

高速流体作用時の地盤表層における浸透と流動層形成挙動

名古屋工業大学 学生会員 ○鈴木 悠真
名古屋工業大学 正会員 前田 健一
名古屋工業大学 学生会員 高木 健太郎

1. はじめに

津波による洗掘現象は構造物の支持力低下や損傷等、大きな被害をもたらす。これまで、洗掘現象は一般に掃流力の概念による評価が行われてきた。一方、近年の研究では地盤内に過剰間隙水圧が発生することがわかっている¹⁾。特に地盤の極表層においては流動層が存在する可能性が指摘されている。

そこで本研究では、過剰間隙水圧の発生要因と考えられる地盤内への水の浸透と地盤極表層における流動層に着目した移動床実験を行った。そして、撮影した画像をもとに PIV(Particle Image Velocimetry)解析を行い、地盤内部の挙動を考察した。

2. 実験概要

実験は図-1 に示す移動床水路を用いた。装置内には幅 500mm、高さ 100mm、奥行き 300mm の土層区間を設置した。水流は水中ポンプ（流量： $Q=120\text{L/min}$ ）を用いて循環流を発生させた。実験は 4 ケース行った(表-1)。各地盤材料は水中落下法により相対密度 $D_r=40\%$ で堆積させた。また、ビデオカメラ（30fps）と高速度カメラ（400fps）で現象を撮影した。Case1～3 については浸潤の様子を可視化するため、塗料で黒く着色し

た水を循環させた。また、PIV 解析を行いやすくするために、Case3 では白く着色した豊浦砂を使用し、Case4 は黒く着色した豊浦砂を地盤表層に混合した。

3. 実験結果と考察

3.1. 地盤への浸透 (Case1～Case3)

図-2 に Case1～3 の地盤への浸透の様子を示す。Case1 は、目視で黒く浸透する様子が確認できた。浸

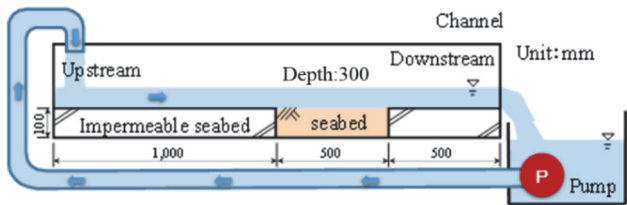


図-1 実験装置概略図

表-1 実験ケース

	地盤材料	平均粒径 $D_{50}(\text{mm})$	相対密度 $D_r(\%)$	ポンプ流量 (L/min)
Case1	珪砂5号	0.615	40	120
Case2	珪砂2号	3.270	40	120
Case3	豊浦砂	0.173	40	120
Case4	豊浦砂	0.173	40	120

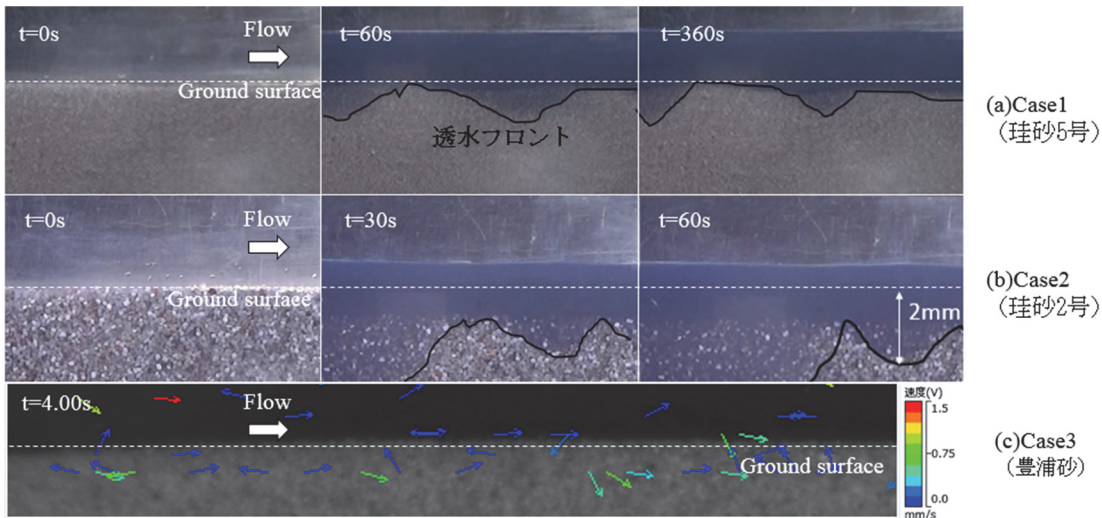


図-2 黒く着色した流体による飽和水性地盤への浸透の様子
(白破線：地盤表面の位置，黒線：地盤内への浸透の透水フロント)

透は一様に浸透していくのではなく、部分的に浸透し、時間経過に伴い流下方向へ進行していった。土層中心では実験開始から6分間で約20mm程度まで浸透したことを確認した。Case2でもCase1と同様に浸透が観察されたが、浸透速度がCase1に比べて速く、実験開始1分後に上流側で土層の下端まで浸透流が到達した。その後、流下方向に浸透流が進行し、土層全体が染色された。また、実験開始時に地盤内にあった水が地盤内の染色されていない部分から流出する様子も観察できた。一方、Case3については地盤への浸透が不明確であったためPIV解析を行い、可視化した。その結果、表層流れと地盤の境界面で速度ベクトルは下に向いていることがわかった。従って、Case3においても流体が浸透していると考えられる。また、浸透深さは実験開始5秒でおよそ2mmだった。

Case1～3を比較すると浸透の深さに違いが生じているが、これは粒径の違いによるものだと考えられる。粒径が大きくなると間隙が大きくなり、透水性が上がるためである。実際に、珪砂5号に対して粒径が大きい珪砂2号では浸透の深さも大きかった。一方で粒径が小さい地盤材料である豊浦砂では透水性低いため、浸透深さが小さかったと考えられる。

3.2. 地盤表層における流動層 (Case4)

実験開始直後から砂漣が形成されはじめるまでの実験初期段階に着目して画像のPIV解析を実施した。実験開始4.50秒のPIV解析による速度ベクトルを図-3(カラーバーは最小0.0, 最大0.6mm/sを示している)に示す。速度の妥当性の確認のため、2枚の画像(図-4: 時間間隔1.00秒)を比較し、粒子形状の判断の可能な土粒子の速度を算出した。その結果、0.07mm/sとなった。同一箇所のPIV解析結果と比較すると同等の値であることがわかり、妥当性を確認した。

地盤極表層に着目すると流下方向の速度成分は約1mm程度(土粒子約6個分)であることがわかる。また、0.03～0.60mm/s程度の移動速度であることがわか

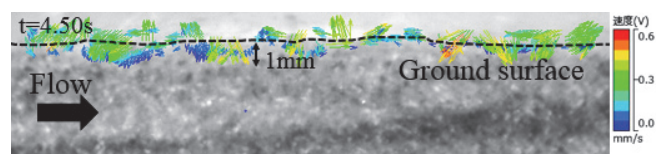


図-3 PIV解析による流動層

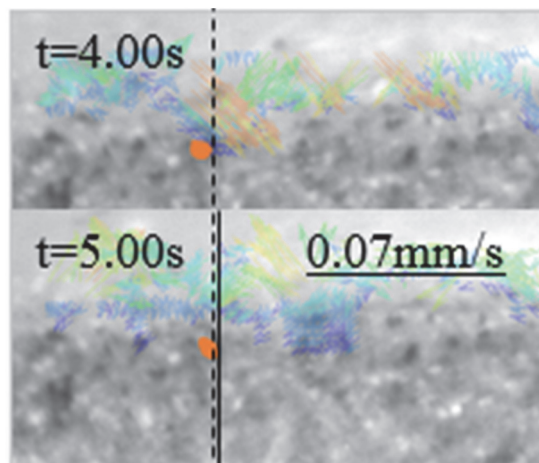


図-4 PIV解析の妥当性の確認

った。ある深度まで速度を持っていることから、既往の研究で指摘されているような流動層が確認できた。

4. おわりに

本研究では過剰間隙水圧の発生要因として考えられる地盤内への水の浸透と地盤極表層における流動層に着目した移動床水路実験を行い、地盤内部の挙動を考察した。その結果、以下のことがわかった。

- 地盤に高速流体が作用すると地盤内に水が浸透することがわかった。浸透の様子は地盤材料ごとに異なり、これは透水性の違いによるものだと考えられる。
- 極表層において土粒子群が微動していることがPIV解析より示され、流動層の存在が確認できた。

今後は、珪砂5号、2号ともに地盤表層における流動層の確認を行い、浸透と流動層の発生の関係性を検討する。また、地盤表面を流れる流体の流速の大きさに浸透深さ、浸透速度が変わると考えられ、流動層も底面せん断応力により発生する深度が変わると考えられる。そのため、シールズ数の違いについても併せて考察する。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金・挑戦的研究(萌芽)17K18901の助成を受けたものである、ここに記して感謝の意を表します。

参考文献:

- 1) 松田達也, 前田健一, 山口敦志, 高木健太郎, 鶴ヶ崎和博, 宮本順司, 角田紘子: PIVによる水平流れに起因した土粒子・土粒子群の微視的な流動挙動解析, 土木工学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.73, No.2, pp.I_529-I_534, 2017.