

波浪場における斜板形状を有する有脚式構造物と支持地盤への外力特性に関する数値解析

豊橋技術科学大学 学生会員 ○澤田弥生, 安東一輝
豊橋技術科学大学 正会員 松田達也, 三浦均也

1.はじめに

海岸侵食対策の一つである有脚式離岸堤について、静岡県駿河海岸に建設された有脚式離岸堤が平成25年の台風接近時に上部工のコンクリート方塊が杭基礎から落下するという被災が生じた。現在の設計では構造物への波浪による水圧が主とされており、水圧変動による構造物と支持地盤への相互間の影響が検討されていない。

そこで本研究では、構造物－波浪－地盤から成る複合的な力学システムを適切に評価することを念頭に、構造物の安定性に及ぼす影響を作用外力特性と支持地盤の不安定化の両要因から検討する。本稿では斜板形状を有する有脚式構造物を対象に、構造物・支持地盤への波浪外力特性の把握を試みた。

2.対象構造物と解析条件

対象とする構造物は、コンクリート方塊の上部工(全長10.00m,厚さ1.00m)の板版。構造物中心 $(x_s, z_s) = (0, 0)$ を軸に 15° ずつ $\pm 90^\circ$ (回転角 θ)まで回転させる。)と杭基礎から成る有脚式斜板構造物全12ケース。一部を図1に示す。杭基礎は砂質地盤に施工されていると仮定した。また、構造物を設定しないモデルをCase0とした。

構造物に作用する外力特性はCADMAS-SURF2D¹⁾を用いて解析を行った。解析領域は水平方向に全長500m,鉛直方向に全長25mとし、海底面勾配は、駿河海岸の状況を参考に、水深を7.000mのフラットとした。上部工は不透水格子とし、設置位置が躯体断面中央($x=105$ m)となるように統一的に設定し、杭基礎は透水性が無限の構造体とした。外力条件は、駿河湾沖合における高波浪時の沖合計測結果を参考に、波高 $H=6.0$ m, 周期 $T=16$ sの規則波を造波境界より与えた。計算格子は推奨サイズを参考に決定した²⁾。

3.検討概要

各データは構造物に作用する3波分をフーリエ変換より平均化を行い、波1周期分を位相角 ϕ で示している。

波浪外力が作用する構造物と地盤について次の項目について検討した。構造物中心を $(x_s, z_s) = (0, 0)$ とし、上部工に作用する外力(水平力, 鉛直力, モーメント)とそれに伴う地盤表層の杭基礎(以下、杭頭。)に作用する外力(水平力, 鉛直力 R , モーメント)を算出した。また、構造物近傍の底質に作用する水圧と流速から流動深さ d_f (液状化深さ; d_l に地盤表層に作用する水平流速による

侵食を考慮した地盤表層からの深さ)と底質地盤変化量; q を算出した。また、 q から1周期分の底質地盤移動量; q_c を算出した³⁾。

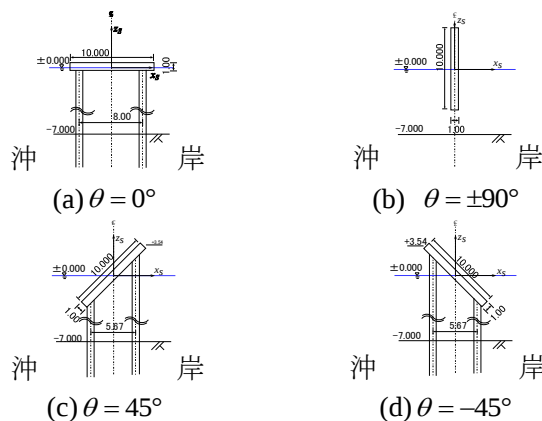


図1 構造形状 (表示数値の単位:m)

4.解析結果と考察

図2に、杭頭へ作用する鉛直力 R を示す。ここで R は、プラスが引き抜き、マイナスが押し込み力を示している。

沖側杭において、 $\theta=0, 15^\circ$ では構造物に波が作用する $\phi=15^\circ$ で押し込み力が生じており、越波する $\phi=-15^\circ$ で引抜き力が生じていることがわかった。そのほかのケースでは傾斜角が大きくなるにつれて引抜き力が減少していき、 $\theta=45^\circ$ を境に押し込み力のみが作用している。

岸側杭では、構造物に波が作用する $\phi=15 \sim -15^\circ$ で $\theta=0, 15^\circ$ は沖側杭と同じタイミングで同方向に同程度の力が作用している。しかし、そのほかのケースでは反対(引抜き)方向にのみ作用しており、傾斜角が大きくなるにつれ増大し、その大きさは傾斜角が小さいほど沖側杭に比べて大きな力が作用していることがわかった。この杭頭に作用する外力の不均一性より、構造物全体にひずみが生じる可能性が考えられる。

$\theta=0, -90^\circ$ の杭頭に作用する外力でも上記と似た挙動が見られた。しかし、波に対して抵抗する形状であるため図2に比べて波が作用した瞬間に最大に達するような尖った波形となった。杭頭に作用する力は、力の向きと構

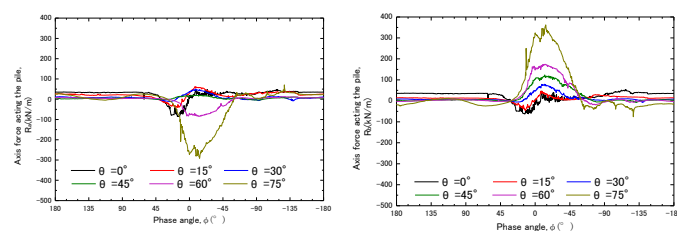


図2 杭頭に作用する鉛直力 R (左:沖側, 右:岸側)

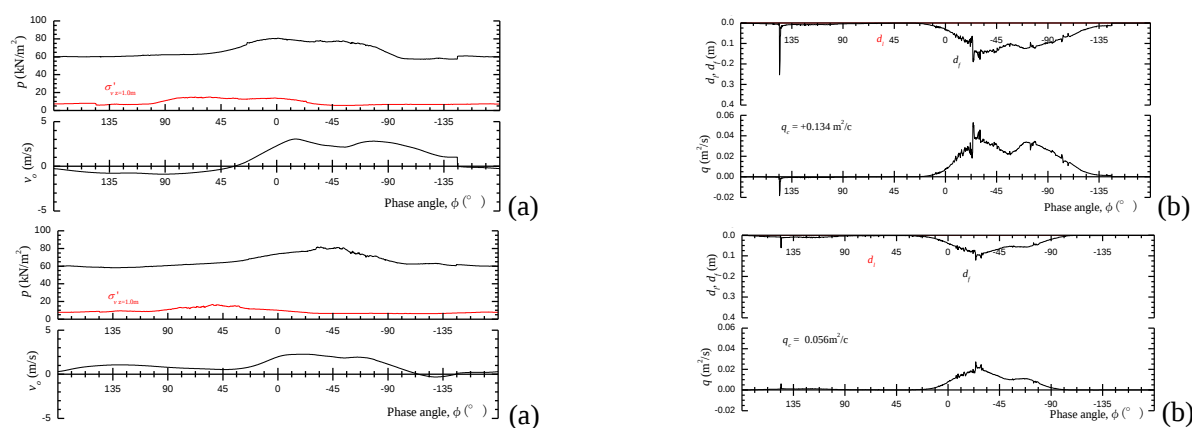


図3 地盤内の有効応力状態;(a)と流動深さと底質地盤変化量の関係;(b)(沖側杭周辺;上, 岸側杭周辺;下)

造形状による関係は上記の通りであるが、沖側杭と岸側杭に作用する最大値が対照的となることがわかった。

図3に、底質に作用する水圧と水平流速とその作用による深さ1m地点の有効応力の関係、流動深さと底質変化量の関係を示す。図は $\theta=45^\circ$ の杭基礎周辺のものであり、他ケースは紙面の関係上割愛した。

両杭周辺とも有効応力がゼロになるタイミングは無く、高い水平流速が作用する $\phi=-15^\circ$ 以降で流動深さが増加し底質が移動することがわかった。図2の結果より、この時に岸側杭には最大引抜き力が作用していることから、杭基礎の引抜き耐力が減少することで杭が変形もしくは移動する可能性がある。また、 $\theta=15^\circ$ について、両杭に引き抜き力が作用する $\phi=-15^\circ$ に底質には波の進行方向に最大水平流速を受け、流動深さ d_f が増加していることを確認した。これにより両杭基礎の引き抜き耐力が減少するため、揚圧力に対して抵抗量が低下する可能性がある。

$\theta=45^\circ$ の底質変化量より、構造物前面で洗掘が生じ構造物中心あたりに土砂が堆積していることがわかる。沖側では構造物の下を通過する波の流速が卓越し、洗掘が生じる。岸側では、構造物下を通過する波と越波した波が干渉することで流速の大きさと作用時間が減少し、沖側に比べて底質地盤変化量が減少したことによって構造物下に堆積したと考えられる。

5. あとがき

本稿では斜板形状を有する有脚式構造物を対象に、構造物に作用する波浪外力及び波浪による底質状態の影響から構造物全体の不安定化の検討を行い、以下のような知見を得た。

- 杭基礎の軸方向に作用する外力により、斜板構造の傾斜角によって押込み力と引抜き力が交互に生じる交番荷重が両杭に同時・方向・荷重が作用する場合と両杭で同時に異方向にどちらかの力が卓越

もしくは同等な荷重が作用することがわかった。特に、卓越して作用する場合は構造物全体にひずみが生じる可能性がある。

- 杭基礎に軸方向の最大外力が作用する時、水平方向の流速も卓越しており底質地盤の流動性が上昇している。これにより杭基礎の引張耐力が減少することで、両杭に同時・方向・荷重が作用する場合には揚圧力に対して抵抗力が低減し、両杭で同時に異方向にどちらかの力が卓越している場合には構造物全体にひずみを促進する可能性がある。
- 構造物周辺の地盤では、構造物下を通過する進行波によって沖側は洗掘される。しかし、岸側では構造物下を通過した波と構造物を越波した波により進行向きの流速が低減することで構造物下に堆積することがわかった。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金研究活動スタート支援 26889035, 基礎研究(C)17K06553の助成を受けています。ここに記し感謝の意を表す。

参考文献

- 財団法人沿岸開発技術研究センター: 沿岸技術ライブラリー, No.12, 2001.
- 松田達也, 他: 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.73, No.2, pp.I_78-I_83, 2017.
- 吉野貴仁, 他: 平成29年度土木学会中部支部研究発表会, 2017(投稿中).