

防潮堤の基礎地盤のボイリングに関する FEM 解析検証

(株) 大林組
同上フェロー ○杉江 茂彦 正会員 中道 洋平
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変動すると、防潮堤の基礎地盤を流れる水の勢いが増すため、ボイリングに対する照査が必要となる。しかしながら、この条件下で生じるボイリングの定量的な照査方法はなく、港湾の防潮堤の耐津波設計ガイドライン¹⁾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や構造全体の安全性の確認を求めている。

そこで本研究では津波到来時の潮位の上昇にともなう防潮堤の基礎地盤の水の流れを飽和・不飽和浸透流 FEM 解析で計算し、ボイリングに対する安全性の変化状況を動水勾配にもとづき検証したので報告する。

2. 津波到来を想定した浸透流解析の概要

津波到来前後の地盤内の浸透流の概要を図-1に示す。平時の地盤は海拔 0m 付近で変動する潮位を境とした飽和と不飽和の領域から成っている。津波到来時には海面上昇により海浜の地盤内を堤外から堤内に向う水が流れる。堤外の高浜は海水の流入により飽和域が拡大し、次第に水の流れは増すことになる。

防潮堤の止水工の根入れ先端付近では上向きの水の流れが生じ易く、限界動水勾配 ic (砂の水中単位体積重量 γ' と水の単位体積重量 γ_w の比) を越える領域が上方に成長していくと、基礎地盤に液状化、さらにはボイリングが生じて防潮堤の不安定化を招くことになる。これらの過程における海浜地盤の浸透流を飽和・不飽和浸透流 FEM 解析ソフト UNSAF^{例え2)}で算定した。

(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 T.P.+20m と想

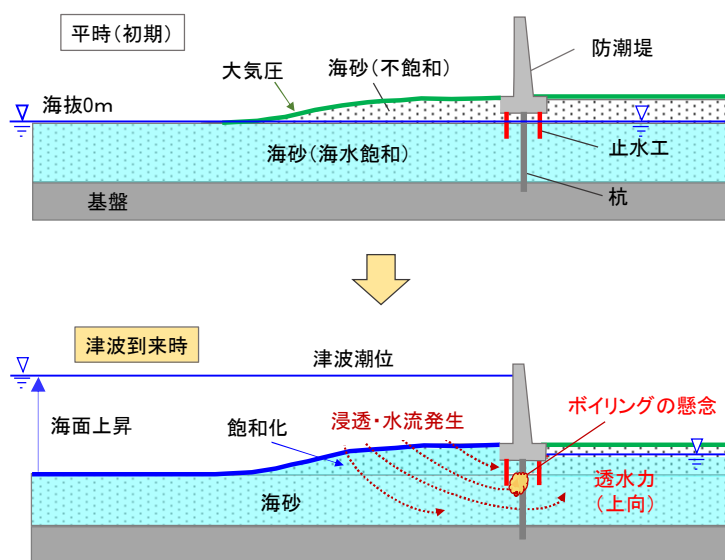


図-1 津波到来による防潮堤周辺地盤の浸透流の概要

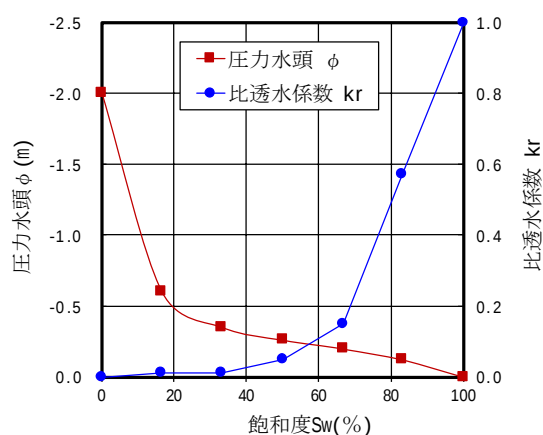


図-3 不飽和域の水分特性曲線と比透水係数

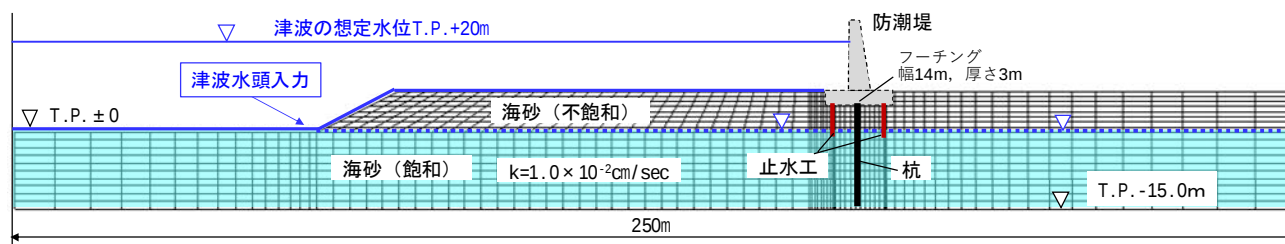


図-2 防潮堤周辺の浸透流解析モデル

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

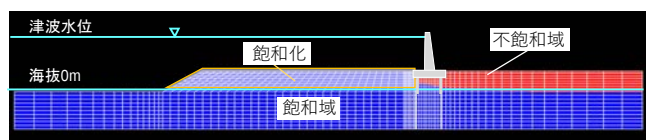


図-4 海浜の飽和・不飽和域の分布：津波到来 4 時間後

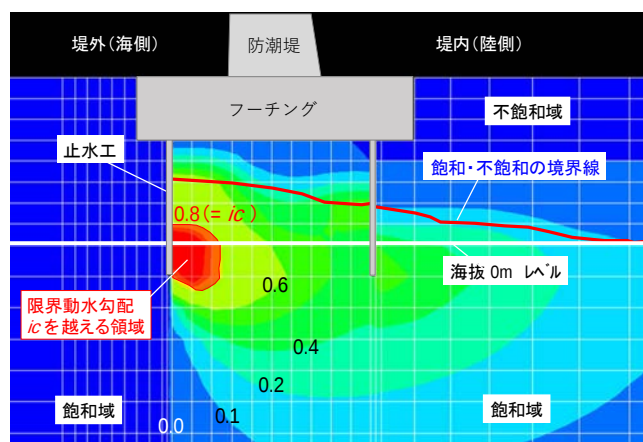
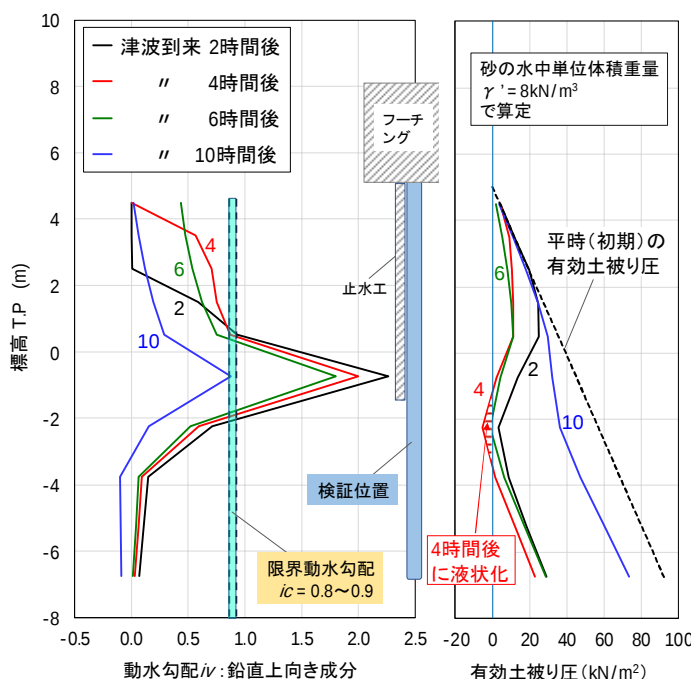
図-5 防潮堤周辺の動水勾配 iv ：津波到来 4 時間後

図-6 堤外側の止水工近傍の地盤の動水勾配と有効土被り圧

定し、堤外地表の該当節点に海面上昇の全水頭値を与えて津波の作用を模擬した。不飽和域の砂に用いた水分特性曲線と透水係数の低下率 kr を図-3³⁾に示す。

(2) 防潮堤の基礎地盤の液状化・ボイリングの判定

地盤の動水勾配の鉛直上向き成分 iv が限界動水勾配 ic を越える領域の発生はボイリングの端緒となるので留意する必要がある。次に物体力として作用する iv による γ' の低減を考慮して有効土被り圧を算定し、同値が消失する液状化の領域の有無を確認する。続いて、筆者らの研究⁴⁾にもとづき、液状化領域が上方に進行拡大し、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

津波到来の4時間後における盛土・海浜地盤の飽和・不飽和域の分布を図-4に示す。同時点での防潮堤周辺の動水勾配 iv (鉛直上向きを+) のコンターを図-5に示す。堤外(海側)では不飽和域であった領域がすべて飽和化している。フーチングの基礎部や堤内(陸側)では水位が最大で3m程度上昇しており、ここでも飽和化が進んでいる。動水勾配 iv は堤外側の止水工の内側で大きな値を示しており、止水工の先端付近では限界動水勾配 ($ic=0.8\sim0.9$) を超える領域(朱色塗)が生じている。同様位置の止水工に接した地盤要素群について、動水勾配 iv を抽出し、有効土被り圧を算定した結果を図-6に示す。動水勾配は2時間後には最大値をとりその後は減少している。一方、有効土被り圧は4時間後に最小となり、有効応力を消失(液状化)する領域が生じている。その後に液状化領域の拡大はなくボイリング(浸透破壊)が想起される状態には至っていない。動水勾配が最大値をとる時間帯とボイリングの引き金となる液状化が生じ始める時間帯には差異があり、津波の潮位についての想定される持続時間も考慮に入れた防潮堤の基礎地盤の安全評価が必要と考える。

おわりに

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浸透流を経時的に検証し、同解析法で得られる動水勾配の援用による液状化やボイリングの照査が可能であることを確認した。今後は津波の到来前に生じる地震による液状化の影響を初期条件に加えた解析検証を行う必要があると考える。

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) 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
- 3) 大西有三・西垣誠：土中水の不飽和流動、3. 不飽和流の解析(解析例), pp.37~45, 土と基礎, 1981. 8
- 4) 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