

砂質地盤の浸透破壊に及ぼす気泡の影響に関する研究

名古屋工業大学 学生会員 ○山越 陽介
 名古屋工業大学[院] 学生会員 坂井 宏隆
 名古屋工業大学 正会員 前田 健一

1. はじめに

地盤の浸透破壊において、地盤内に存在する気泡や間隙水の DO の過飽和度が水の浸透過程に影響を及ぼすことが指摘されている¹⁻³⁾。そこで本研究では、模型実験によって気泡の発生・発達過程を観察するとともに、PIV (画像処理) 解析を行った。さらに、地盤内に間隙水圧計を挿入して圧力変化を調べ、地盤の破壊過程を視覚・定量的にとらえることで浸透破壊に及ぼす気泡の影響を考察する。

2. 模型実験

2-1. 実験概要

一般に、浸透破壊は限界水位差に達すると地盤が局所的にかつ急速に変形して破壊するが、限界水位差以下では破壊は生じない。しかし、実際には限界水位差以下でも時間経過とともに地盤が変形し、長時間経過後に突如として破壊することが知られている¹⁾。そこで、本研究では小高ら¹⁾の実験を参照し、Fig.1 に示す実験装置を用いて一定の水位差を保った状態で地盤が浸透破壊に至るまでの地盤変状の経時変化を観察した (hold 実験とする)。実験試料には豊浦標準砂を用い、水位差一定 (限界水位の約 85%) のもとで破壊するまで放置した。

2-2. 実験結果と PIV 解析

実験時に撮影した密地盤における矢板周りの拡大画像を Fig.2 に、下流側地盤上昇量の経時変化を Fig.3 に示す。これらを含めた一連の実験結果³⁾から、気泡は地盤密度に関わらず発生・発達し、地表面から断続的に放出されながら変形が進み、長時間経過後に破壊に至ることが確認された。

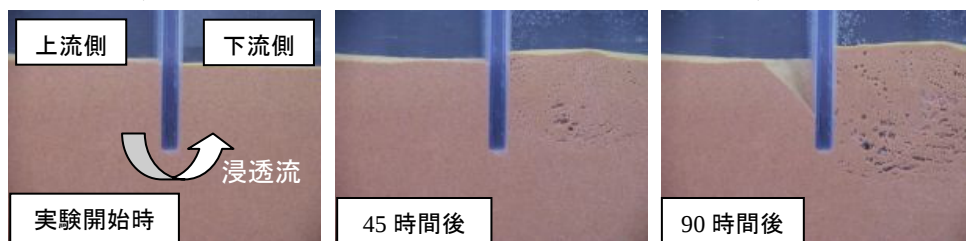


Fig. 2 密地盤における矢板周りの拡大画像 (気泡の発生・発達の様子)

また、実験で撮影した画像の PIV による解析結果の一例を Fig.4 に示す。

一般的な浸透破壊の場合、速度ベクトルが矢板近傍に現れ始めるとその値は急激に大きくなり破壊に至るが、気泡を有する地盤は速度ベクトルが不均一に生じることが分かった。一方、気泡を有する場合の下流側地盤の表面に注目すると、気泡の発生・発達に伴う地盤表面の上昇と変形の停止、気泡の噴出に伴う沈下が断続的に見られた。

次に、実験時にテンシオメーターを用いて計測した圧力変化の代表的な波形を Fig.5 に示す。測定結果から、圧力はほぼ一定値にとどまる、あるいは周期的にやや変化する場合 (5-(a))、緩やかに上昇 (あるいは下降) する場合 (5-(b))、激しく変動する場合 (5-(c)) があることが分かった。地盤内の圧力変化の理由として、(1) 気泡の流体抵抗に起因する、気泡上下における圧力

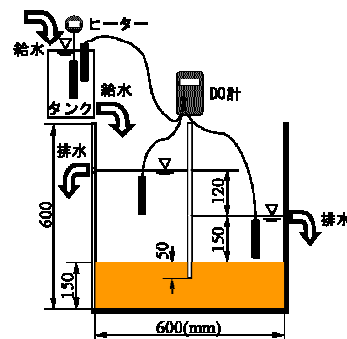


Fig.1 実験装置

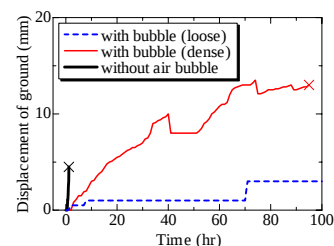


Fig.3 下流側地盤の上昇量の経時変化

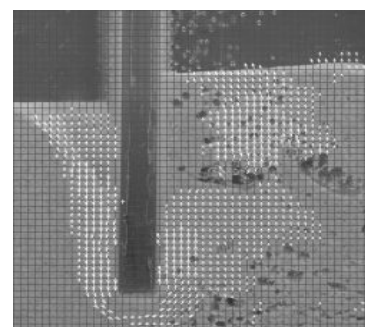


Fig.4 PIV 解析結果の一例

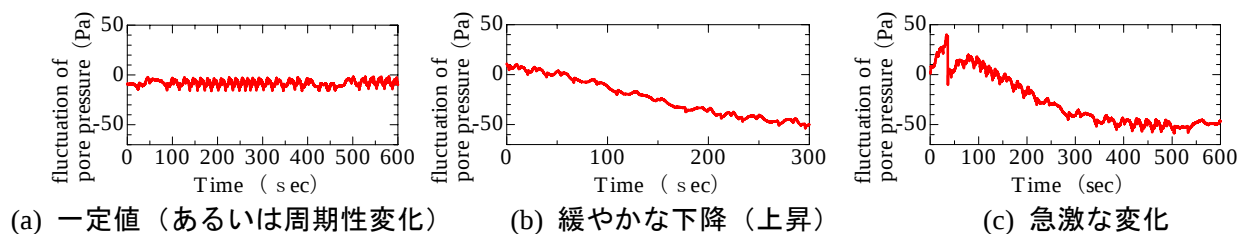


Fig.5 実験時に観測された間隙水圧変化の一例

の違い (2) 気泡の移動によって生じる, 周辺地盤の局所的なダイレイタンスーが挙げられる. そこで, それぞれの要因について検討を進める.

まず, 気泡上下における圧力の違いを簡易に調べるため, 一様流速中に置かれた球 (半径 r) に上流から下流に向かって流体が近づく時, 球のまわりのストークス近似された流れを考える. このとき最大 (最小) 圧力は球の両端に生じる. Fig.6 は気泡上下の圧力差と水の流速を, Fig.7 は気泡上下の圧力勾配と水の流速の関係を表すグラフである. ここで, 流速は限界動水勾配における最大流速を考慮した. グラフから気泡上下の圧力は最大で 6.0×10^{-3} 程度あるのに対し, Fig.5 に示される実験時の圧力値は 5.0×10^1 程度であるので, 流速が遅い地盤内においては気泡上下の圧力差は小さいことが分かる.

また, Fig.8 は Fig.4 における最大せん断ひずみ速度分布である. この分布から, 矢板先端だけでなく下流側の発達した気泡周辺で大きなひずみ速度 (最大で 2.0×10^2 程度) が発生していることが分かる. これは, 地盤の変形が通常の浸透流によって起こるだけでなく, 気泡の存在によって周辺で不均質な変形が起こることによって大きなせん断が誘導されていることを意味している.

したがって, 地盤内は気泡の存在による土の不均一化と, 気泡の移動に伴う土のダイレイタンスー挙動による間隙水圧の変化によって局所的に強度が低下し, 最終的に破壊に至ると考えられる.

3. おわりに

実験結果から, 地盤の浸透過程における気泡の影響は大きく, 地盤変状の様子や強度, 破壊時間に変化を与えることが分かった. また, 間隙水圧の計測結果から, 地盤内においては気泡上下の圧力差は小さく, 圧力変化は気泡の移動に伴う土のダイレイタンスー挙動によるものであると考えられる.

今後は複数本の間隙水圧計を導入することで面的な変化を捉える. また, 画像解析を援用することで気泡の発生量を算定し, 間隙比の変化と気泡の発生・発達挙動の関係を明らかにする. さらに, 開発中の SPH 法を用いた解析手法⁴⁾を用いて気泡の影響を考慮した浸透破壊メカニズムの解明を行う.

参考文献)

- 1) 小高猛司, 浅岡顕: 砂地盤の浸透過程での気泡の発生・発達現象, 土木学会論文集, Vol.487I/II-26, pp129-138, 1994
- 2) 中島保治: 干拓堤防のパイピングについて, 土と基礎, 地盤工学会, Vol.113, No.2, pp83-88, 1985
- 3) 坂井宏隆, 坂井守, 前田健一: 気泡を有する地盤の浸透破壊時の変形に関する実験と解析, 第 41 回地盤工学研究発表会講演集, pp1215-1216, 2006
- 4) K. Maeda, H. Sakai and M. Sakai: Development of seepage failure analysis method of ground with smoothed particle hydrodynamics, *Journal of structural and earthquake engine., JSCE*, 2006, (to be published).

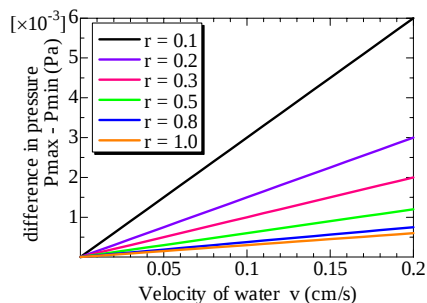


Fig.6 流体速度と気泡上下の圧力差の関係

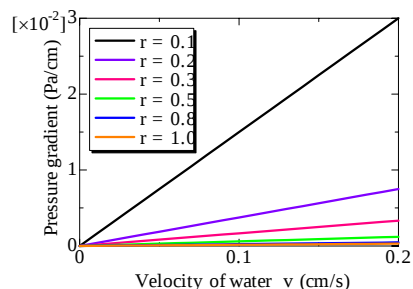


Fig.7 流体速度と気泡上下の圧力勾配の関係

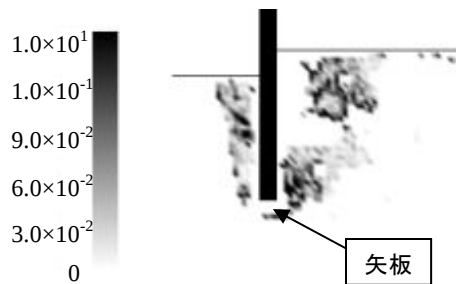


Fig.8 矢板周りの最大せん断ひずみ速度分布