

規則波における円柱構造物周辺地盤の有効応力変動に着目した移動床実験

豊橋技術科学大学 学生会員 ○牧野 凌弥, 高柳 林太郎
豊橋技術科学大学 正会員 松田 達也, 三浦 均也

1. 研究背景と目的

海洋・海岸構造物のまわりに発生する洗掘現象は、構造物の安定性を検討するうえで非常に重要な問題である。しかしながら、この洗掘現象は回折波の影響で構造物周辺の波動場が複雑となるため十分理解されていない。特に沖合人工島や大型橋脚、近年開発が進む洋上風力発電のモノパイル基礎等の円柱構造物は、建設に伴う重要な検討課題となる¹⁾。

洗掘現象などにおける土砂移動は水工学的視点から地盤表層のせん断力(掃流力)と地盤工学の視点から海底面に作用する波力に伴う地盤内の有効応力変化が複合的に作用することで相乗効果を生み、土砂移動量が変動する事が考えられる。

本研究では Dean Number を適用し地盤材料を用いた造波水路実験²⁾において、密な地盤表層のせん断力と地盤内の水圧変動に起因した有効応力変化が及ぼす土砂移動を考慮した上での円柱構造物まわりの洗掘現象について検討することを目的とした。

2. 造波水路実験概要

2.1 実験装置および計測機器

本実験では、図-1 に示すように全長 25.0m の造波水路内に長さ 2.7m、幅 0.6m、高さ 0.2m の移動床区間を設け、長さ 5.0m、勾配 1/10 の不透水スロープを移動床より沖側に設置する。更に、半径 0.2m、高さ 1.0m の半円柱の中心を移動床沖側から 1.8m の位置に来るように水路壁面に設置した。円柱の底部は水路床に着け頭部を水面より突出させた着底頭出型である。その後、後述する地盤材料、方法で移動床を作製した。波高計と流速計を円柱周辺に設置し、地盤内に間隙水圧計を半円柱の沖側を 0° とした時、0° の位置に地盤深度 $z=0.0\text{m}$, 0.025m , 0.05m , 45° の位置に $z=0.0\text{m}$, 0.025m , 0.05m , 90° の位置に $z=0.0\text{m}$, 0.025m の計 8 箇所を設置した。更に実験中の円柱近傍の土砂移動を定性的、定量的に確認する為に円柱内部に 360 度カメラを設置した。

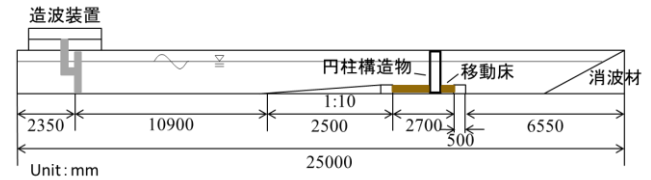


図-1 実験装置概要

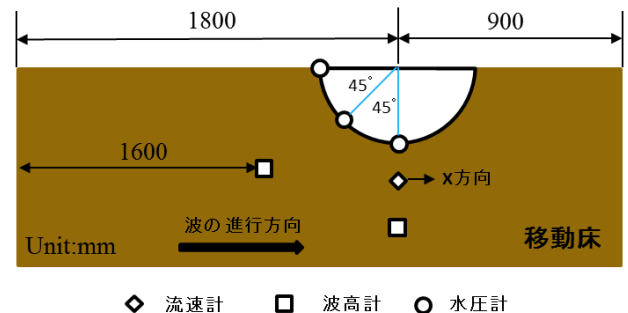


図-2 計測器設置平面図

2.2 水理模型実験における縮尺

実現象を再現するために模型実験では縮尺による変化に対応しなければならない。そこで水理模型実験で最も影響を受けやすい重力と慣性力の比に基づいたフルード相似則に従い、1/25 実験を行った。

2.3 浸食・漂砂における相似則

地盤材料の選定には、地盤内応力変化の再現性の高いことから、次式に示す Dean Number を適用した。

$$\left\{ \omega / (H/T) \right\}_p = \left\{ \omega / (H/T) \right\}_m \quad (1)$$

ここで、 H は波の波高、 T は波の周期、 ω は土粒子の沈降速度を表している。下添え字の p は prototype を、 m は model を示している。

Prototype を平均粒径 $d_{50}=0.2\text{ mm}$ の細砂とした場合、Dean Number を用いて沈降速度をフルード相似則に適用し、逆算して実験で用いる地盤材料の平均粒径を算出すると $d_{50}=0.08\text{ mm}$ となる。

そこで、この条件に比較的近い地盤材料が珪砂 8 号に該当するため、本実験では珪砂 8 号を地盤材料として用いることとした。

2.4 実験条件

波浪場の条件は参考文献²⁾を参考に、表-1 のような Case1, Case2 を連続で行った。また、水中落下法を用いて地盤相対密度を 80% となるように地盤を作成した。

3. 実験結果と考察

3.1 過剰間隙水圧比の時間応答

図-3 に Case2 における 45° と 90° の $z=0.025m$ 、図-4 に Case2 における 0° と 45° の $z=0.05m$ の過剰間隙水圧比を示す。尚、時間は実験終了 60 秒前から 20 秒間である。図-3 によると、 90° の値が図-4 の 0° の $0.05m$ よりも顕著に正の値に偏っている。 45° においても絶対値が $0.05m$ より大きいことから比較的 $0.05m$ よりも $0.025m$ の地盤が不安定であった。また、図-4 より 45° では正負の増幅特性が等しいのに対して、 0° において正の値に偏っており、場所によって有効応力変動が異なることがわかった。

3.2 波浪外力作用後の砂面形状

波浪外力による円柱近傍の土砂移動を 360 度カメラにより撮影し、動画から 100 波毎の砂面高さを読み取り Case2 の変化量を図-5 にまとめた。600 波のグラフに着目すると、円柱の前面と背面の 0° と 180° ではわずかに堆積が見られ、 22.5° 、 157.5° では、高さの変化が見られなかった。 45° から 135° の範囲は全体的に洗掘が見られ、特に 112.5° では $1.2cm$ 程の洗掘が見られた。更に 45° では最初に堆積した後、洗掘したことがわかる。

4. 結論

波浪外力により円柱構造物の前面と背面は堆積し、側面が洗掘することが確認できた。また、構造物近傍では過剰間隙水圧比の変動に違いがみられた。今後は、せん断力（掃流力）と有効応力変化が洗掘・堆積に与える影響を詳細に分析する。

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、基盤研究 (C)17K06553 の助成を受けたものであり、ここに記し感謝の意を表す。

表-1 波浪条件

	Case1	Case2
水深(m)	0.50	0.50
波高(m)	0.06	0.13
周期(s)	1.6	1.6
波長(m)	2.7	2.7
計測時間(s)	600	960

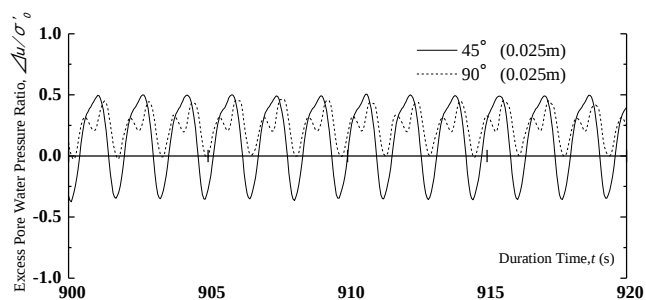


図-3 過剰間隙水圧比の時刻経過 ($z=0.025m$)

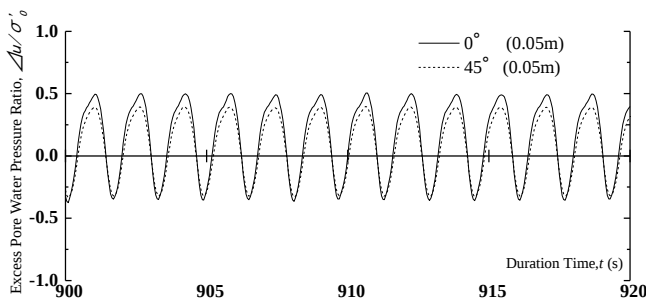


図-4 過剰間隙水圧比時刻経過 ($z=0.05m$)

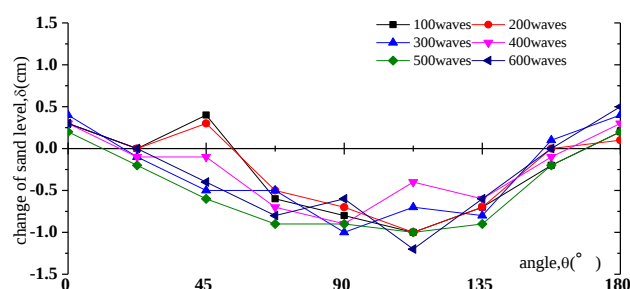


図-5 円柱近傍における 100 波毎の砂面高さ変化量

参考文献：1) 東江隆夫・伊藤一教・勝井秀博・灘岡和夫：海岸工学論文集，pp.496-500，1994。
2) 松田達也他：土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 73, No.2, pp.I_1117-I_1122，2017。