

# 混成堤の津波被害の形態および規模を考慮した対策効果の検討

津波 防波堤 耐津波補強

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

正 角田紘子 国 鶴ヶ崎和博

## 1. はじめに

東日本大震災における海岸構造物の津波被害に着目すると、防波堤等の外郭施設の有無または被害規模が岸壁等の係留施設や防潮堤の被害規模および背後地域への浸水に大いに影響している。そのため、津波による外郭施設の破壊メカニズムを解明し、'ねばり強い構造'化となる対策を提示することが急務である。

津波により外郭施設(本稿では、混成堤を対象とする。)の被災は、津波外力によるケーソンの滑動・転倒に加え、越流や浸透などにより、支持地盤の強度が低下し、大破する可能性があることが指摘されている<sup>1)2)</sup>。そこで本研究では、これまで検討を行ってきた混成堤を対象とした被害メカニズム検討を述べるとともに、破壊要因から考えられる対策工について、その対策工の効果を検討した事例を示す。

## 2. 混成堤の被災メカニズム検討

### 2.1 数値解析による検討概要

解析対象をケーソン式防波堤、捨石マウンド、海底地盤からなる混成堤とし、捨石マウンド、海底地盤の透水係数はそれぞれ  $1.0 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ 、 $2.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  とした。解析断面を図-1に示す。津波力は、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  $\Delta h = 0.96$ 、 $6.40 \text{ m}$  とし、越流量の有無による比較を行った(図-1)。

### 2.2 津波外力作用による支持地盤への影響を考慮した混成堤の不安定化

#### 1) 越流水塊に伴うケーソン背後地盤の間隙水圧変化

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。図-2に越流有無による海底地盤内の動水勾配分布を示す。越流により防波堤背後地盤では地盤表層付近で動水勾配が1.0まで上昇した。ポイリング現象が発生する限界動水勾配  $i_{cr}$  は、限界動水勾配に達するまでの浸透流が Darcy 則に従うとすると  $i_{cr} = 0.7 \sim 1.0$  となるため、地盤が不安定な状態になると考える。また、このように地盤の剛性が低下すると、津波を受け続ける防波堤は、地盤が健全な状態に比べ支持力が著しく低下し、支持力破壊に至る可能性がある(図-3(b))。

#### 2) 捨石マウンド・支持地盤内の浸透に伴う間隙水圧変化

越流が発生しないケースにおいても、防波堤直下および

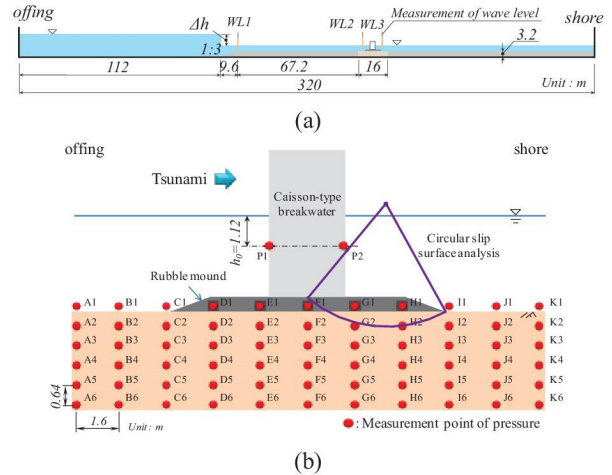


図-1 解析断面概略図(全体(a), 混成堤周辺(b))

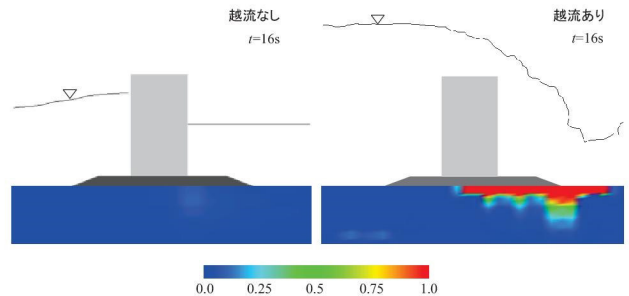


図-2 越流による防波堤支持地盤の鉛直動水勾配

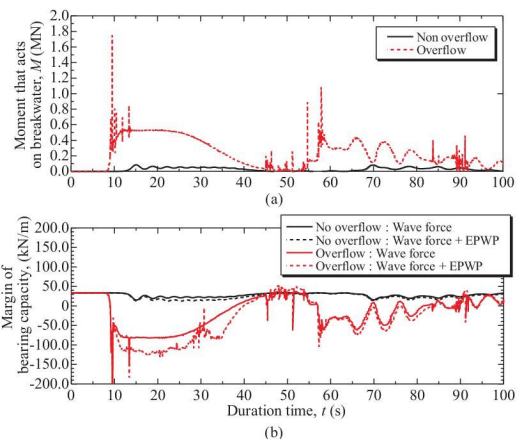


図-3 地盤内の剛性低下を考慮した支持力余裕度の変化(防波堤に作用する津波波力(a), 支持力余裕度の変化(b))

表-1 混成堤の耐震・耐津波構造化に向けた既往液状化対策の導入とその効果

対象	地盤改良				抑え盛土・アンカー	洗掘・浸食対策	
	置換・間隙圧消散	締固め	固化・注入	補強			
防波堤	新規	SCP 工法 (粘土地盤) パーチカルドレーン工法	SCP 工法 (砂地盤) パイプロ フローテーション工法	ソイルセメント 深層混合処理工法 薬液注入工法	抑え盛土 (支持力補強)	消波ブロック アンカー	被覆ブロック
	既設	パーチカルドレーン工法		薬液注入工法	抑え盛土 (支持力補強)	消波ブロック アンカー	被覆ブロック 蛇籠

背後地盤において動水勾配が上昇した (図-4)。防波堤下では、透水性が高い捨石と低い支持地盤からなる 2 層の地盤構造となっており、支持地盤は捨石を通過する高速流れによる掃流力が支配的な表層洗掘と地盤内を廻りこむ浸透力が支配的な浸透破壊が複合的に作用すると考えられる。複合的な外力による洗掘は、進行性破壊の速度に起因し、構造全体の破壊を進行させる可能性がある。

以上の結果を総括すると、図-5 に示すようにケーソン、捨石マウンドを支持する地盤が津波力の作用により、地盤内部の間隙水圧の変動に伴って、耐力を失うことが示唆される。言い換えるなら、液状化に似た状態となる。また、地震動により液状化し、過剰間隙水圧が消散しきれずに地盤剛性が低下している際に津波が来襲することも考えられ<sup>2)</sup>、一層危険側へとなることが想定される。しかしながら、一連の被災要因が地盤の液状化 (流動化) による強度低下とすると、液状化対策を施すことで、被害を最小限に食い止めることが可能ではないかと考える。そこで、次章では既往の液状化対策工法を用いた際の混成堤の耐震・耐津波構造化として考えられる効果を整理した。

### 3. 混成堤を対象とした耐津波化対策

表-1 に混成堤を対象とした、既存の液状化対策とその適用効果について示す。構造条件として、新設および既設に分類している。地盤改良については、改良効果に分類し、それぞれの工法を記載した。その他に、ケーソンの滑動および転倒に対して対策効果が想定される抑え盛土およびアンカー、また洗掘防止策として被覆工についても記載している。図-6 に対策例として、裏込石を施した場合の津波作用時の動水勾配分布について示す。裏込石を設けることで、背後地盤への越流水塊の直撃を回避することができ、さらに、流入角度が緩和されている。この結果、裏込石がない場合 (図-2 (右)) に比べて、動水勾配が 0.9 程度以上の幅・深さが若干ではあるが減少している。また、裏込石を用いた場合は、上載圧として地盤を剛にする働きが考えられるため、今後は地盤内部応力変化を考慮した効果について検討する必要がある。

### 4. 結言

支持地盤への津波の急速载荷 (乱流) や掃流力、浸透力作用により地盤の剛性低下が発生し、混成堤構造が不安定となりうる。上記外力が作用すると地盤が液状化 (流動化) 状態となることから、既存の液状化対策を支持地盤に施すことで、'ねばり強い構造' 化を実現できると考える。

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、基盤研究(B)21360222 および特別研究員奨励費 (24・9200) の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献：1) 今瀬他 (2011)：捨石マウンドー海底地盤への津波浸透による混成堤の不安定化，土木学会論文集 B2, Vol.67, No.2, pp.551-555. 2) 今瀬他(2012)：地震および越流による地盤損傷を考慮した津波力を受ける混成堤の支持力破壊検討，土木学会論文集 B2, Vol.68, No.2, pp.866-870.

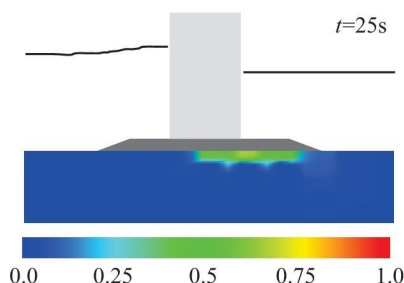


図-4 捨石マウンドおよび支持地盤への津波浸透に伴う鉛直動水勾配の上昇 (越流なし)



図-5 地震・津波による地盤液状化 (流動化) を伴う混成堤の被害ループ

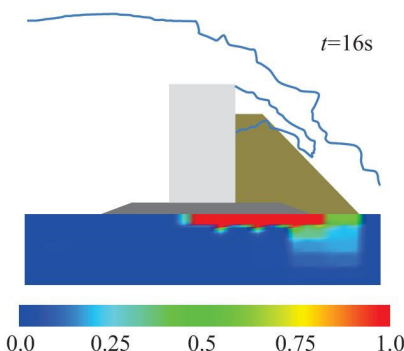


図-6 裏込石を有する混成堤支持地盤の鉛直動水勾配