

掃流力および内部応力変化に着目した高速流体による砂質土の洗掘現象

名古屋工業大学

社会開発工学科

学生会員

○伊藤 嘉

名古屋工業大学大学院

社会工学専攻

学生会員

今瀬 達也

名古屋工業大学准教授

都市社会工学科

正会員

前田 健一

1. はじめに

高速流体挙動（例えば、津波流）に伴い、海底や陸上の土砂移動が発生し、大規模な地形変化を齎す。また、構造物周辺の地盤が洗掘され、構造物の不安定化を招くことがある。流体の流れによる土砂移動については、河川・海岸工学分野で広く研究が進められており、主としてシールズ数を考慮した地盤表層の掃流力の影響について考察されている¹⁾。しかし、近年の研究では地盤内部の過剰間隙水圧の上昇に伴い地盤応力が変化することで堆積土砂が洗掘され、さらには土塊として移動することも確認されている²⁾。

そこで、本研究では既存の研究により得られた掃流力による土砂移動の知見も考慮しつつ、新たに地盤内部の応力変化について着目した土砂移動のメカニズムについて検証する。本稿では、まず簡易的に実施した土砂移動の実験について、掃流力と内部応力変化に着目して考察した結果を述べる。

2. 水路実験による洗掘現象の考察

2.1 実験概要

実験では、長さ 2m×幅 0.3m×高さ 0.3m のアクリル水路を用いた（図-1(a)）。また、上流から 1m 地点以降に、長さ 0.5m×高さ 0.1m の土槽を設置し土砂を堆積させた。それ以外には 0.2mm の粗度を付け、不透過の海底床を設置した。地盤内部の間隙水圧を計測するために間隙水圧計を計 9 本設置した（図-1(b)）。流体挙動は、ポンプを用いて循環流を形成し、定常流を再現した。実験には豊浦砂を用い、相対密度 $Dr=40\%$ 、 70% に変化させて、その影響を考察した。相似則に関しては、流体挙動についてフルード則を満足するよう考慮した。

2.2 実験結果

1) シールズ数 τ_* の算出

ピトー管を用いて測定した流速の鉛直分布を図-2 に示す。流速分布より摩擦速度 u_* を求めるため、

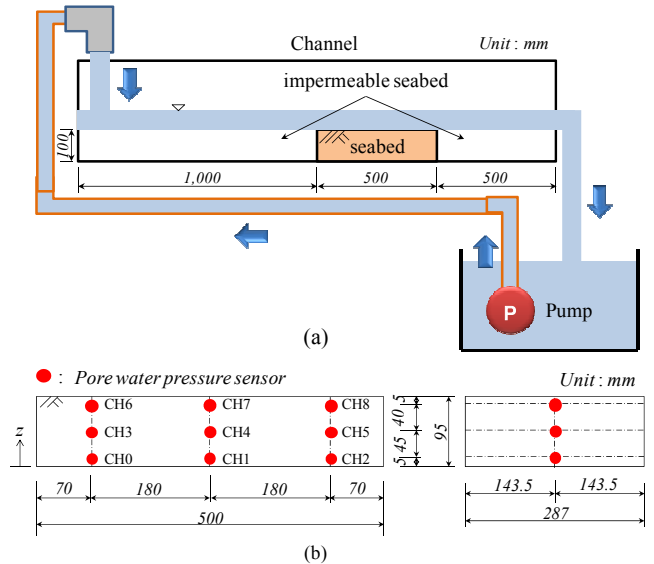


図-1 実験装置概要：実験水路と水循環図(a)，土槽内の間隙水圧計設置箇所(b)

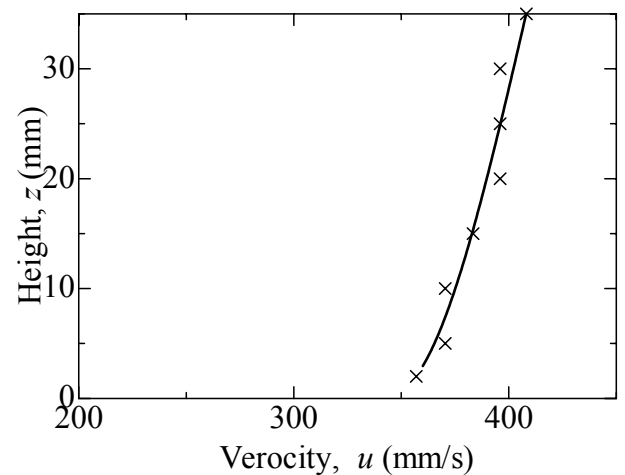


図-2 流速の鉛直分布

Prandtl-Karman の対数分布則を用いた。

$$\frac{u}{u_*} = A_r + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z}{k} \quad (1)$$

ここに、 κ は Karman 定数 ($\kappa=0.4$), k は相当粗度 ($k=0.2$), A_r は実験定数である。以上より求められた摩擦速度 u_* から、次式よりシールズ数 τ_* を計算した。

$$\tau_* = \frac{u_*^2}{sgd} \quad (2)$$

ここに、 s は砂の比重、 g は重力加速度、 d は砂の中央粒径とした。また、土砂が移動を始める移動限界シールズ数を岩垣の式³⁾を用いて計算した。

$$\tau_{c*} = 0.0052d^{-21/32} \quad (3)$$

以上の式より、 $\tau^*=0.124 > \tau_{c*}=0.068$ となり、掃流力により地盤表面が洗掘される条件であることを確認した。

2) 洗掘の様子

実験時に撮影した土槽の経時変化を図-3(左： $Dr=40\%$ 、右： $Dr=70\%$)に示す。両者を比較すると、洗掘の発生する位置はほぼ同位置であるため、流れによって地盤表面に作用する掃流力の分布は同一であることがわかる。しかし、洗掘量においては、 $Dr=70\%$ の地盤に比べて、 $Dr=40\%$ の地盤の方が明らかに大きい。通常、水の流れによる地盤表層の土砂移動は、シールズ数を用いた掃流力によって評価されるが、本実験結果のように地盤の相対密度が変化することで洗掘量が異なることは評価できない。そこで、次項では間隙水圧の変化に着目した内部変化の影響について考察する。

3) 地盤内部の応力変化

間隙水圧計で計測したデータから、地盤内部の動水勾配について算出した(図-4)。間隙水圧計の設置位置は図-1に示しており、本稿では土槽中央における鉛直方向の動水勾配 i について示す。

$Dr=40\%$ の地盤では、表層部に水圧差が生じ、 i が正であり鉛直上向きの浸透の発生によって鉛直有効力が低下するといえる。一方、 $Dr=70\%$ の地盤では、実験開始直後に表層部分で上向きの浸透が発生し表層部の鉛直有効力の低下が生じるが、その後、 i が負となり下向き流れに転じている。流れによる地盤の洗掘状況と照らし合わせると、密度の増加が地盤内部の有効応力の低下を抑え、洗掘を軽減することを示唆している。地盤内部の上向きの浸透が洗掘現象に影響を与えている可能性が大きいと考える。しかし、本実験で使用した実験水路は土槽境界が狭いため、水路壁や底面の影響も少なくない。よって、今後はより広域な砂床区間を設けた水路実験を行い、検証する必要があると考える。

3. 結言

水平堆積地盤に並行な高速流体による洗掘現象は、地盤表面に作用する掃流力のみではなく、地盤内部の応力変動も大きな影響を与えることが分かった。

今後は、数値解析においても検討する予定である。

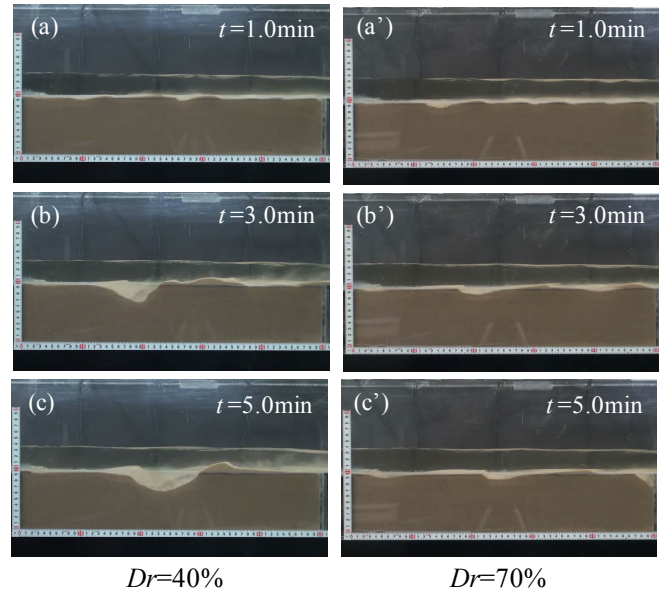


図-3 堆積土砂の洗掘の様子

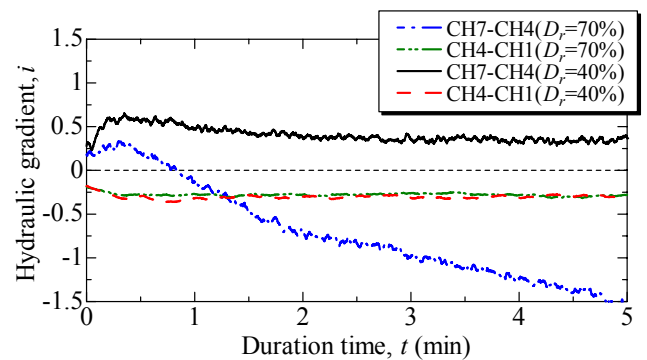


図-4 鉛直方向動水勾配の経時変化

謝 辞：

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)23360203と基盤研究(B)21360222の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 芦田和男, 道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第206号, pp.59-69, 1972.
- 2) 三宅達夫 他; 遠心力場における津波による洗掘の相似則に関する一考察(その2), 第46回地盤工学研究発表会講演要旨集, pp.2013-2014, 2011.
- 3) 岩垣雄一: 限界掃流力に関する基礎的研究 (I) 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集, 第41号, pp.1-21, 1956.