

杭式構造物の杭基礎周辺の洗掘面積に与える漂砂パラメータの影響に関する一考察

名古屋大学 学生会員 ○内藤龍之介 名古屋大学 正 会 員 中村友昭, 趙容桓
 名古屋大学 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：有脚式離岸堤のような杭式の離岸堤は、海底勾配や地盤条件によっては重力式より有利となるが、杭の周辺には局所洗掘が発生し、構造物の安定性に影響を及ぼす可能性がある。そのため、これまでに杭周辺の局所洗掘について水理実験や現地観測に加え数値解析による検討が行われてきた。中村ら[1]は数値計算モデル FS3M を用いて漂砂現象と関わりのあるパラメータが杭周辺の局所洗掘に与える影響を検討し、最終洗掘深に対しては底質の巻き上げ関数の係数の寄与が大きいことなどを明らかにしている。本稿では、FS3M で計算された杭周辺の洗掘面積に着目し、漂砂パラメータの影響を洗掘面積の観点から検討する。

2. 計算条件とパラメータの設定：中村ら[1]と同様に、山野ら[2]が行った水理実験を参考として、沿岸方向に3本の杭が並ぶ図-1 に示す状況を対象に数値計算モデル FS3M による解析を行った。ただし、計算負荷の軽減のために $y = 0 \text{ m}$ を対称面とした半断面のみを計算対象とした。図-1 に示すように、径 43 mm の杭を $x = 0 \text{ m}$, $y = 0$, 0.242 m の位置に設定し、杭の沖側には勾配 1/70 の移動床を、岸側には水平勾配の移動床を設定した。移動床を構成する砂粒子の中央粒径 d_{50} は 0.19 mm とした。また、反射波の低減のため、移動床の岸側には $x = 1.6 \text{ m}$ を法先、 $z = 0.4 \text{ m}$ を天端とする勾配 1/20 の透過性構造物（中央粒径 50 mm）と、 $x = 10.0 \text{ m}$ から岸側に $z = 0.4 \text{ m}$ を天端とする不透過鉛直壁を設定した。そして、杭の位置での静水深は 0.256 m とし、杭の位置での波高が 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、表-1 に示すように、漂砂に関わるパラメータのうち、地盤表面近傍の z 軸方向の格子幅 Δz_{surf} を 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 Δz_{surf} の 1.5 ~ 6 倍の範囲で 3 ~ 4 種類、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 ~ 100 倍の範囲で 5 種類変化させ、計 70 ケースの計算を行った。

3. 計算結果および考察：パラメータ Δz_{surf} , z_{vel} , C_p のうち 2 つを同条件としたとき、端部 ($y = 0.242 \text{ m}$) の杭周辺における洗掘面積の時間変化を図-2 に例示する。ここで、洗掘面積の x 軸方向の探索範囲は -500 ~ 500 mm, y 軸方向の探索範囲は 121 ~ 363 mm とした。また、微小な地形変化を洗掘面積から除外するため、初期地盤面からの洗掘深を z_s , 杭径を d としたとき、 $z_s / d \geq 0.05$

の計算格子の面積の和を洗掘面積とした。図-2(a)より、洗掘面積は C_p の増加とともに大きくなること分かる。これは、 C_p の増加に伴って底質の巻き上げ量が増加したためと考えられる。ただし、 C_p の倍率と洗掘面積の増加割合は一定ではない。図-2(b)より

表-1 パラメータの条件

Δz_{surf} [mm]	z_{vel} [mm]	$z_{vel} / \Delta z_{surf}$	C_p
1.25	2.5, 3.75, 7.5	2, 3, 6	0.00033
2.5	3.75, 5.0, 7.5, 15	1.5, 2, 3, 6	0.00165
5.0	7.5, 10, 15, 20	1.5, 2, 3, 4	0.00330
10.0	15, 20, 30	1.5, 2, 3	0.01650
			0.03300

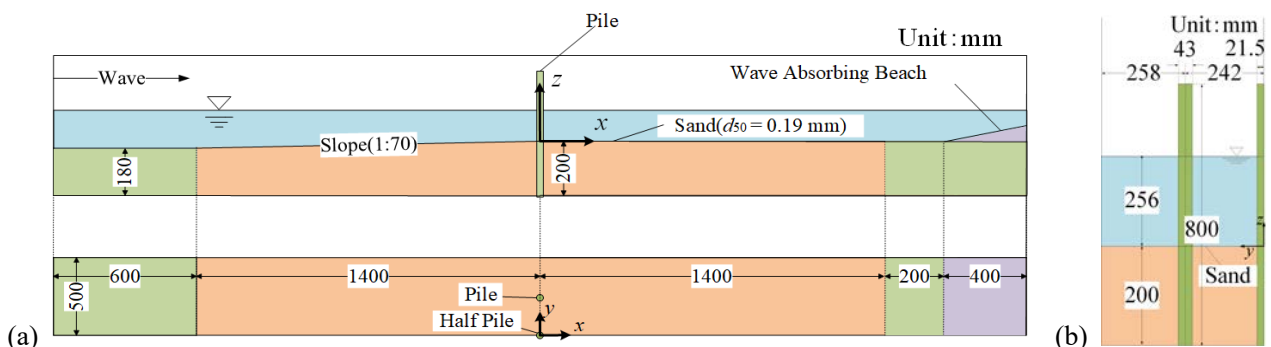


図-1 計算領域の概略図：(a)移動床の全体図，(b)杭の位置での断面図

キーワード 杭式構造物, 局所洗掘, 洗掘面積, 漂砂パラメータ, 数値解析

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 Tel: 052-789-4632

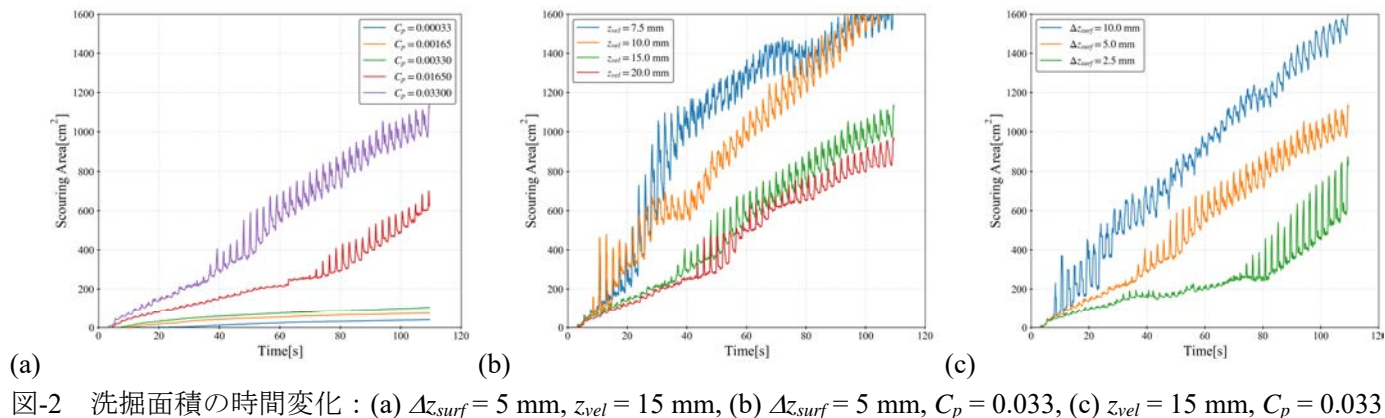


図-2 洗掘面積の時間変化：(a) $\Delta z_{surf} = 5$ mm, $z_{vel} = 15$ mm, (b) $\Delta z_{surf} = 5$ mm, $C_p = 0.033$, (c) $z_{vel} = 15$ mm, $C_p = 0.033$

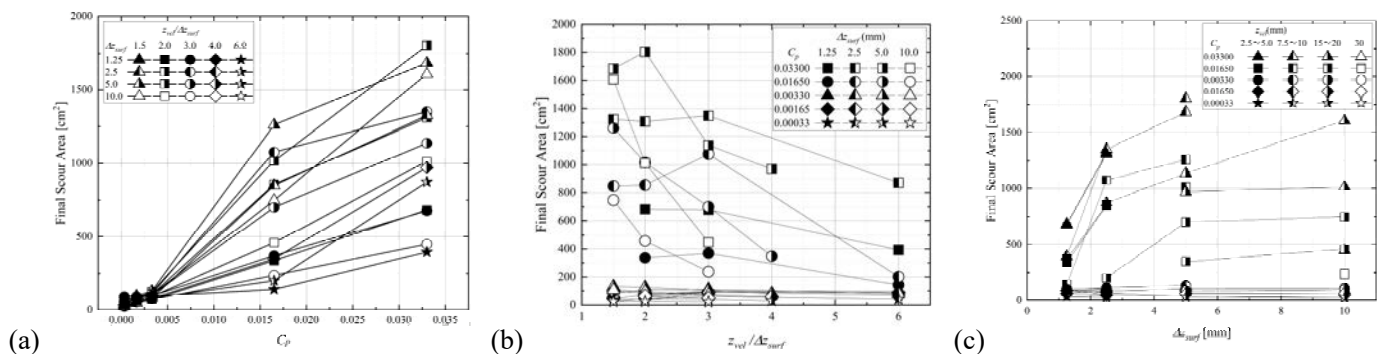


図-3 50 波造波後の最終洗掘面積：(a) C_p の影響, (b) $z_{vel} / \Delta z_{surf}$ の影響, (c) Δz_{surf} の影響

z_{vel} の増加とともに洗掘面積は減少する傾向があること、図-2(c)より Δz_{surf} の増加とともに洗掘面積も増加していることが分かる。また、図-2 に示すように、多くのケースで 50 波造波時点でも洗掘面積が増加していることが確認できる。図示しないが、洗掘面積の定義を $z_s / d \geq 0.01$ としたときには、洗掘面積の増加は途中から小さくなっていった。また、中村ら[1]は、最大洗掘深の増加は時間の経過とともに小さくなり、平衡状態に近づくことを確認している。そのため、図-2 は洗掘が横に広がり z_s / d が 0.05 以上となる範囲が増加し続けていることを表しており、50 波造波時点でも杭周辺の局所洗掘は平衡状態に達していないと考えられる。

計算終了時の洗掘面積を最終洗掘面積としたとき、端部の杭周辺での最終洗掘面積に与える C_p , $z_{vel} / \Delta z_{surf}$, Δz_{surf} の影響を図-3 に示す。図-3(a)より、図-2(a)に例示したケースに限らず、また z_{vel} や $z_{vel} / \Delta z_{surf}$ の値によらず、 C_p の増加とともに最終洗掘面積も増加する傾向があることが確認できる。計算終了時の最大洗掘深である最終洗掘深も C_p の増加とともに大きくなっていったことから[1]、 C_p を大きくすると最終洗掘深と最終洗掘面積がともに大きくなるのが分かる。図-3(b)より、最終洗掘面積が大きい条件では、 $z_{vel} / \Delta z_{surf}$ の増加とともに最終洗掘面積は減少する傾向が確認できる。最終洗掘深は $z_{vel} / \Delta z_{surf} = 3 \sim 4$ にかけて $z_{vel} / \Delta z_{surf}$ の増加とともに大きくなっていったことから[1]、 $z_{vel} / \Delta z_{surf}$ の増加は最終洗掘深と最終洗掘面積に異なる影響を与えると言える。また、最終洗掘深に与える Δz_{surf} の明確な影響は確認されていないものの[1]、図-3(c)に示すように、特に $\Delta z_{surf} = 5$ mm にかけて Δz_{surf} の増加とともに最終洗掘面積も増加する傾向が確認できる。

4. おわりに：本稿では、杭周辺に形成される局所洗掘の面積に着目し、漂砂現象と関わりのある3つのパラメータが洗掘面積に与える影響について検討した。本稿での検討結果と中村ら[1]の結果を踏まえると、流体解析の計算精度と計算負荷のバランスの観点からできる限り小さな格子幅 Δz_{surf} を設定し、最終洗掘深と最終洗掘面積をバランスよく再現できるように、最終洗掘深を増加させる効果と最終洗掘面積を減少させる効果をもつ $z_{vel} / \Delta z_{surf}$ を調整しつつ、最終洗掘深と最終洗掘面積をともに増加させる効果をもつ C_p を決定すればよいと考えられる。今後は水理実験結果との比較や他構造物への適用など、さらなる検討を行っていく所存である。

参考文献：[1] 中村ら (2022)：杭式構造物の杭基礎周辺の局所洗掘に与える漂砂パラメータの影響と機械学習による評価, 土論 B3 (海洋開発), Vol. 78, No. 2, 投稿中。[2] 山野ら (2016)：光ファイバを用いた杭構造物周辺の局所洗掘に対する経時変化計測, 土木学会第 71 回年次学術講演会, CS7-011, pp.21-22。