

PIV を用いた気泡の発生・発達を有する砂地盤の浸透破壊メカニズムに関する研究

名古屋工業大学 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（水中溶存酸素量）の過飽和度が重要な影響を及ぼすことが指摘されている¹⁻³⁾。そこで、本報告では気泡の発生・発達を有する地盤の浸透破壊実験を行い、撮影画像を PIV（粒子画像流速測定法）を用いて分析することで破壊メカニズムの解明を試みた。

2. 模型実験・PIV 画像解析およびその結果

2-1. 実験の方法

図-1 に示すような装置を用いて矢板周りの浸透破壊に関する模型実験を行った。一般に浸透破壊は限界水位差に達すると地盤の局所的な変形が急速に進行して破壊に至り（図-2 参照）、それ以下の水位差では破壊しない。しかし、水中の溶存酸素量（DO）が温度で既定される飽和量を超えた「過飽和状態」の場合、間隙水中に気泡が発生・発達することで地盤が劣化し、限界水位差以下であっても長時間経過後に破壊することが小高・浅岡によって報告されている¹⁾。そこで、小高らの実験を参照し、限界水位差以下の水位差（限界水位差の 80%）を保った状態で地盤変状の経時変化を観察した（以下 hold 実験とする）。試料には豊浦砂を用い、異なる密度の地盤について実験を行い、DO と水温を計測しながら破壊するまで放置した。

2-2. 矢板周りの破壊形状の観察結果

実験地盤の下流側（水位が低い側）の地盤上昇量の経時変化を図-3 に示す。その際の矢板周りの地盤の様子を図-4 に示す。hold 実験開始から 94 時間後、大きな気泡の放出に伴い地盤が破壊し、地盤内の大量の気泡が放出された。また、通常の浸透破壊の場合（図-2）、矢板下流側の破壊領域は矢板の根入長の半分程度となるが、気泡を含む地盤の場合は破壊領域が通常場合に比べ最大 4～5 倍もの広範囲にわたることが分かった。さらに、一連の実験結果から、地盤が緩く間隙水の飽和度が高いほど気泡が発生・発達しやすいこと¹⁾が確認された。

2-3. PIV による矢板周りの解析結果

実験中にデジタルカメラで撮影した画像について PIV を用いた画像解析を行い地盤の動きを調べた。一般的な浸透破壊の場合、速度ベクトルが矢板の極近傍に現れ局所的に地盤が変状し始めると、その分布範囲は急速に広がり破壊に至ることが分かった。一方、気泡を有する地盤の場合、気泡の発生・発達現象と地盤外への放出現象が繰り返し生じた。それに伴い下流側地盤表面の変形が上昇（図-3 の(a)）と沈下（図-3 の(b)）・停止（図-3 の(c)）が観察され、破壊は断続的に進むことが分かった。

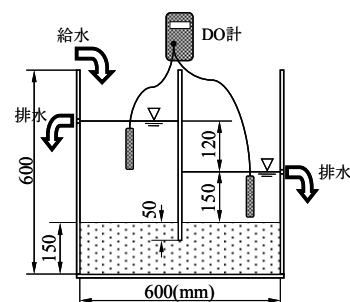


図-1：浸透破壊実験装置



図-2 通常の浸透破壊

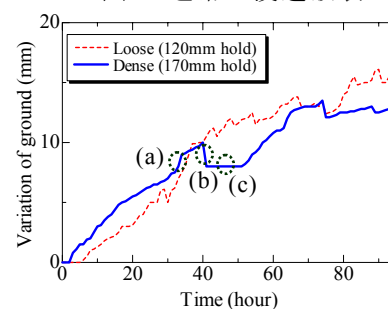


図-3 下流側地盤上昇量の経時変化

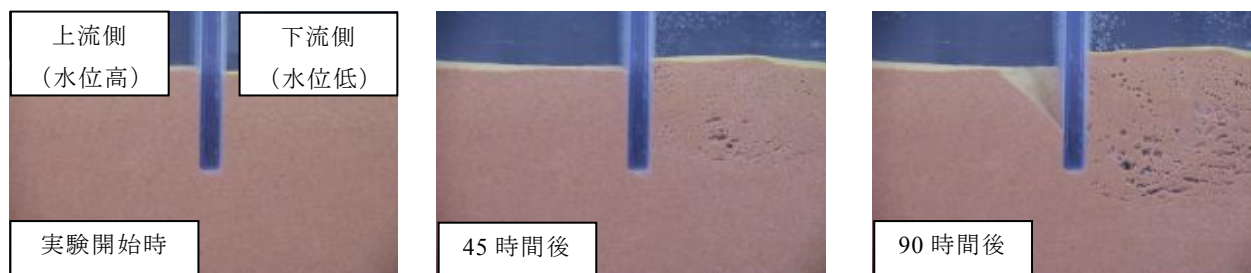


図-4 密地盤における気泡の発生・発達の様子

キーワード：浸透破壊、気泡、過飽和、連成、PIV、局所破壊

〒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 232 号室 電話・FAX:052-735-5497

さらに、数個の大きな気泡に着目し、気泡が発生してから発達後に地盤内から飛び出すまでの気泡上下の速度ベクトルの変化の様子を調べる。図-5は図-4の実験におけるPIV解析結果の一例である。本報告では図中の気泡(A)-(B)について着目し、それぞれの気泡が発生してから地盤外に放出されるまでの気泡上下の地盤の動きの観察結果を記す。図-6の (α) -(β)は気泡(A)の拡大図で、画像(β)は画像(α)の15分後の状態を示す。図中のベクトルの大きさは速度の大きさを表し、約3.3mm/hである。画像(α)では気泡の上方にのみベクトルが現れており、15分後の画像(β)では点線丸囲いの気泡がやや膨張している。これは、気泡の浮力に起因すると考えられる。

また、図-7は気泡(B)の拡大画像であり、図-8は気泡(B)が発生してから地盤外に放出されるまでの気泡のすぐ上下の地盤の速度の時間変化を示している（図-7の(イ)-(ロ)は図-8の(イ)-(ロ)と対応）。図-8から、断続的かつ突発的に気泡上部の速度が非常に大きくなる時点（図-8(ロ)）が見られる。このとき気泡下部の速度は遅く、図-7(ロ)のようなベクトル分布となり気泡の上方への膨張によって引き起こされる地盤の変形と考えられる。気泡を含んだ地盤では図-6のようなベクトル分布が典型的であるが、図-8(イ)の点のように気泡の下部の速度が大きくなり、図-7(イ)のようなベクトル分布となり気泡が圧縮される。この際、気泡内の圧力は上昇すると考えられる。

図-9は図-5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、矢板の近傍だけでなく、下流側地盤の気泡が発達した付近で大きなひずみ速度（最大で $2e-001$ 程度）が発生している。これは、通常の浸透流による地盤の変形だけでなく、気泡の存在とその周辺での不均質な変形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。

2-4. 気泡の発生・発達による地盤劣化のメカニズムについて

地盤内に浸透する水が過飽和状態である場合、水中に溶け込んだ不安定な空気が水温変化などの要因で微細な気泡となって発生する^{1),2)}。観察結果から、発生した気泡は浸透流によって集まり、特に矢板の下流側（水位差の低い側）で大きな気泡に発達する。発達した気泡は下からの浸透力で圧縮と浮力によって上昇しその際周辺地盤を変形させる。変形が不均質であるため気泡周辺地盤では大きなせん断変形が発生し局所的な破壊が進行する。これが気泡の変形・発達を誘引するといえる。大きく発達した気泡は急速に上昇し、地盤内部から抜け出す。これによって地表面の沈下が生じ間隙水の流れ場に変化が生じる。これが地盤の局所破壊領域の拡大につながる。このような気泡の発達と地盤の劣化の連鎖反応が全体的な破壊を起こすと考えられる。

3. 結論

矢板を用いた浸透破壊実験から、気泡が発生しない場合には限界水位差に達すると破壊が急速に進行するが、気泡が発生する場合には例え限界水位差以下でも時間の経過とともに破壊が断続的に進行することが確かめられた。また、PIVによる画像解析も併用して地盤の変状を観察した結果、気泡の存在、変形、上昇移動によって気泡周辺の地盤に局所的かつ大きなせん断変形が発生することがわかった。したがって、気泡の発達と地盤の局所変形の連鎖反応が地盤の劣化を進行させることで、例え限界水位差以下であっても地盤全体の破壊が引き起こされることが明らかになった。

参考文献: 1) 小高猛司, 浅岡顕: 砂質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.487III-26, pp129(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.13, No.2, pp83-88(1985). 3) 坂井宏隆, 坂井守, 前田健一: 気泡の発生・発達に着目した矢板まわりの浸透破壊現象の観察とPIVによる画像解析, 第40回地盤工学研究発表会講演集, pp1321-1322(2005).

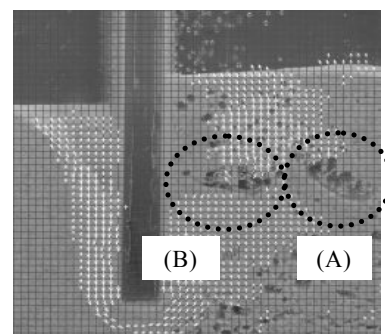


図-5 PIV 解析画像の一例

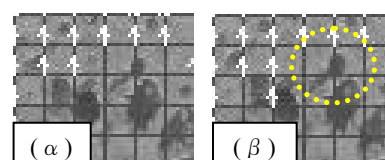


図-6 気泡(A)の拡大図

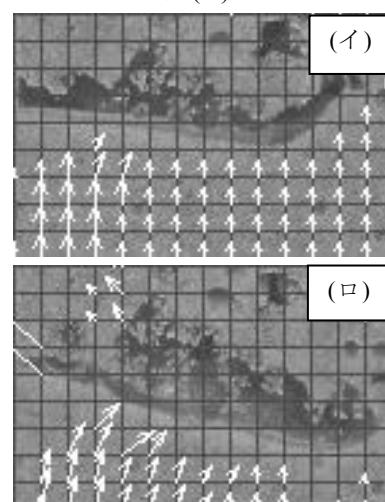


図-7 気泡(B)の拡大図

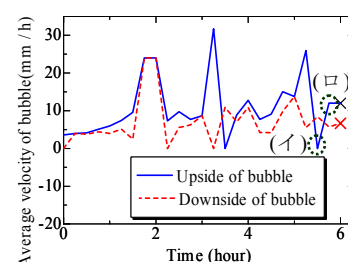


図-8 気泡(B)上下の速度変化

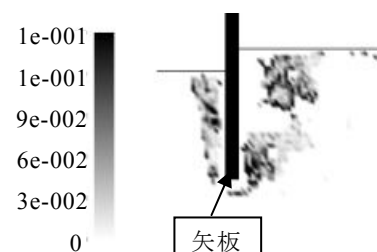


図-9 矢板周りの最大せん断ひずみ速度分布（図-5と対応）