

## 防潮堤の基礎地盤のボイリングに関する FEM 解析検証 (2)

(株)大林組                      フェロー    〇杉江 茂彦    正会員    中道 洋平  
 同上                              正会員    鈴木 和明

## 1. はじめに

津波や高潮・高波によって海面が大きく上昇すると、防潮堤の基礎地盤内の海水の流れが増すため、ボイリングに対する照査が必要となる。港湾の防潮堤の耐津波設計ガイドライン<sup>1)</sup>では、水理模型実験や数値解析を最大限に活用した防潮堤の基礎地盤のボイリングに対する安全性の確認が求められている。

本研究では飽和・不飽和浸透流 FEM 解析を用いて津波到来時の防潮堤の基礎地盤の液状化やボイリングの発生状況を検証したものであり、前報<sup>2)</sup>では比較的早期に生じる堤外側の止水工近傍の不安定化について述べた。本報ではこれに続き生じる堤内側の止水工近傍の不安定化について報告する。

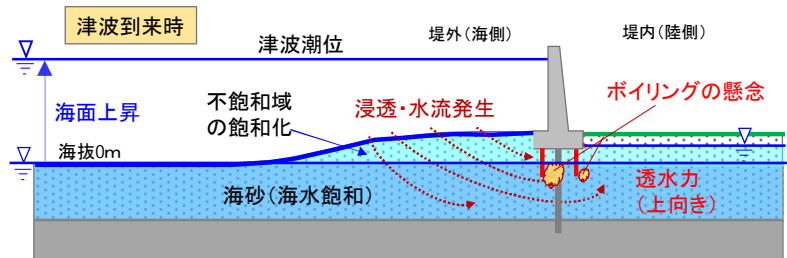


図-1 津波到来で生じる防潮堤周辺の浸透流

## 2. 津波到来を模擬した浸透流 FEM 解析の概要

津波到来で生じる防潮堤周辺の浸透流の概要を図-1に示す。平時の海浜は海抜0m付近の潮位を境に上方の不飽和域と下方の飽和域から成っている。津波到来時には海面上昇により堤外側の海浜には海水が流入し、不飽和域の飽和化が進むとともに堤内側に向けた浸透流の勢いが増すことになる。

防潮堤の止水工の根入れ先端付近では上向きの浸透流が生じ易く、この流れが限界動水勾配  $I_c$  (砂の水中単位体積重量  $\gamma'$  と水の単位体積重量  $\gamma_w$  の比) を越えると、基礎地盤の部分的な液状化やさらにはボイリングと言った不安定化につながる可能性がある。これらの過程を飽和・不飽和浸透流 FEM 解析ソフト UNSAF<sup>(例えば3)</sup>による非定常解析で検証した。

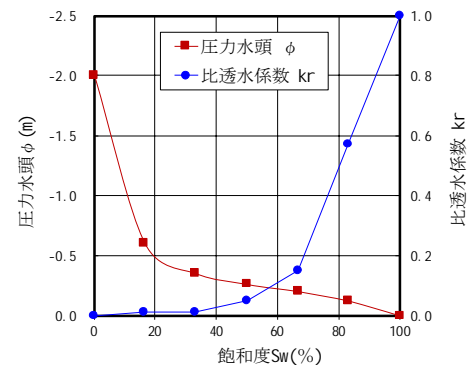


図-3 不飽和域の水分特性曲線と比透水係数

## (1) 津波潮位および不飽和域の浸透特性の与条件

解析モデルを図-2に示す。津波の海面水位を海抜20mと想定し、堤外側の海浜の地表に該当する節点に海面上昇の全水頭値を与えて津波による海水の流入作用を模擬した。不飽和から飽和への状態変化を経験する海抜0mより上方の領域の海浜に用いた水分特性曲線と比透水係数を図-3<sup>4)</sup>に示す。

## (2) 防潮堤の基礎地盤の液状化・ボイリングの判定

動水勾配の鉛直上向き成分  $I_v$  が限界動水勾配  $I_c$  を越える領域の発生は地盤の液状化の端緒となるが、これが直ちに液状化の発生判定とはならない。物体力として働く  $I_v$  により地盤の静水中での水中単位体積重

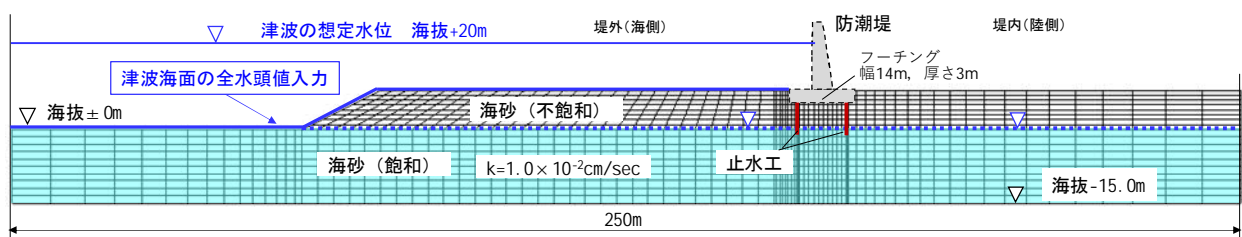


図-2 津波到来を模擬した防潮堤周辺の海浜の浸透流解析モデル

キーワード 防潮堤, 津波, ボイリング, 有限要素法

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4丁目640 (株)大林組 技術研究所 TEL 042-495-1097

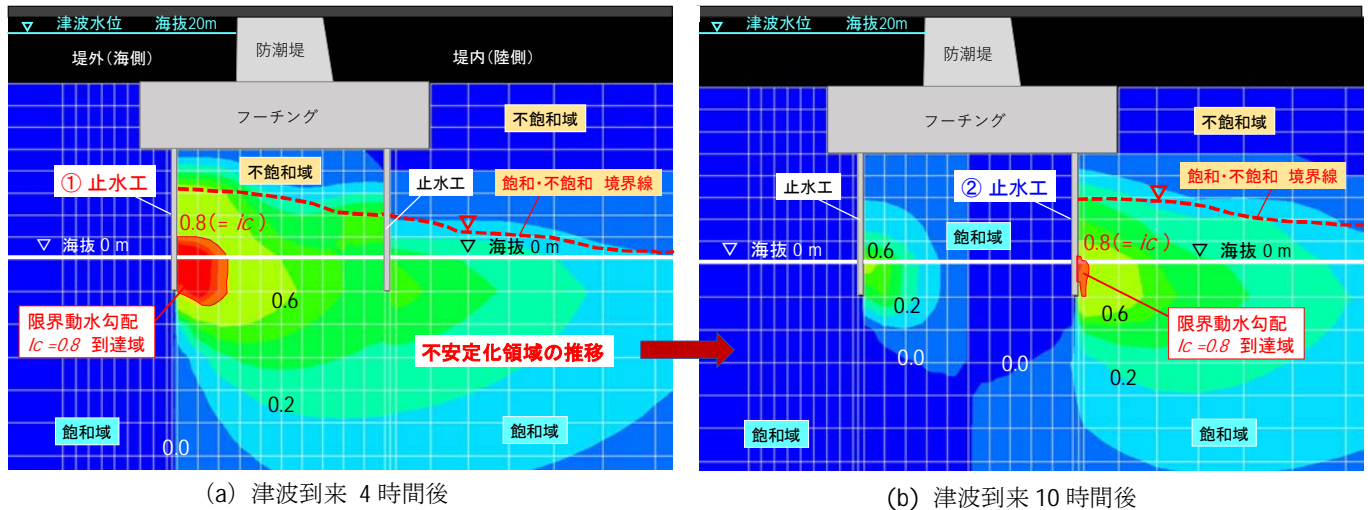


図-4 防潮堤周辺の鉛直上向き動水勾配のカウンター

量  $\gamma'$  ( $8\text{kN/m}^3$  設定) を低減させて有効土被り圧を算定し、同値が消失する領域を液状化域と判定する。続いて、筆者らの研究<sup>5)</sup>にもとづき、液状化領域が上方に拡大し、地表に達した場合をボイリングと判定することとした。

### 3. 防潮堤の基礎地盤の液状化・ボイリングの検証結果

堤外側の止水工近傍では津波到来の4時間後の計算STEPで、堤内側の止水工近傍では同10時間後の計算STEPで鉛直上向きの動水勾配  $lv$  が最大値となった。これらの時点での動水勾配のカウンターを図-4に示す。同図(a)では堤外側の止水工の先端付近で限界動水勾配  $lc$  を超える領域(朱色塗)が大きく生じている。この時点では堤内側の止水工近傍の動水勾配は大きな値にはなっていない。それから6時間経過後の同図(b)では、堤外側の動水勾配は大きく低減しているものの、堤内側の止水工の先端付近では限界動水勾配を超える領域が狭くはあるが生じている。この間、フーチングの基礎部と堤内側の海浜の飽和域が広がり、防潮堤周辺の全水頭の均衡化の進展とともに浸透流の勢いが減じていく状況が把握された。

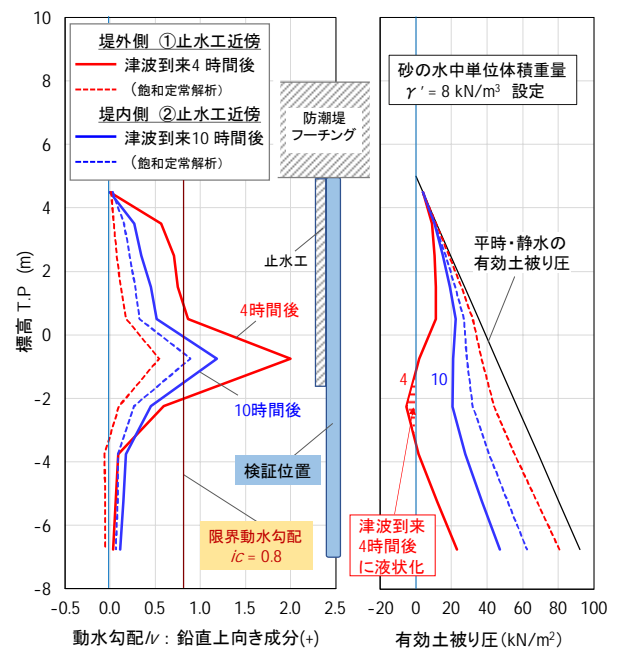


図-5 止水工近傍の地盤の動水勾配と有効土被り圧

堤外側と堤内側の止水工の近傍の地盤要素について、図-4と同様の計算STEPで動水勾配を抽出し有効土被り圧を算定した結果を図-5に示す。堤外側の止水工近傍の有効土被り圧は津波到来の4時間後に最小となり、有効応力を消失する液状化の領域が生じているが、その後の液状化領域の拡大はなくボイリングが想起される状態には至らなかった。堤内側の止水工近傍では動水勾配が高まりを示した津波到来10時間後においても有効応力を消失する領域は生じていない。同図には飽和定常解析による計算値を破線で加えているが、同計算値は不飽和から飽和に移行する過程での浸透特性の変化を考慮した非定常解析に比べて危険側の値が得られた。

### おわりに

飽和・不飽和浸透流 FEM により津波到来時の防潮堤の基礎地盤の浸透流を検証し、想定される津波潮位の持続時間での動水勾配・有効土被り圧の変化に留意したボイリングの照査が肝要であることを確認した。

#### 参考文献

- 1)国土交通省港湾局：港湾における防潮堤の耐津波設計ガイドライン, 2013
- 2)杉江茂彦・中道洋平・鈴木和明：防潮堤基礎地盤のボイリングに関する FEM 解析検証, 土木学会年次講演会, 2021
- 3)西垣誠・竹下佑二：有限要素法による飽和-不飽和浸透流解析手法 (PC-UNSAF 利用手引き), 1987
- 4)大西有三・西垣誠：土中水の飽和流動, 3. 不飽和流の解析(解析例), pp. 37~45, 土と基礎, 1981. 8月号
- 5)杉江茂彦・中道洋平・鈴木和明：FEM 浸透流解析による砂地盤のボイリングの検討, 土木学会年次講演会, 2019