

# 津波越流時における流れの衝突および乱れによる海底地盤の不安定化と混成堤の被災

津波 衝撃力 乱流

名古屋工業大学

学○今瀬達也 国 前田健一

東洋建設(株) 技術研究所

国 三宅達夫 正 澤田豊

国 鶴ヶ崎和博 正 角田紘子

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災において、津波により海岸構造物に甚大な被害が発生し、海岸構造物の耐津波化に関して“粘り強い構造化”が課題として挙げられている。本研究では、現在、防波堤を対象を絞り、今後発生が予想される津波に対し既存構造物が一気に大破せず粘り強い構造を有するための対策を検討している。そのために、まずは津波による防波堤の被災メカニズムを解明する必要不可欠である。東日本大震災において、防波堤の被災メカニズムがいくつか提案されているが、八戸港八太郎北防波堤に挙げられるような越流による防波堤背後地盤の洗掘（写真-1）<sup>1)</sup>とその影響による防波堤の不安定化について先行して検討した。検討にあたり、粒子法のひとつで大変形解析が可能なSPH（Smoothed Particle Hydrodynamics）法<sup>2), 3)</sup>を用いて、混成堤に作用する津波を想定した数値解析を実施した。ただし、流体力の影響を把握する目的とし、海底地盤や捨石マウンドは変形しない多孔質構造とした。また、小型水路実験による越流洗掘メカニズムの解明も試みているが、紙面の都合上、本稿には記載せず発表時に報告する。

## 2. SPH法の概要

SPH法は、連続体を複数の粒子として離散化したLagrange手法である。注目する粒子の物理量は、影響範囲内にある他の粒子の物理量を平滑化関数によって内挿して計算する。本研究では、平滑化関数に3次スプライン関数を用いた。

## 3. 数値解析による検討

### 3.1 検討断面

解析対象をケーソン防波堤、捨石マウンド、海底地盤からなる混成堤とした。解析断面の全断面を図-1(a)、混成堤モデルと間隙水圧の計測箇所および支持力に対する安全性を検証するために用いた円弧滑り線を示したものを図-1(b)に示す。津波はダムブレイク形式による段波津波を発生させた。また、初期の水位差 $h=0.96$ 、6.40mの2パターンとし、越流量の有無による比較を行った。

### 3.2 解析結果

#### a) 越流による衝撃圧と防波堤背後地盤の鉛直動水勾配変化

越流による防波堤背後地盤の影響を検討するため、鉛直上向き動水勾配を算出した。動水勾配は、各間隙水圧抽出箇所における過剰間隙水圧から求めた圧力水頭に位置水頭を加えたピエゾ水頭を抽出箇所間距離で除して求めた。越流時の海底地盤内

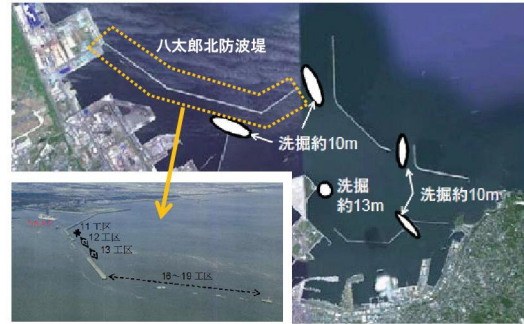
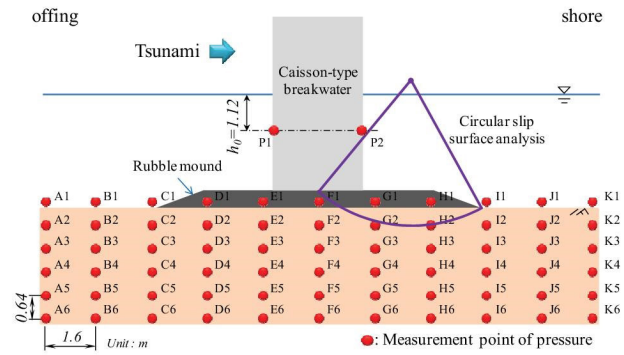


写真-1 東日本大震災における八戸港の被災（高橋ら<sup>1)</sup>に加筆）



(a)



(b)

図-1 港湾における津波流動場のモデル化；(a)全断面図；(b)混成堤と間隙水圧抽出箇所および円弧滑り線

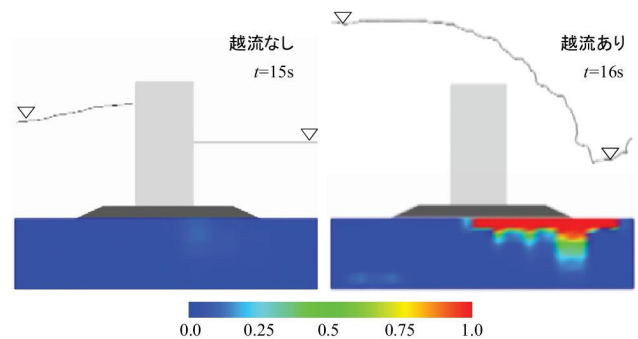


図-2 越流時における防波堤背後地盤内の鉛直動水勾配（左：越流なし、右：越流あり）

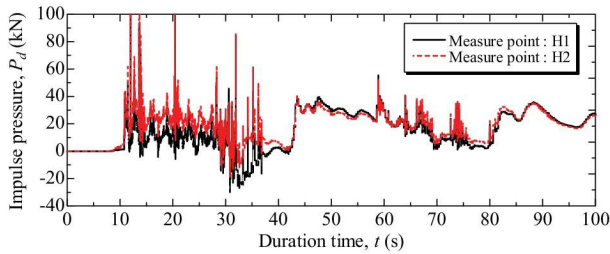


図-3 越流水塊が防波堤背後地盤表層に与える衝撃圧

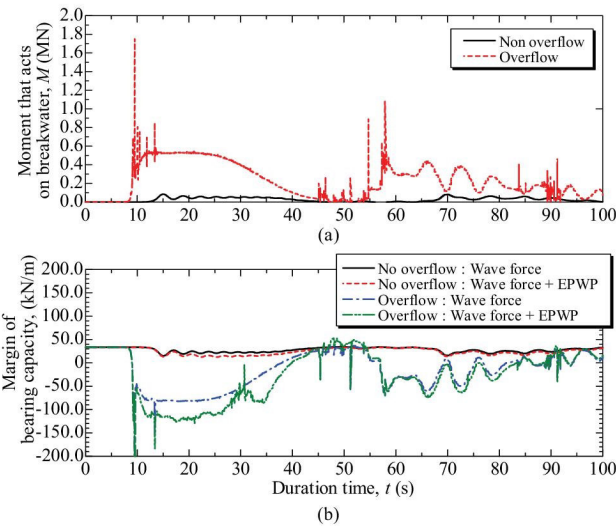


図-4 支持力破壊に対する安定性；(a)津波圧による単位奥行き当りのモーメント；(b)防波堤の支持力に対する余裕度

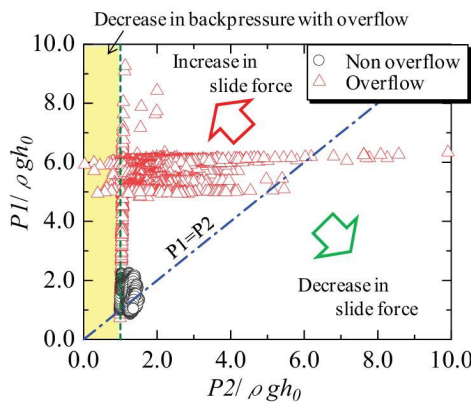


図-5 防波堤前面 (P1) と防波堤背面 (P2) の作用波圧における静水圧比

動水勾配を図-2に示す。ここで、正值は上向きを意味している。越流がない場合は、背後地盤の動水勾配の上昇が見られないのに比べて、越流がある場合は、防波堤直下から捨石マウンド法先に至る地盤表層付近にかけて動水勾配が1.0まで上昇することがわかる。このことから、地盤が非常に不安定な状態にあると考える。

図-3に越流水塊が地盤表層に与える衝撃圧の経時変化を示す。地盤表面（抽出箇所：H1）とG.L.-0.48m付近（抽出箇所：H2）と比較すると、地盤内部の圧力増分が高く、表面の変動に付随できていないことがわかる。今後は、この衝撃力（動圧）<sup>4)</sup>の影

響を定量的に評価し、地盤の洗掘現象との関連性を検討する。

#### b) 支持力破壊の検討<sup>5)</sup>

次に、支持力破壊について検討する。図-4 (a)に防波堤に作用した津波圧による単位奥行き当りのモーメント、(b)に防波堤の支持力に対する余裕度を示す。ここで、余裕度とは滑动変形に対する支持力強度から津波外力を引いたものである。支持力強度に関しては、地盤スライス内の過剰間隙水圧の上昇を考慮した計算も行った。越流なしの場合は、津波外力に対して安全側にあるが、越流する際は支持力が低下し、破壊に至る。この要因としては、津波外力が大きいことに起因するが、越流時の地盤劣化を考慮した場合（図-4(b)中の二点鎖線）、津波外力に比べてさらに余裕度が低下することから、津波外力による地盤への影響も十分に考慮する必要があると考えられる。

#### c) 越流による防波堤背後の水圧低下を考慮した防波堤の滑动に対する検討

越流により防波堤背後で水圧低下が発生し、防波堤の滑动に対する安全率が低下することが指摘されている。本ケースにおいてもその検討を行った。図-5に防波堤前面と背面の作用波圧における静水圧比を示している。図内の一点鎖線は $P1=P2$ を意味しており、滑动力が発生しないことを意味している。この結果から、越流する場合においては防波堤前面に津波波圧が作用しているにもかかわらず、背面では静水圧以下に低下することがわかる。一方で、越流しない場合では、背面水圧が低下することはない。今後は、越流による防波堤背後の水圧低下を及ぼす要因（越流水塊による背後の水位低下や渦等）を定量的に評価し、防波堤の滑动に与える影響を考察する。

## 4. おわりに

越流した水塊により防波堤背後の地盤では鉛直上向きの動水勾配が卓越し、地盤を劣化させる影響があることがわかった。また、越流量が増えることで越流した水塊の落下速度が上昇し、背後地盤に与える動圧力が上昇するため、洗掘が大きくなることが予想される。また、越流による防波堤背後の水圧低下に伴い、滑动が発生しやすくなる可能性が示唆される。

## 謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)23360203と基盤研究(B)21360222の助成を受けたものであり、ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 高橋 他：2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報，港空研資料，No.1231，2011。
- 2) Lucy, L.B.: A numerical approach to the testing of the fission hypothesis, *Astronomical Journal*, 82, pp.1013-1024, 1977.
- 3) Gingold, R. A. and Monaghan, J. J. : Smoothed Particle Hydrodynamics: Theory and application to non-spherical stars, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 181, pp.375-389, 1977.
- 4) 土木学会刊，水理公式集 平成11年度版，pp.269-273，1999。
- 5) 今瀬 他：津波力を受ける捨石マウンド-海底地盤の透水現象に着目した海岸構造物の安定性，*土木学会論文集A2（応用力学）*，Vol.67，No.1，pp.133-144，2011。