと non-hydrostatic モードの二モードを用いることで，離岸堤背後の回折等を考慮するモデルや，背後の海岸侵食を厳密に再現可能な方法論を用いた。本研究助成では，複数の計算期間や領域（新潟青山海岸や小針浜など）を設定して研究を行ったが，代表的な計算期間としては冬季風浪にともなう

浜崖形成の機構解明のために、良好な現地調査データを得られている 2021 年 10 月 14 日から 2021 年 11 月 31 日とした。この期間においては、離岸堤背後に浜崖が形成されており、極端気象外力にともなう海浜地形の変化を定量的に評価できる。

(実験調査によって得られた新しい知見)

現地調査の結果として、浜崖を始めとした新潟海岸の海浜変形が高精度に計測できた。この地形の誤差は、最も良い精度で数センチメートルであり、比較的精度が高くないケースにおいても 10 数センチメートルの誤差であった。さらに、深浅測量の結果としては、測量精度は 10 数センチメートルであり、精度の高い計測が可能であった。このように、陸域・海浜における測量精度は高かった。

次に、メソ気象モデル GPV-MSM を外力として用いた波浪推算モデル SWAN の結果であるが、新潟沖における NOWPHAS の観測結果と比較すると、相関係数は 0.95 を超えており、良好な数値計算結果が得られた (Nakamura et al. 2024)。従って、算定された波浪スペクトル密度の精度も比較的高いことが予想される。次に、新潟青山海岸周辺域で得られた波浪スペクトル密度と柏崎港の観測潮位を境界条件として、土砂輸送モデル XBeach による地形変化の算定を行った。最初に、土砂輸送モデル XBeach のモード間の表面水位の算定結果を比較した。結果として、non-hydrostatic モードによる離岸堤背後の波浪の回折が比較的精度よく算定されていた (図-4)。他方で、surf beat モードは波浪の回折作用を精度よく算定することが難しいことも評価の結果として分かった (図-5)。これは、エネルギー平衡方程式は波浪の回折作用を捉えることが難しいことに起因すると考えられる。このように、波浪の回折作用は non-hydrostatic モードの方が良好に再現できていた。これらは著者らの研究グループによる既往研究とも合致する。

次に土砂輸送モデルによる地形変化の算定結果を評価する。Non-hydrostatic モードによる地形変化の算定結果は、離岸堤背後に舌状砂州の地形が形成されていた。他方で、surf beat モードでは、離岸堤背後の開口部に堆積が算定されており、実現象と若干異なった。

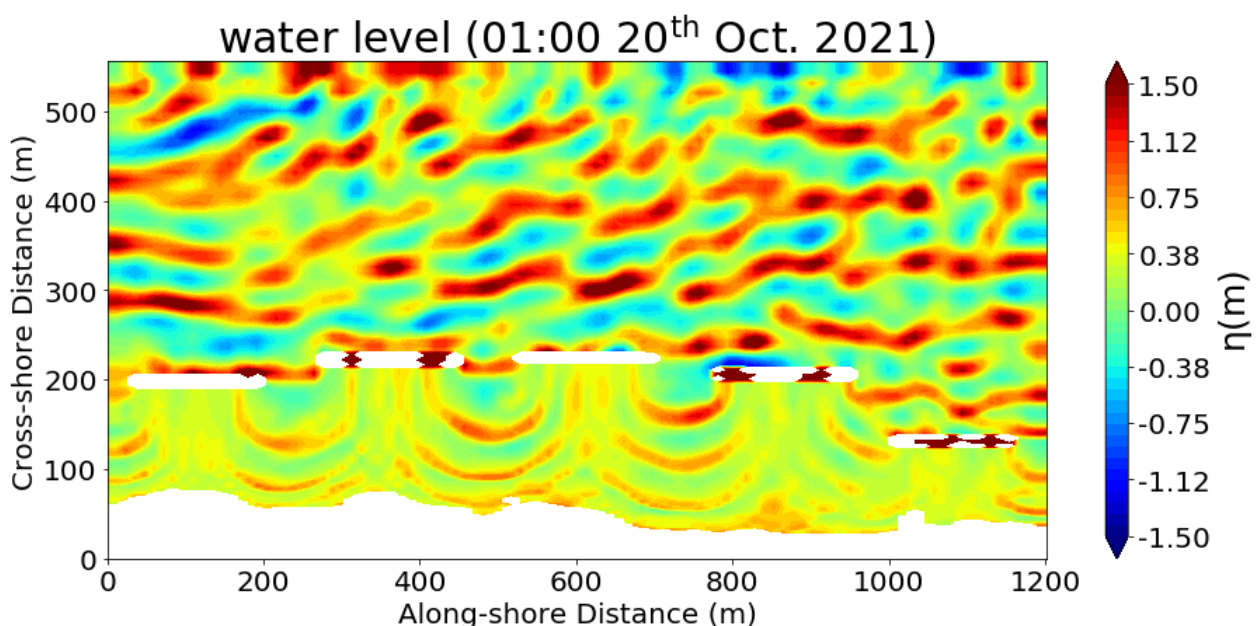


図-4 Non-hydrostatic mode による表面水位の算定結果

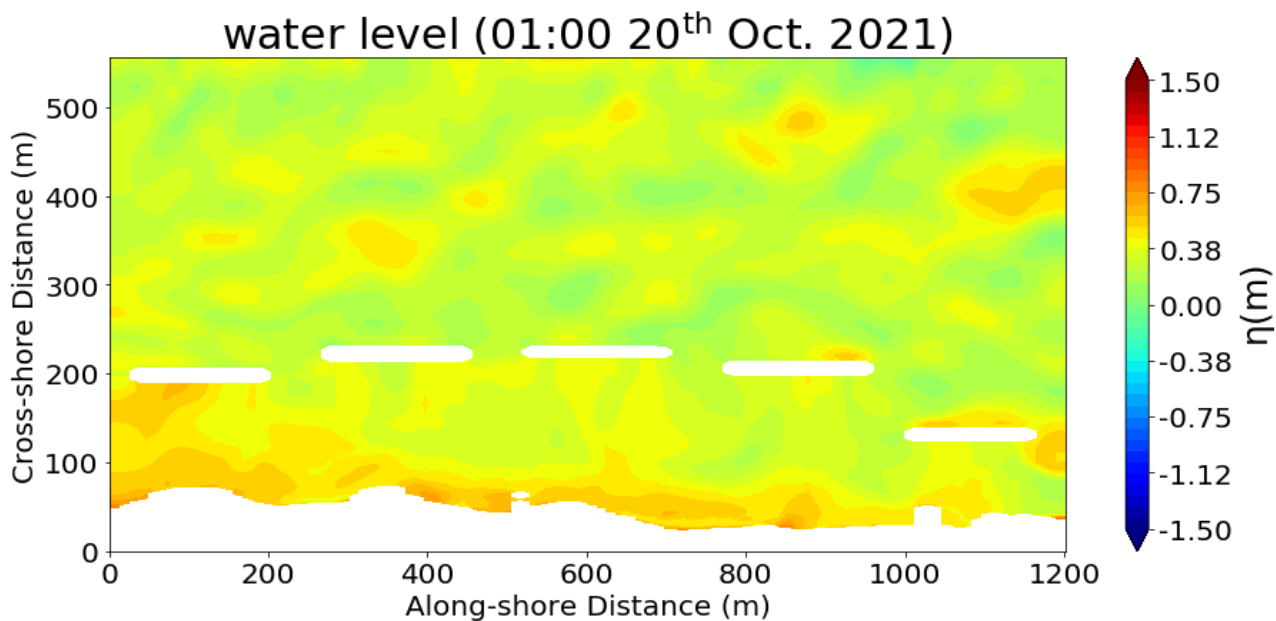


図-5 Surf beat モードによる表面水位の算定結果

これは、non-hydrostatic モードは回折作用による地形変化（トンボロ形状の地形）が再現できるが、surf beat モードでは、この地形変化が再現できないことに起因すると考えられる。このように、離岸堤背後の数値計算結果では、モードの選択によって大きな差異が発生することが確認できており、離岸堤背後の堆積現象を精度よく定量的に再現するためには、non-hydrostatic モードの結果を用いる必要がある。

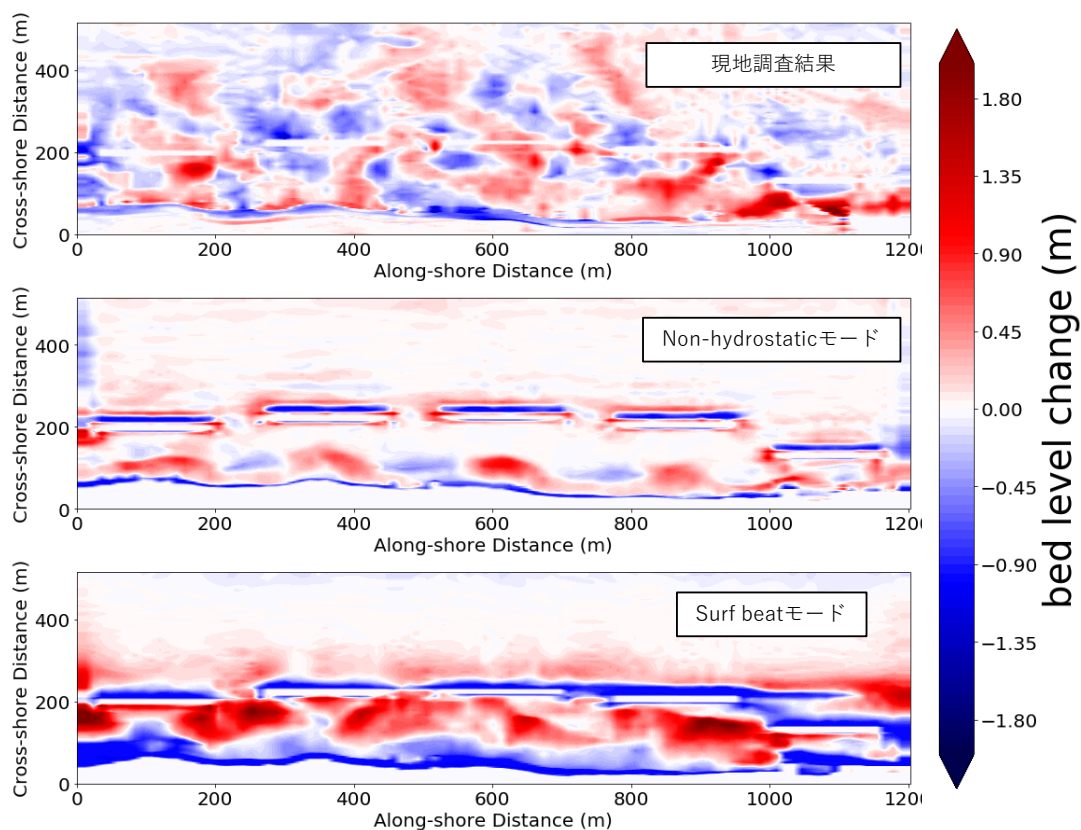


図-6 現地調査結果と、各モードによる地形変化の算定結果の比較

最後に、断面毎の地形変化の算定結果を比較した。浜崖が発生した地点においては、陸域において斜面形状の崩壊が発生していた（図-7）。この斜面形状の崩壊が、新潟青山海岸における浜崖の形成要因であることがわかった。これらの傾向は、surf beat モードにおいても確認されていた。このように、新潟青山海岸における極端外力による海浜変形としての浜崖の発生要因は、波浪作用による斜面崩壊によるものであると、数値計算結果として評価された。この他にも、新潟海岸における解析を行ったところ、極端外力によって新潟海岸における雨水吐口内では堆積作用が確認されたりするなど、極端気象外力は新潟海岸において顕著な地形変化を引き起こすことが評価された。

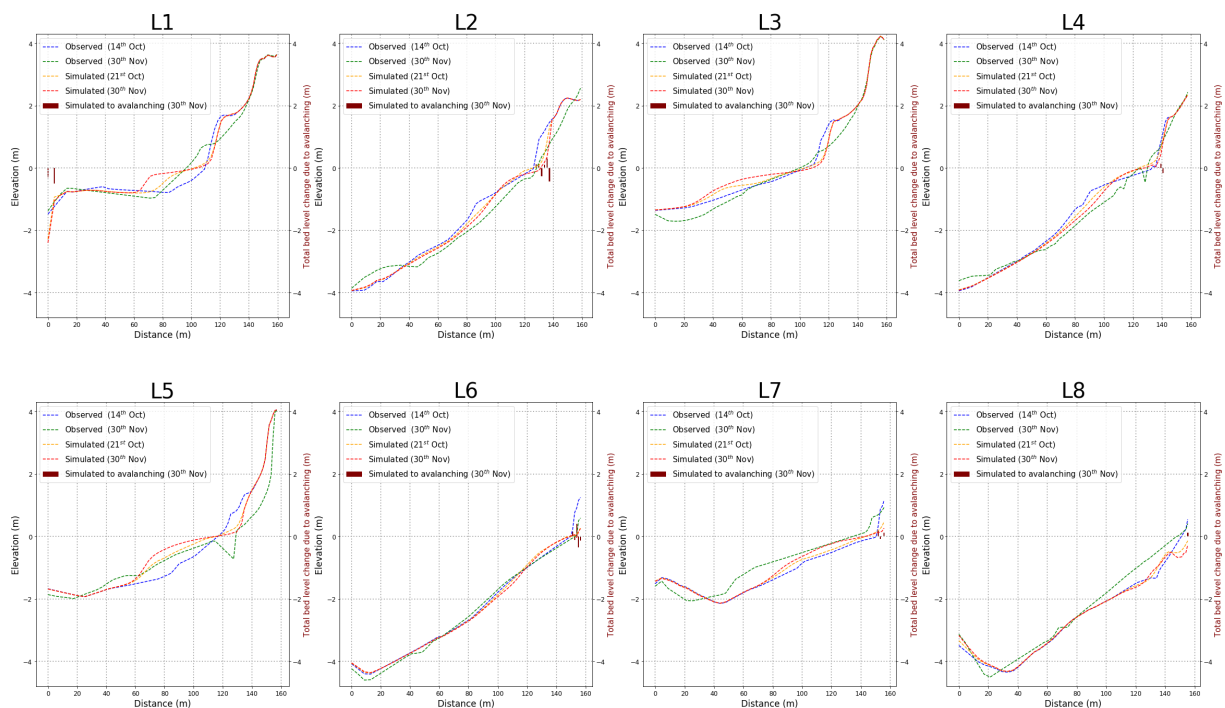


図-7 各断面の地形変化の算定結果（non-hydrostatic モードの結果． Nakamura et al. 2024 より引用）

（ 発 表 論 文 ）

- (1) Nakamura R., Ohizumi, K. Ishibashi, K., Katayama, D., Aoki, Y. (2024): Dynamics of beach scarp formation behind detached breakwaters, Estuarine, Coastal and Shelf Science. Vol. 298, 108651
- (2) 片山大地・中村亮太・石橋邦彦・大泉洸太 (2023): 新潟海岸における雨水吐口内堆砂量の数値計算の高度化の検討．土木学会論文集，79 巻，18 号，23-18033 [doi:10.2208/jscej.23-18033]

上記の論文は貴財団の支援を受けて発表された，記して謝意を表する。