

有脚式離岸堤の杭基礎回りの局所洗掘現象への感度分析に関する一考察

名古屋大学工学部 学生会員 ○内藤龍之介
 名古屋大学大学院 正会員 中村友昭, 趙容桓
 名古屋大学大学院 フェロー 水谷法美
 東洋建設鳴尾研究所 正会員 山野貴司

1. はじめに： 海岸構造物の杭基礎の周辺で局所洗掘が発生すると、構造物の安定性が大きく損なわれる可能性がある。したがって、杭の周りに発生する局所洗掘の形状や深さ、発達の様子などを予測して対策を講じる必要がある。杭式の構造物である有脚式離岸堤の杭周りの地形変化について、山野ら（2013）は駿河湾に設置された有脚式離岸堤を対象に現地再現実験を行い洗掘防止工の有効性を検証している。また、山野ら（2018）は有脚式離岸堤のスリットの諸元が局所洗掘特性に与える影響を検討するため水理模型実験と数値解析を行っている。しかし、多様な条件に対する検討は水理模型実験では現実的ではないことから、数値解析による検討が不可欠と考えられるものの、パラメータの設定に不明な点を多く残している。本研究では、3本の杭が設置された状況を対象に局所洗掘の経時変化の計測を行った山野ら（2016）の水理模型実験に3次元流体・構造・地形変化・地盤連成数値計算モデルFS3M（中村ら，2019）を適用し、浮遊砂のパラメータを変化させた場合における杭周りにおける最大洗掘深の時間変化や地形変化について検討を行う。

2. 計算条件： 山野ら（2016）の実験では3本の杭まわりの地形変化を計測対象としていたが、本研究では計算負荷の低減のため端部の杭と中央の杭の半分のみを計算対象とした。図-1、図-2に計算領域の概略図と座標軸の定義を示す。同図に示すように、沖側には1/70勾配を有し、岸側は水平とした中央粒径 $d_{50}=0.19\text{ mm}$ 、空隙率0.4の移動床を設定した。移動床の沖側端から1.4 mの勾配変化点に杭径43 mm、高さ800 mmの杭構造物を図-1、図-2に示した位置に配置した。そして、杭の位置で波高0.15 mとなる周期2.19 sの規則波を50波作用させた。このとき、砂地盤表面近傍のz軸方向の格子幅 Δz_{surf} を10, 5.0, 2.5, 1.25 mmの4種類、摩擦速度の計算に用いる接線方向流速の地盤表面からの高さ z_{vel} を一つの Δz_{surf} に対して1.5~6倍までの範囲で3通りずつ、底質の巻き上げに関する無次元パラメータ C_p を定常流に対する0.00033の1, 5, 10, 50, 100倍の5種類変化させた。なお、移動床の岸側には、消波のため $x=1.6\text{ m}$ を法先とする1/20勾配の透過性構造物（中央粒径50 mm、空隙率0.5）と、水の増減を抑制するため $x=10.0\text{ m}$ より岸側には計算領域の底面（ $z=-0.2\text{ m}$ ）から高さ0.6 mの鉛直壁を設置した。

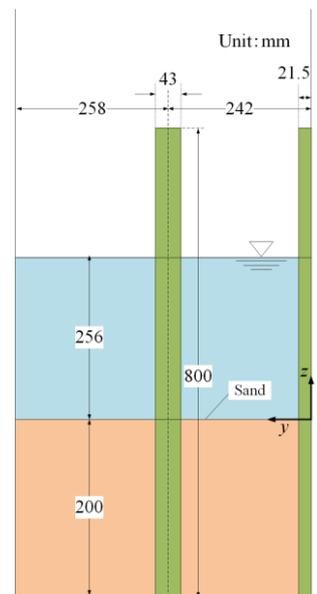


図-1 杭まわりの概略図

3. 結果と考察： まず、 $y=0.242\text{ m}$ に配置した杭から0.121 mの範囲における局所洗掘の最も深い位置のz座標値を最大洗掘深としたとき、最大洗掘深の時間変化についてSumerら(1993)の経験式と比較するとともに各パラメータが与える影響について考察する。図-3に、 $\Delta z_{surf}=5.0\text{ mm}$ 、 $z_{vel}=3\Delta z_{surf}$ (15 mm)における、 C_p を定常流に対する0.00033の1~100倍の5種類に変化させたときの結果を示す。同図にはSumerら(1993)の経験式から求めた時間変化も示した。

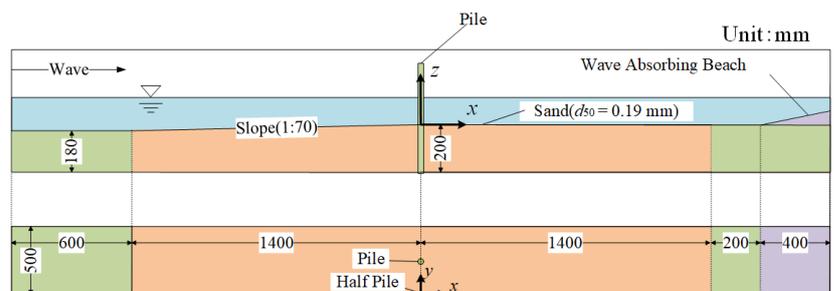


図-2 移動床まわりの計算領域の概略図

同図より、 C_p が増加するにつれて最大洗掘深も増加していることが確認できる。ただし、 C_p の倍率と最大洗掘深の増加割合は一定ではない。また、経験式では洗掘開始から 20.0 s ほどで平衡洗掘深に到達するが、 C_p が 50 倍と 100 倍においては最大洗掘深が増加した後に 60.0 s ほどで低下が小さくなっているものの、 C_p が 1 ~ 10 倍のときは低下が続いており平衡洗掘深に達したとは言えない。

次に、 $C_p=0.03300$ 、 $z_{vel}=3\Delta z_{surf}$ (15 mm) において、 Δz_{surf} を 2.5, 5.0, 10 mm の 3 通りに変化させたときの比較を図-4 に示す。また、 $C_p=0.03300$ 、 $\Delta z_{surf}=5$ mm において、 z_{vel} を 7.5, 10, 15, 20 mm の 4 通り変化させたときの比較を図-5 に示す。図-4 より、 Δz_{surf} のみを変化させたとき、40.0 s 頃までは最大洗掘深の時間変化に与える影響は小さいものの、その後は Δz_{surf} により若干変化していることが分かる。図-5 より、 z_{vel} のみを変化させたとき、 z_{vel} が大きくなると最大洗掘深も大きくなる傾向があることが分かる。

次に、 $C_p=0.03300$ 、 $\Delta z_{surf}=5$ mm における 50 波造波後の杭周辺の地形変化を図-6 に示す。同図から、杭の側面から沖側へかけての局所な洗掘と杭の岸側への堆積が確認できる。これは、杭の沖側に馬蹄形渦が、岸側に後流渦が形成されたことによると考えられる。また、 z_{vel} の異なる 4 通りを比較すると、 z_{vel} が大きくなると、図-5 に示したように洗掘が深くなっているものの、

深く掘れる洗掘の範囲は杭周辺にとどまることが確認できる。

4. おわりに：本研究では移動床上の杭構造物を対象に、漂砂のパラメータを変化させた場合の地形変化について考察した。その結果、底質の巻き上げ係数と接線方向流速の地盤表面からの高さが洗掘の発達に深く関わることを示した。今後は、洗掘範囲や洗掘量の比較や杭ごとの洗掘特性の検討も行っていく所存である。

参考文献：[1] 山野ら(2013), 土論 B2, Vol. 69, No. 2, pp. I_591-I_595. [2] 山野ら(2018), 土論 B2, Vol. 74, No. 2, pp. I_835-I_840. [3] 山野ら(2016), 土木学会第 71 回年次学術講演会, CS7-011, pp. 21-22 [4] 中村ら(2019), Vol. 75, No. 2, pp. I_229-I_234. [5] Sumer et al. (1993), J. Waterway, Port, Coastal Ocean Eng., Vol. 119, No. 5, pp. 477-495.

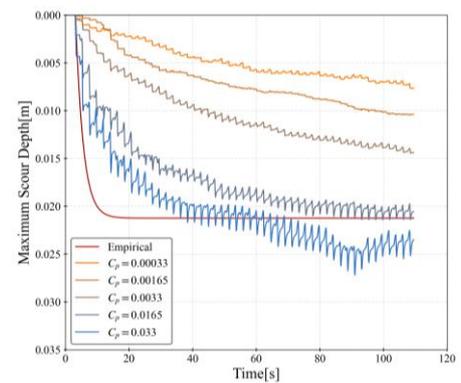


図-3 C_p 変化時の比較

($\Delta z_{surf}=5.0$ mm, $z_{vel}=3\Delta z_{surf}$ (15 mm))

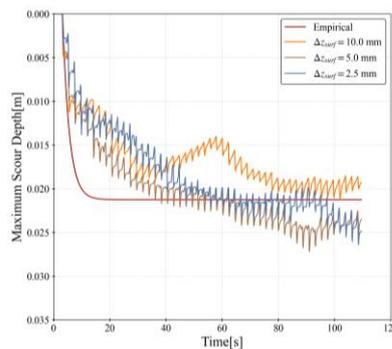


図-4 Δz_{surf} 変化時の比較

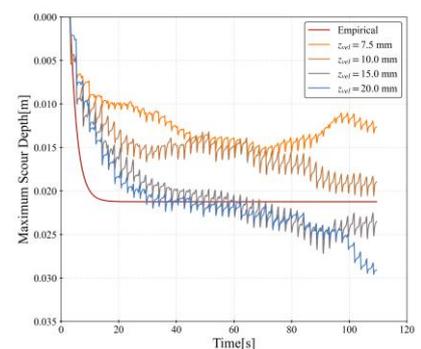
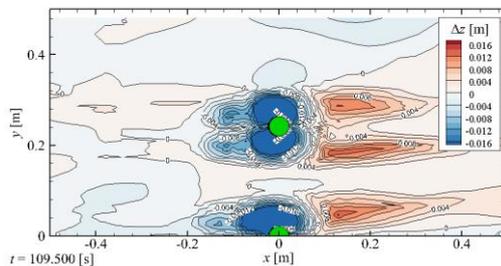


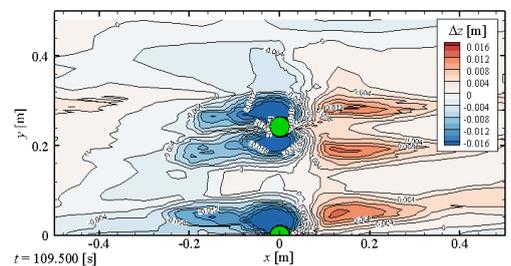
図-5 z_{vel} 変化時の比較

($C_p=0.03300$, $z_{vel}=3\Delta z_{surf}$ (15 mm))

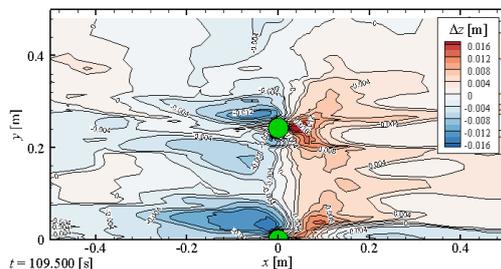
($C_p=0.03300$, $\Delta z_{surf}=5$ mm)



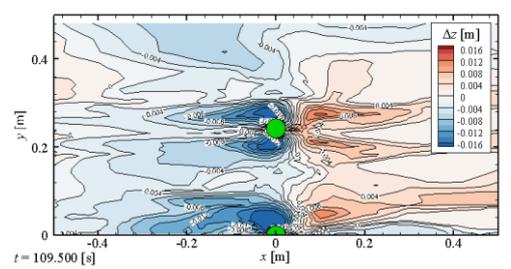
(a) $z_{vel}=20$ mm ($z_{vel}=4\Delta z_{surf}$)



(b) $z_{vel}=15$ mm ($z_{vel}=3\Delta z_{surf}$)



(c) $z_{vel}=10$ mm ($z_{vel}=2\Delta z_{surf}$)



(d) $z_{vel}=7.5$ mm ($z_{vel}=1.5\Delta z_{surf}$)

図-6 50 造波終了後の地形変化 ($C_p=0.03300$, $\Delta z_{surf}=5$ mm)