

# 越流・浸透による支持地盤破壊プロセスに起因した混成堤の津波被害検討

名古屋工業大学 学 〇今瀬 達也 正 前田 健一  
 東洋建設(株)鳴尾研究所 正 三宅 達夫 角田 紘子 正 鶴ヶ崎和博

## 1. はじめに

津波による防波堤等の外郭施設の被災過程または被災規模は、背後地域への津波浸入量や浸入時間、それに伴う被害程度に大きな影響を与える。そのため、破壊メカニズムを十分に把握し、ねばり強い構造化に向けた構造形式および対策を明示することが急務である。2011年3月11日に発生した東日本大震災において、いくつかの防波堤被災事例が挙げられているが、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>が要因でケーソンが大きく移動したと考えられている。このような変形メカニズムについて、従来の波力とケーソンのインタラクションに着目した滑動や転倒に加え、越流水塊による洗掘や透水力による浸透破壊が生じ支持地盤の強度が急激に低下することで、大破する可能性が指摘している<sup>2)</sup>。しかしながら、明確な破壊要因としては明らかにされていない。そこで本研究では、津波越流による地盤強度の低下に伴う支持力破壊と支持地盤内に発生する透水力による浸透破壊を対象に、破壊要因となる現象の時刻変化にみた破壊プロセスを考察した。

## 2. 解析検討の概要

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討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、越流水深が比較的高く、かつ継続して続くように初期水位差 $\Delta h=6.40\text{m}$ と設定した。捨石マウンドおよび支持地盤には適度な透水性を与え、津波浸透が発生できる構造となっている。

## 3. 解析結果

### 3.1 支持力破壊に対する検討

津波越流による地盤強度の低下に伴う支持力破壊について検討する。本検討では、支持力強度の変動を考

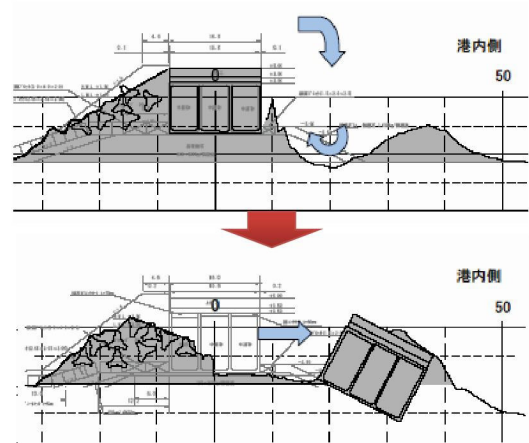
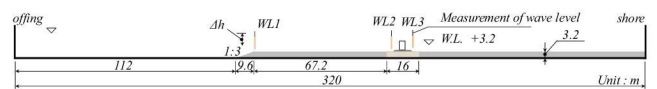
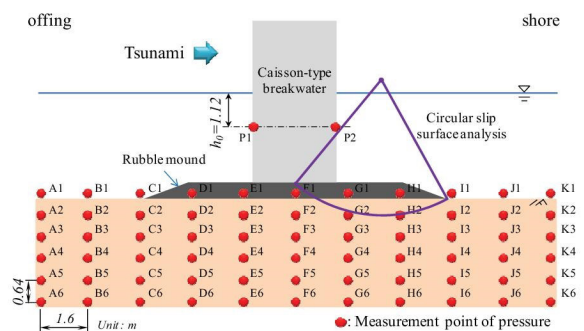


図-1 東日本大震災における八戸港八太郎北防波堤の想定被災メカニズム<sup>1)</sup>



(a)



(b)

図-2 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

察するため、余裕度を定義して考察する。ここで、余裕度とは滑動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。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。支持力強度に関しては、た検討と津波来襲時に発生した過剰間隙水圧の上昇を考慮して初期応力より差し引いた応力を用いた検討を

キーワード 津波, 越流, 混成堤, 支持力破壊, 浸透破壊

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町16号館227号室 TEL 052-735-5497

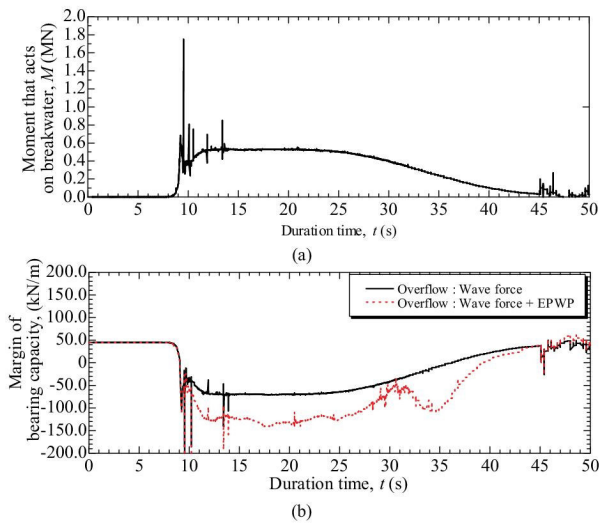


図-3 支持力破壊に対する安定性の検討；(a)津波圧による単位奥行き当りのモーメント，(b)防波堤の支持力に対する余裕度の経時変化

行った。通常，支持力検討で用いられる津波力のみで検討した場合，津波外力に従って余裕度も変動する（図-4 (b)；黒実線）。しかし，越流により生じたケーソン背後地盤における過剰間隙水圧の発生による強度低下を考慮した場合，支持力破壊に対する危険性が一段と高くなる。その現象は，越流は発生する間（約 11 秒～32 秒），越流発生後のケーソン背後の水位変動が生ずる間（約 32 秒～40 秒）に大きく影響を及ぼす。

### 3.2 浸透破壊に対する検討

次に，地盤内の浸透現象を検討するため，鉛直上向きおよび水平方向の動水勾配を算出した（図-4）。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。防波堤下から後方の支持地盤で，越流による水塊が作用する時刻（約 11～12 秒）以前の約 9 秒程度より F2-G2 間の水平動水勾配が上昇し，防波堤背後へと支持地盤内に浸透が発生することがわかる。同時刻の約 9 秒～10 秒前後にかけて鉛直上向きの動水勾配も上昇し，越流水塊により地盤が強度低下する以前に浸透破壊する可能性がある。

### 3.3 支持力余裕度と水平動水勾配のクロスプロット

次に，これまで検討してきた支持力に対する余裕度と防波堤下部から背後にかけて作用する水平方向の動水勾配をクロスプロットする（図-5）。この結果から，越流が発生するような比較的大きな津波外力が作用する際，越流と同時にケーソン下の支持地盤内では透水

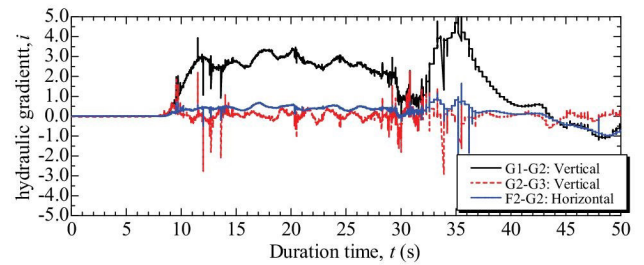


図-4 防波堤背後地盤の鉛直・水平方向の動水勾配変化 (G1-G2 間・G2-G3 間：垂直方向，F2-G2 間：水平方向)

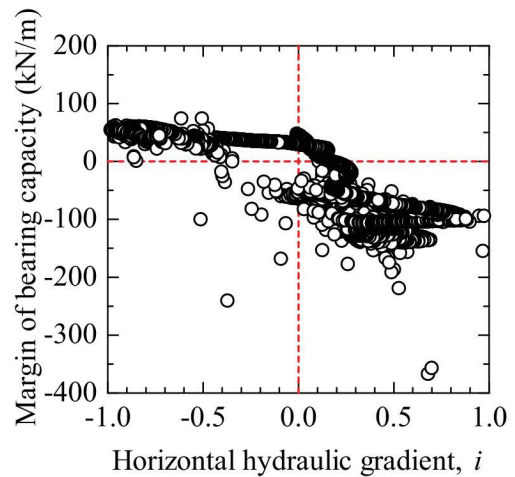


図-5 支持力に対する余裕度と水平方向（F2-G2 間）の動水勾配変化のクロスプロット

力の影響も大きくなる。すなわち，越流による背後地盤の洗掘対策のみではなく，ケーソン下の支持地盤内の浸透破壊に対する対策も十分検討する余地があると言える。

## 4. 結言

越流による混成堤の破壊要因として，越流時に背後地盤内に過剰間隙水圧が発生し，支持地盤の強度低下を招いて支持力破壊に至ると考える。しかしながら，越流が発生する際，越流と同時にケーソン下の支持地盤内では透水力により浸透破壊に至ると考えられる。よって，越流による背後地盤の洗掘対策に加え，ケーソン下部の浸透破壊対策も十分検討する必要がある。

**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 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，謝意を表します。

**参考文献：**1) 第 3 回東北港湾における津波・震災対策技術検討委員会：資料-3. 2) 例えば，今瀬達也 他 (2012)：土木学会論文集 B2, Vol.68, No.2, pp.866-870.