

波浪による円柱構造物近傍地盤の有効応力変化と砂移動

豊橋技術科学大学 学生会員 ○岡本 遥河, 高柳 林太郎, 牧野 凌弥
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

海岸・海洋における円柱構造物周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検討課題である¹⁾。これまで、小口径構造物を対象とした検討が多く実施されてきたが、大口径構造物に関しては検討例が少ない。しかし、沖合人工島や大型橋脚をはじめ、近年開発が進む洋上風力発電のモノパイル基礎については、大口径構造物に分類されると考えられ、これらの安定性を検討する上では、構造物周りの洗掘・侵食特性を明らかにすることが急務と考えられる。

そこで本研究では大口径構造物を対象とした円柱構造物周りの洗掘現象を明らかにするため、造波水路実験を行った。特に、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を考慮²⁾したうえで、円柱径波長比（ D/L ）が異なる場合の支持地盤の過剰間隙水圧比および円柱構造物周辺での洗掘現象の違いについて考察した。

2. 造波水路実験の概要

2.1 実験装置及び計測機器

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 の不透水スローブを移動床より沖側に設置した。円柱構造物は半円柱とし、円柱径 $D = 0.2\text{m}$ 、 0.4m の 2 種類を用いて、高さ 1.0m の半円柱の中心が移動床沖側から 1.8m の位置になるように水路壁面に固定設置した。円柱底部は水路床に定着させ、頭部を水面より突出させた着底頭出型とした。その後、水中落下法で相対密度 $D_r = 80\%$ となるよう移動床を作製した。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° および 45° の位置に地盤深度 $z = 0\text{m}$ 、 0.025m 、 0.05m 、 90° の位置に $z = 0\text{m}$ 、 0.025m の計 8 箇所に設置した（図-2）。また、超音波式砂面計を用いて波浪载荷後の地形変化を計測した。

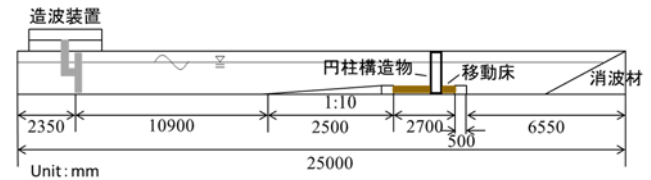


図-1 造波水路装置の概要

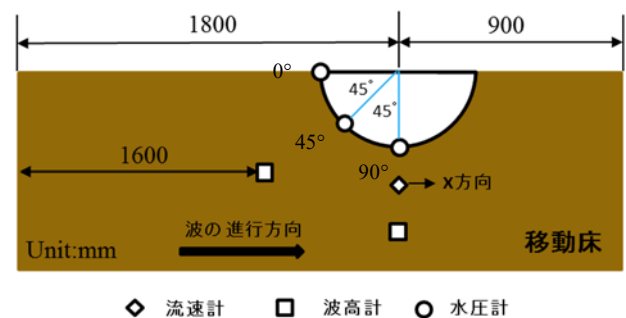


図-2 円柱構造物周辺での計測機器の設置位置

表-1 各実験ケースにおける実験条件

	Case1	Case2
円柱径 D (m)	0.4	0.2
入射波高 H (m)	0.11	
波浪周期 T (s)	1.6	
波浪波長 L (m)	2.7	
D/L	0.148	0.074

2.2 実験相似則

本研究ではフルード相似則に従い、縮尺比 1/25 で実験を行った。地盤材料においては、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。

$$(w/(H/T))_p = (w/(H/T))_m \quad (1)$$

ここで、 H は波の波高、 T は波の周期、 w 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。例えば、prototype を平均粒径 $D_{50} = 0.2 \text{ mm}$ 程度の細砂と想定していることから、Dean Number により model で用いる材料の

平均粒径は $D_{50}=0.08$ mm となる．本研究では，この条件に比較的近い珪砂 8 号を用いた．

2.3 実験ケースと実験条件

表-1 に実験条件を示す．円柱径波長比 (D/L) は Case1 で 0.148, Case2 で 0.074 である．波浪条件は土木学会³⁾を参考に決定し，規則波を与えた．両ケースともに 2400 波分の波浪を載荷した．

3. 実験結果および考察

3.1 過剰間隙水圧比の変化

図-3 に過剰間隙水圧比を示す．時間は実験終了 60 秒前からの 20 秒間である．Case1 の 0° 地盤深度 0.025m では 0.5 程度まで上昇している．一方で，Case2 では Case1 と比較して全体的に小さい変動を示した．

3.2 砂面形状の変化

図-4 に 2400 波作用後の地形等高線を示す．Case1 では円柱の側面で洗掘し，前面で堆積する傾向を示した．また，沖側から波長に対して $L/8$, $3L/8$ の付近で堆積し，その間では洗掘している．一方で，Case2 では Case1 と比較して全体的に移動床の変化が小さく，Case1 とは異なり，円柱後面で堆積し， $7L/8$ 付近においても洗掘をしていることが確認できた．

4. 結論

本実験結果では，円柱径波長比 (D/L) が 0.148 の場合，円柱側面で洗掘し前面で堆積する傾向を示した．一方で，0.074 の場合は，同様に側面での洗掘は見られたが，前面での堆積は小さく，構造物の後面で堆積することがわかった．

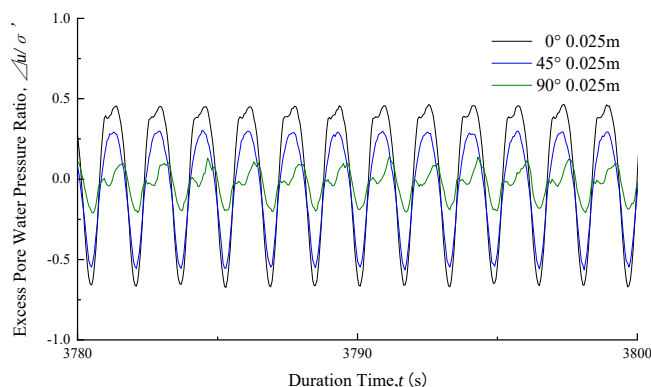
今後は波浪条件を変化させながら実験ケースを増やし，構造物の安定性への影響等も踏まえて検討を進める．

参考文献

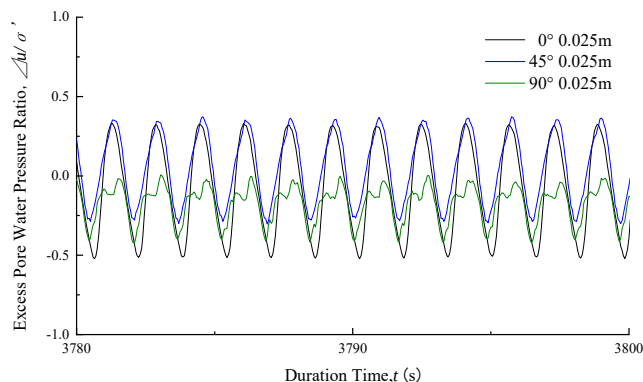
- 1) 東江隆夫，伊藤一教，勝井秀博，灘岡和夫：大型海洋構造物周辺の砂移動と平均流，海岸工学論文集，第 39 巻，pp.496-500，1992.
- 2) 穴井啓太，高柳林太郎，松田達也，三浦均也：波浪により誘発される地盤浸透力と土砂移動に及ぼす地盤の密度の影響に関する造波水路実験，

Vo.74, No.2, pp.I_727-I-732, 2018.

- 3) 土木学会：海岸波動・波・構造物・地盤の相互作用解析法，pp.481-483，1994.

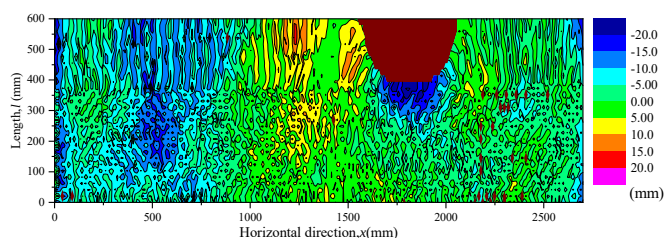


(a) Case1 における深度 0.025m の変動

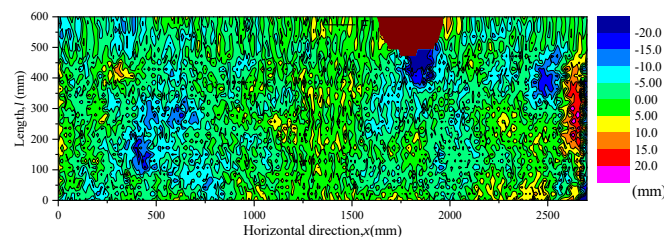


(b) Case2 における深度 0.025m の変動

図-3 過剰間隙水圧比の経時変化



(a) Case1 における 2400 波載荷後の等高図



(b) Case2 における 2400 波載荷後の等高図

図-4 移動床区間における波浪載荷後の地形特性