

モノパイル式洋上風力発電設備の基礎地盤における局所洗掘の相似則に関する研究

中央大学 正会員 ○有川 太郎
 中央大学 非会員 陳 暁悦
 中央大学 正会員 渡部 真史

1. 目的

モノパイル式洋上風力発電設備の基礎地盤における局所洗掘現象は、発電設備の構造安定性及び発電効率に影響する可能性があり、洗掘の防止が重要である。しかしながら、モノパイル周りの局所洗掘を実測することが難しく、現象の解明のために水理模型実験が多く行われた。既往実験では、円柱周りの局所洗掘の発生機構と洗掘防止工の形状効果が検討されてきたが、必要な防止範囲についての定量的な検討は少ない。また、地盤材料を扱う水理模型実験では、適応する相似則を検討することが必要であり、縮尺効果を考慮したうえで実験する必要がある。そこで本研究では、有川ら³⁾の1/13スケール大規模実験に対し、1/65・1/130の2種類のスケールで実験を行い、洗掘防止工を含んだ地盤材料に対する適切な相似則を確認することを目的とし、ここでは省略するが、最大洗掘深と海象条件の関係や洗掘防止工の有効性についても検討を行った。

2. 模型実験

(1)相似則の考え方：本実験では、有川ら³⁾の1/13スケールの大規模実験に模して地盤材料などの条件を選定した。また、砂地盤の粒径は山野ら²⁾に倣った式を用いて、沈降速度を相似させて選定した。洗掘防止工は、フィルター層とアーマー層の2層構造となる。フィルター層の砕石は砂地盤と同じく、沈降速度の相似から粒径を選定した。アーマー層は、フィルター層より荒い粒径の砕石を使用し、現地施工時に使用されているアーマー層の質量と相似させ、使用量を定めた。

(2)小規模実験 a)実験条件：1/130スケールの小規模実験は、中央大学3号館地下に設置された長さ30 m、幅50 cmの屋外断面水槽を用いて行った。実験水路の平面図及び断面図を図-1に示す。なお、小規模実験の海象条件として、現地条件に基づき1/130スケールに設定し、流れのみあるいは波浪のみ作用するケースのそれぞれで、洗掘防止工が有る場合と無い場合で区別して実験を行った。流れ作用については、流速0.14 m/sの一様流である。

本研究では、洗掘深を実験開始時の地盤高を0とする時の変化量と定義し、侵食を負とし、堆積を正とする。洗掘深の測定は、3D スキャナ Leica BLK360 を用いて、実験前後の砂地盤形状を測定し、地盤高さの差分を計算することにより求められた。b)小規模実験の結果：図-3に示したとおり、洗掘防止工設置無し、流れのみ作用したケースでは、最大洗掘深はおよそ3.5 cmであり、円柱の左側で計測され、円柱周りで大きく馬蹄型の洗掘痕と見られる。一方、波浪のみ作用したケースでは、砂地盤全体的に洗掘により砂レンができており、最大洗掘深は1.8 cmとなり、同じく円柱の側面で計測された。図は省略するが、洗掘防止工を設置した条件では、洗掘痕の形状は設置無しのケースと同じく、流れのみ作用

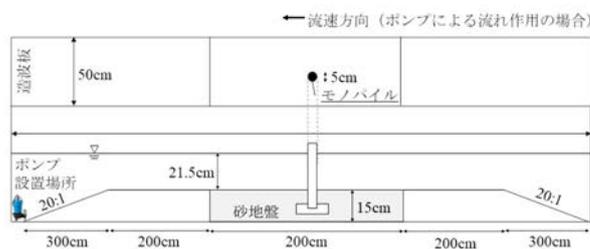


図-1 小規模実験平面図・断面図

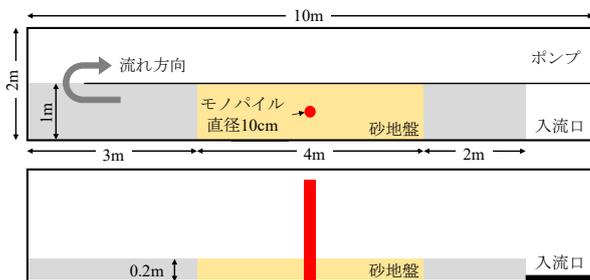


図-2 中規模実験平面図・断面図

キーワード 洋上風力発電, 局所洗掘, 洗掘防止工, 相似則

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27 中央大学理工学部 海岸・港湾研究室 TEL 03-3817-1800

する場合は、洗掘防止工の背面で馬蹄型の形状が見られ、波浪のみ作用する場合は全体的に砂レンができる形となった。また、洗掘防止工ありの場合には、洗掘深は大きく抑えられた。フィルター層の外周はわずかに沈下したが、アーマー層の碎石の移動は見られていない。また、洗掘防止工の範囲が狭いほど、洗掘深が小さくなるが、洗掘範囲も狭くなる傾向が見られた。

(3)中規模実験 a)実験条件：1/65スケールの中規模実験は、中央大学理工学部設置された大型断面水槽で実施した。実験水路の平面図・断面図を図-2に示す。中規模実験については、流れを作用した実験を行い、条件としては洗掘防止工無し及び有りとして実験を行った。なお、いずれのケースでも流れの平均流速は0.17 m/sとなった。なお、実験時間は、小規模実験の時間をフルード相似則により、2時間とした。

b)中規模実験の実験結果：洗掘痕の形状は、小規模実験と一致し、流れの作用により、円柱もしくは防止工背面で馬蹄型の洗掘痕が見られた。図-4に示す通り、防止工設置無しのケースでは、最大洗掘深5.6 cmが測定された一方、洗掘防止工設置有りのケースの最大洗掘深はすべて1 cm以下のオーダーとなった。

ただし、小規模実験及び有川ら¹⁾の大規模実験と比較すると、全体的にやや過小評価となっている。

3. 相似則についての考察

各スケールの実験で扱った砂粒子の沈降速度を山野ら(2013)の式に倣って表-1に示す。ここでは、小規模実験の沈降速度のスケールを1/130として、有川ら¹⁾の大規模実験と本研究の中規模実験のスケールを、沈降速度を用いて再評価している。また、沈降速度のスケールにより、各実験の最大洗掘深を実スケールに換算した結果を、表-2に示す。小規模実験については、有川ら¹⁾の大規模実験と一致している結果となったが、中規模実験の最大洗掘深は過小評価となったため、ここでは、フルード相似により計算した中規模実験の作用時間が不十分であったと考察した。

4. 結論

本研究では、中規模(1/65)・小規模(1/130)の2種類のスケールで模型実験を行い、洗掘防止工を含んだ地盤材料に対する相似則を、有川ら(2020)が行った大規模実験(1/13)の結果と比較し、確認した。結果として、実験の作用時間が不十分であったことから、中規模実験では最大洗掘深の過小評価が見られたが、小規模実験については既往研究と一致し、妥当な結果が得られた。

参考文献

- 1) 有川太郎, 陳曉悦, Songgui CHEN, Hanbao CHEN, 浜地克也, 松本幸久, 徳永正吾, 渡部真史, 巖駿:モノパイル式洋上風力発電機の基部における局所洗掘に関する実験的検討, 土木学会論文集 B2, 76巻2号, p.I_535-I_540, 2020.
- 2) 山野貴司, 藤原隆一, 野村浩二, 白木孝一:有脚式構造物の脚部局所洗掘に対する平面的特性とその対策工の効果, 土木学会論文集 B2, 69巻2号, p.I_591-I_595, 2013.

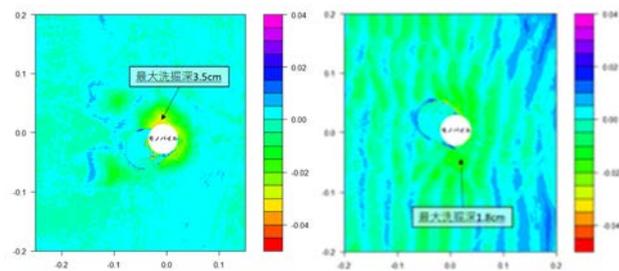


図-3 小規模実験前後地盤高変化量(左:流れ作用,洗掘防止工無し 右:波浪作用,洗掘防止工無し)

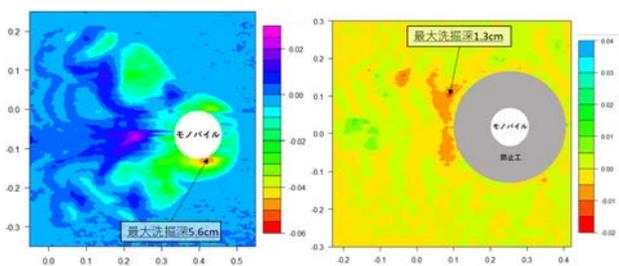


図-4 中規模実験前後地盤高変化量(左:洗掘防止無し 右:フィルター層半径1.5D,アーマー層半径0.75D)

表-1 沈降速度による実験スケールの再評価

| | 有川ら ¹⁾ による大規模実験 | 小規模実験 | 中規模実験 |
|---------|----------------------------|-----------|-----------|
| 砂地盤代表粒径 | 0.15 mm | 0.075 mm | 0.106 mm |
| 砂地盤沈降速度 | 1.50 cm/s | 0.45 cm/s | 0.84 cm/s |
| スケール | 11/130 | 1/130 | 3/130 |

表-2 各実験の最大洗掘深の実スケール換算値

| 実験条件 | 流れ防止工無し | 波浪防止工無し | 流れ2.25D | 波浪2.25D |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 有川ら ¹⁾ の大規模実験 | 413.6cm | 213.9cm | 104cm | 178.5cm |
| 中規模実験 | 242.7cm | - | 17.3cm | - |
| 小規模実験 | 455cm | 234cm | 97.5cm | 156cm |