

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	海岸堤防背後への津波越流と洗掘に伴う乱流渦遷移に関する気液二相流解析
Title(English)	Numerical analysis of tsunami overflow and turbulent eddy behind coastal dykes
著者(和文)	永瀬翔平, 高木泰士
Authors(English)	Shouhei Nagase, takagi hiroshi
出典(和文)	第 6 3 回理論応用力学講演会講演集
Citation(English)	Proc. The 63rd Nat. Cong. of Theoretical & Applied Mechanics 2014
発行日 / Pub. date	2014, 9

海岸堤防背後への津波越流と洗掘に伴う乱流渦遷移に関する気液二相流解析 Numerical Analysis of Tsunami Overflow and Turbulent Eddy behind Coastal Dykes

永瀬 翔平(東工大院・理工) 高木 泰士(東工大院・理工)
Shouhei NAGASE, Tokyo Institute of Technology
Hiroshi TAKAGI, Tokyo Institute of Technology
E-mail: nagase.s.ac@m.titech.ac.jp

The 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami caused the devastation of sea dykes, executed by overflow and scouring behind the structure. In this research, characteristic of flow behind the dykes was investigated using a vertical 2D simulation incorporating gas - liquid two phase flow, coupled with a horizontal tsunami simulation. The authors also conducted a field survey to measure the depths of scouring to be used in the simulation in Ishinomaki City. The results show the position of turbulent eddy is moving landward with the progress of the scouring. It is considered that this change accelerated instability of structures.

1. 研究背景

2011年に発生した東日本大震災は巨大な津波を引き起こし、海岸堤防を越流した津波は堤防背面に大規模な洗掘を引き起こし、甚大な被害を与えた。この震災を受けて、内閣府の中央防災会議内に設置された「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」では、今後の津波防災対策の基本的な考え方について、「設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物の技術開発を進め、整備していくことが必要」ととりまとめている。この考えを構造物設計に反映させるためには、津波越流時の流況を詳細に解析し、構造物の破壊に至る過程を十分に理解する必要がある。

特に、断面急変部における渦の発生や遷移が堤防背面の洗掘とどのように関係し、構造物の破壊に結びつくのか、現時点では、十分に明らかになっていない。本研究では、宮城県石巻市の海岸堤防を対象として、津波越流とそれによる背面洗掘に伴う海岸堤防の破壊過程を検証する。このため、現地調査、津波伝播数値解析および気液2相流数値解析を行った。

2. 現地調査

東北地方太平洋沖地震津波により発生した海岸堤防の被害について高精度GPS、測量スタッフを用いて、堤防周辺の標高、堤防高、洗掘深を計測した。被災の様子をFig.1、堤防高及び洗掘深、背面標高をFig.2に示す。

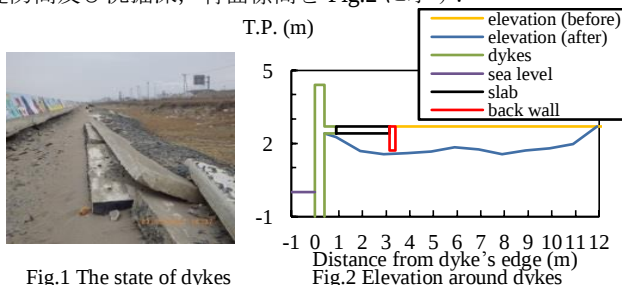


Fig.1 The state of dykes

Fig.2 Elevation around dykes

津波越流に起因すると考えられる最大深1.15m、幅11.5mにわたる洗掘が確認された。被害のパターンとしては、天端被覆コンクリート(縦2.25m、横10m、厚さ0.3m)と背面直立コンクリート(縦1m、横10m、厚さ0.25m)の双方が転倒しているものが数多く確認された。天端被覆コンクリートにおいては津波越流の際に回転したとみられるもの、水平移動したとみられるものの2パターンが確認された。また、天端コンクリートのみが水平移動し、直立コンクリートは無被害であ

った箇所も確認された。

本研究では、最も数多く確認された天端被覆コンクリート、直立コンクリートの双方が被害を受けたパターンを対象として数値解析を行う事とする。

3. 平面津波伝播数値計算

対象地域に襲来した津波の特性を把握するために宮城・福島沖の津波伝播数値計算を行った。解析には、Delft3D FLOW(Ver.3.42)を用いた。計算領域をFig.3に示す。計算負荷の軽減のため、格子サイズを20mから540mまで段階的に変化させた。沖側の入射境界には、国土交通省港湾局のGPS波浪計により宮城中部と福島沖の沖合で観測された水位変化を線形補間して使用した。水深データには日本海洋データセンター500m水深データ及びプレジャーボート・小型船舶用港湾案内の海図を使用した。時間ステップを20m格子では0.3秒、それ以外で1.2秒とし、計算時間は地震発生から2時間とした。また、初期水位として津波来襲時刻の天文潮位を設定した。

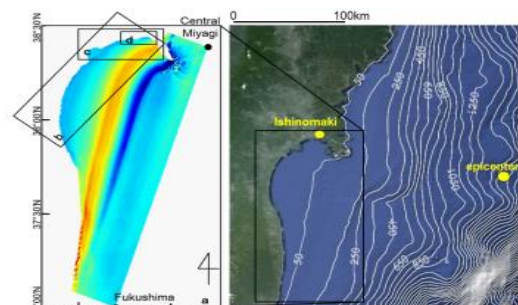


Fig.3 Computational domains

Fig.4(i)に堤防の陸側(point A)における本計算結果と東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる調査結果の比較、Fig.4(ii)に堤防の海側120m付近(point B)の津波水位、流速、進行方向を示す。進行方向が0度の時、津波が堤防に垂直に進行していることを示している。Fig.4(i)より津波のピークにおける水位はかなり精度良く再現出来ており、津波伝播解析の結果は妥当であると言える。Fig.4(ii)の結果より、津波は海岸堤防に対してほぼ垂直に進行していると判断できるため、第1波押し波による越流時の検討には、堤防に直角の断面2次元を設定し、point Bにおける平面2次元の計算結果を境界条件として用いて、堤防周辺の乱流挙動を気液

2 相流モデルにより解析した。

また、堤防背面約 800m には日和山があり、遡上した津波が反射する。実際の地形に対するケース(Case 1)と日和山を仮想的に除去したケース(Case 2)の比較により、計算上は 16 時 44 分 30 秒頃に堤防に反射波が到達することが分かった。堤防地点で入射波と反射波が重畳することで、今回の計算では再現できない複雑な流れ場が形成されるため、本検討では反射波が到達する以前のみを検討対象とした。

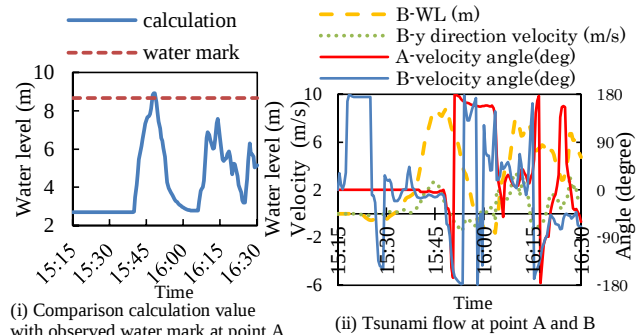


Fig.4 Result of tsunami propagation simulation

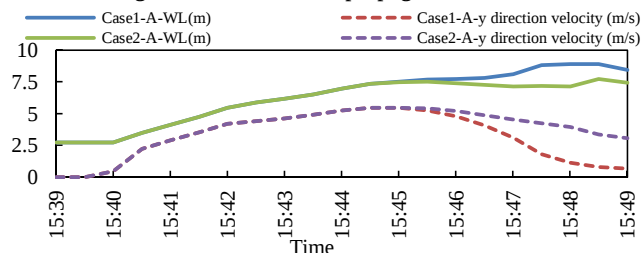


Fig.5 Flow comparison with and without neighbouring hill

4. 気液 2 相流数値モデルによる津波越流計算

津波が構造物を越流する際には地形変化や段落ちに伴う流体の断面的な振る舞いを詳細に評価する必要がある。そこで流体解析コードである ANSYS 社の FLUENT(Ver.15.0)を用いて Navier-Stokes 方程式に基づく断面 2 次元数値解析を行った。乱流モデルには $k-\epsilon$ モデルを用い、自由表面形状の決定には VOF 法を採用した。計算対象領域(Fig.6)は対象堤防から海側に 120m、陸側に 100m の範囲とし、計算格子は 20cm 格子を用いた。

最初に、背面で洗掘が発生していない状態で堤防天端被覆コンクリートの移動可能性を検討した。Fig.7 は天端被覆コンクリートに働く左端(海側)及び右端(陸側)における圧力、浮力、重力に基づく回転モーメント(左回転を正)の合力、圧力、浮力、重力に基づく鉛直合力(鉛直上向き正)を示したものである。解析では天端被覆コンクリートの鉛直移動、回転が発生しない結果となった。この為、洗掘の発生していない条件で単に天端被覆コンクリートのみが移動したとは考えにくい。

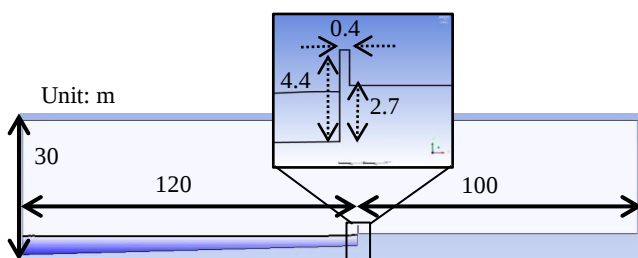


Fig.6 Computational domain for tsunami overtopping simulation

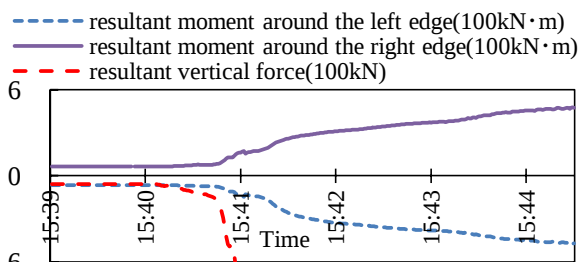


Fig.7 Momental and vertical forces acting on concrete slab

そこで、現地調査と越流計算の結果から海岸堤防が次の過程で破壊したと仮定した。

- 1) 越流により堤防背面において洗掘が発生
- 2) 洗掘が進み直立コンクリートが転倒
- 3) 堤体内の裏込土砂が流出
- 4) 天端被覆コンクリートが移動または回転

このような再現を行うためには、津波越流と洗掘の双方の相互作用を評価できる数値モデルを使用する必要があるが、本研究では洗掘については解析ではなく、現地調査結果に基づき洗掘状況を仮定した。すなわち洗掘のないパターン(Case A)と洗掘程度の異なる(Case B, C)の流況を比較した(Fig.8)。Case B は日和山からの反射津波が到達する以前に洗掘が最大深に達したケース、Case C は反射津波が到達した時点では洗掘は最大深に達しておらず、その後最大深に達したケースである。

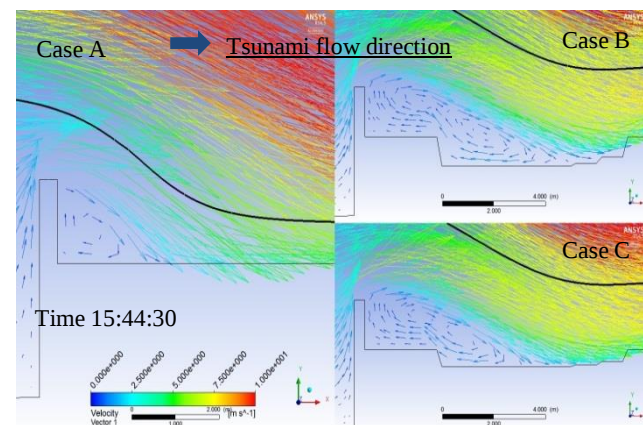


Fig.8 Changes in the position of turbulent eddy

Case B, Case C 双方において、洗掘が発生することにより、陸側に乱流渦が遷移し、直立コンクリートと背面地盤との隅角部において時計回りの強い渦が発生していることが確認できる。したがって、この乱流渦遷移により、直立部が転倒し、その後堤体土砂が流出した可能性が考えられる。

5. まとめ

東北地方太平洋沖地震津波を対象に、本研究では、数値解析を用いて津波越流時における海岸堤防背面の流況を再現することで、堤防破壊過程の検討を行った。海岸堤防背面において洗掘が生じることにより、乱流渦が遷移し、直立コンクリートが転倒、堤体内土砂が流出した可能性が示唆された。

6. 参考文献

- 1) 土木学会, "東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる速報値", 2014 年 7 月 22 日参照, <http://www.Coastal.jp/ttjt/>