

不飽和地盤表層からの浸透に伴う間隙空気圧に着目した洗掘現象

名古屋工業大学 学 〇山口 敦志 正 前田 健一
豊橋技術科学大学 正 松田 達也

1. はじめに

津波の陸域遡上，集中豪雨および洪水に伴う急な河川水の上昇は，比較的短時間で急速に不飽和地盤に透水作用をもたらす．このような透水作用に伴って不飽和地盤内の間隙空気が封入されて空気塊へと発達し，生成された空気塊は透水作用により地盤内部を移動することが考えられる．生成された空気塊が地盤表層から大気へ放出される際には，地盤を大きく変状させ，時に大規模な土構造物が崩壊する切欠となりうる可能性が指摘されている¹⁾．

著者らは，これまでに開水路流れを対象とした不飽和地盤の洗掘現象に着目した実験を行い，間隙空気塊の生成や噴出に伴う洗掘への影響について考察してきた．本稿では間隙空気圧の上昇について，Laplace の法則より間隙空気圧の定量的評価を試みた．

2. 実験の概要

本実験では，長さ，幅，高さが $2.0\text{m} \times 0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$ のアクリル製水槽を用いた (図-1(a))．上流より 1.0m を起点に長さ，幅，高さが $0.5\text{m} \times 0.3\text{m} \times 0.1\text{m}$ の土槽を設置して移動床区間を設け，それ以外は不透水性の固定床とした．水中ポンプ(120l/min)を用いて開水路流れを作用させた．図-1(b)に移動床内の間隙水压計，間隙空気圧計の設置位置を示す．移動床に豊浦砂を用い，乾燥状態と湿潤状態 ($S_r=17.7\%$) の2ケースについて検討した．

3. 結果と考察

3.1 洗掘の様子

乾燥および不飽和地盤を対象とした，洗掘の進行について示す (図-2)．不飽和地盤では開水路流れが地盤表層から浸透することで，間隙空気との置換が発生し，間隙空気が空気塊となり地盤表層から噴出した．この現象は，乾燥・湿潤地盤でも確認した．この空気塊の噴出によって砂を巻き上げ，表面が乱されることで洗掘

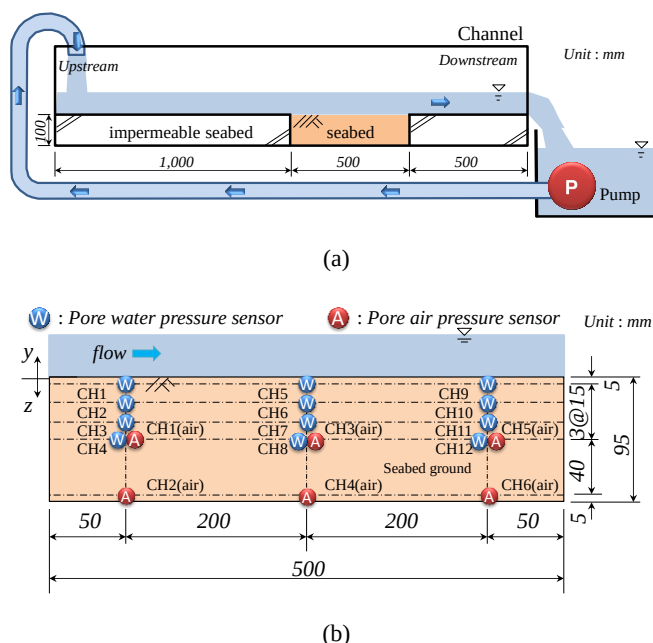


図-1 循環流による移動床水路システムの概要図：(a)，装置全体図；(b)，移動床内の間隙圧計設置位置

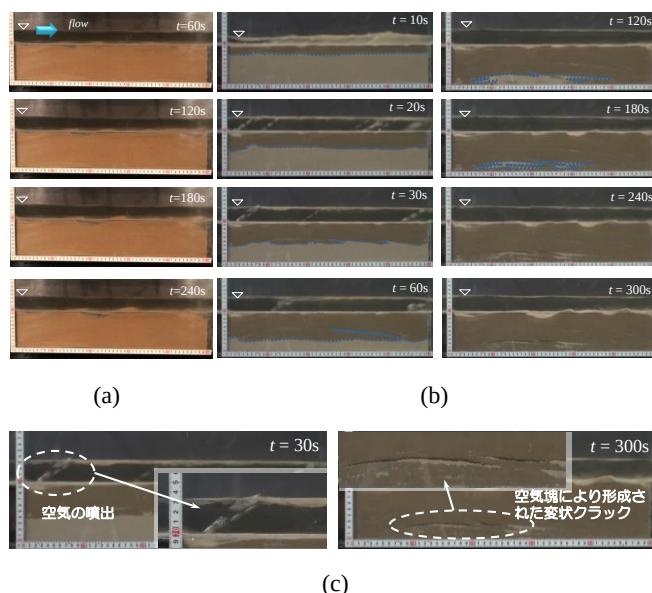


図-2 豊浦砂を用いた移動床の洗掘の様子：(a)，飽和状態 ($D_r=40\%$)；(b)，乾燥状態；(c)，地盤表層からの空気噴出および地盤内部にトラップされた空気塊の拡大に伴い発生した地盤内のクラック

キーワード 開水路流れ，不飽和土，洗掘，間隙空気

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

名古屋工業大学 16 号館 227 号室 TEL052-735-5497

が発生および拡大する切欠となった。また、地盤内部へ閉じ込められた空気塊によって、クラックが発生する現象も確認した。

3.2 透水作用に伴う間隙空気圧の変動

図-3 に乾燥地盤における間隙水压と間隙空気圧の時刻歴を示す。地盤表層に開水路流れが作用すると、地盤表層下では土槽全体で一様に圧力が上昇していることがわかる。目視より水位の上昇量が 3cm 程度であり、水位上昇量に伴った静水压値が観測されている(CH5)。地盤内部では表層の水位以上に圧力が上昇しており、CH3(air)に着目すると $t=20s$ で浸潤面が到達するまでに浸透による地盤内部の間隙空気圧が約 864Pa 上昇した。

3.3 間隙空気圧の上昇値と間隙径の関係

間隙空気圧の上昇について定量的に考察する。Wheeler²⁾は Laplace の法則より存在する空気塊の半径を次式の通り示している。

$$u_g = u_w + \frac{2T}{R} \quad (1)$$

ここで、 u_g 、 u_w 、 T 、 R はそれぞれ、間隙空気圧、間隙水压、表面張力および空気塊の半径を示している。

間隙空気圧 (CH3 air) と間隙水压 (CH8) から考察すると、地盤表層からの浸透水が到達した時刻 $t=20s$ では間隙空気圧および間隙水压はそれぞれ $u_g=864.0882Pa$ 、 $u_w=518.4790Pa$ であり、その差は 345.6092Pa であった。この結果を式(1)に代入し、存在する空気塊の半径を求めると、 $R=0.04mm$ となった。このときの表面張力は $20^\circ C$ のときの $T=7.57 \times 10^{-3} N/m$ を用いている。

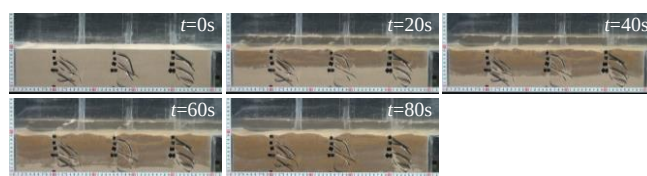
一方で、神谷ら³⁾は、実験の結果から地盤内の間隙径 d は次式で表すことができるとしている。

$$\frac{d}{D_m} = \frac{2}{3}e \quad (2)$$

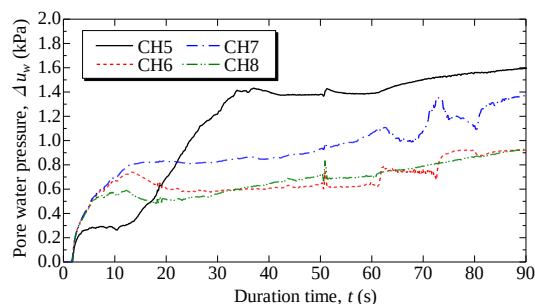
ここで、 e 、 D_m は間隙比と土粒子の平均粒径である。

式(2)に本実験条件の間隙比 $e=0.7476$ ($D_r=60\%$)、 $D_m=D_{50}=0.17mm$ を用いて計算すると、間隙径の直径 $d=0.084mm$ となった。

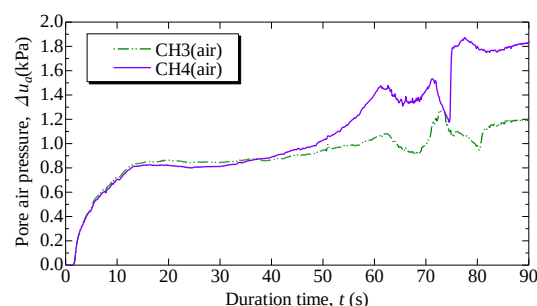
以上の結果から、急激な浸潤によってトラップされた不飽和地盤では間隙径に匹敵する程度の空気圧が上昇すると考えられる。また、空気塊の形成は急激な浸潤を妨げるが、空気塊が不安定となりつり合いが崩壊することにより浸潤が進むと考えられる。



(a)



(b)



(c)

図-3 浸潤に伴う間隙圧の変化：(a)、浸潤過程；(b)、間隙水压の経時変化；(c)、間隙空気圧の経時変化

4. 結言

不飽和地盤における開水路流れによる洗掘現象では、地盤表層からの浸透により地盤内の間隙空気が空気塊となり、地盤内部を移動した。空気圧は間隙径に匹敵する程度まで上昇することがわかった。不飽和地盤内部に置換された間隙空気が地盤表面から噴出し、洗掘を助長すると考える。

謝辞：本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基礎研究(B)23360203、研究スタート支援 26889035 および特別研究員奨励金(24・9200) の助成を受けており、ここに記して謝意を表す。

参考文献：1) 前田健一他：ジオシンセティック論文集, 25, 107-111, 2010. 2) Wheeler, S. J.: *Geotechnique*, No. 38, pp. 389-397, 1988. 3) 神谷浩二他：土木学会論文集, No. 541/III-35, pp. 189-198, 1996.