

砂地盤の浸透破壊に及ぼす気泡の影響に関する PIV 画像解析と数値解析

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⁾。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、実験時の撮影画像を PIV (Particle Image Velocimetry: 粒子画像流速測定法) を用いて解析し、地盤の破壊過程を視覚・定量的にとらえることでそのメカニズムの解明を試みた。

また、本報告では SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法を用いた浸透破壊解析手法の提案を行い、模型実験の結果と比較することで、解析法の妥当性と可能性を検討する。

2. 模型実験と PIV 解析

一般に浸透破壊は、ある水位差（限界水位差と呼ぶ）に達すると地盤の局所変形が急速に進行して破壊するが、それ以下の水位差では安全とされている。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劣化し、長時間経過後に突如として破壊することが起こりうる。そこで、本研究では小高ら¹⁾の実験を参照し、限界水位差以下の水位差を保った状態で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 85%）のもとで破壊するまで放置した。緩および密地盤における下流側地盤上昇量の経時変化を Fig.1 に示す。今回の実験を含めた一連の実験結果³⁾から、地盤が緩く間隙水の過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。

次に、実験中にデジタルカメラで撮影した画像を PIV を用いて解析した。密地盤における解析結果の一例（矢板周りの拡大画像）を Fig.2 に示す。図中の(a)-(c)はそれぞれ Fig.1 の(a)-(c)と対応している。

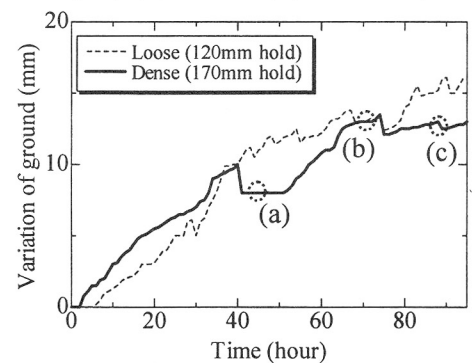


Fig.1: Variation per hour of the downstream ground.

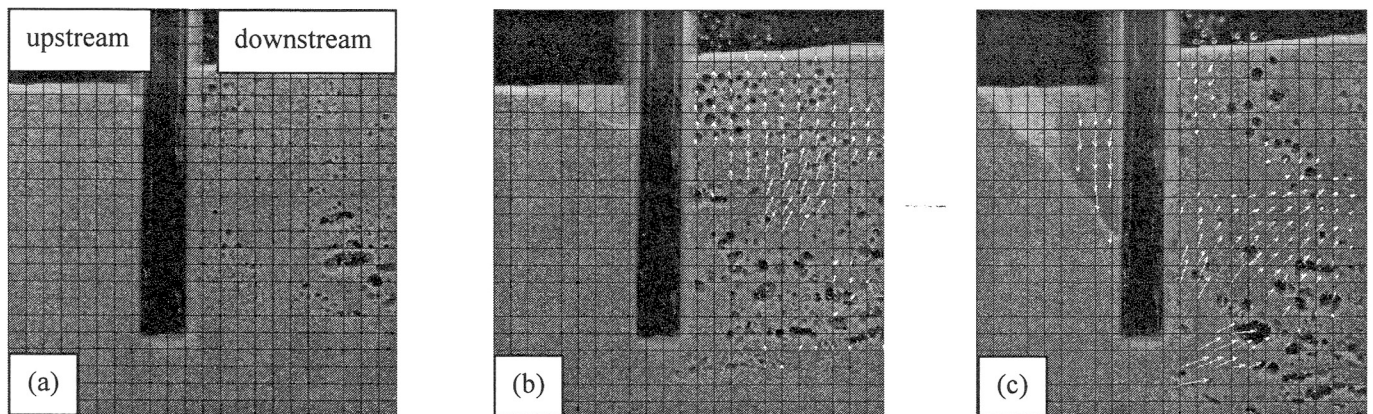


Fig.2: velocity field of ground in progressive failure with air bubbles.

通常の浸透破壊（限界水位差で急速に破壊する現象）の場合、速度ベクトルが上下流の矢板周辺に現れ始めると、その大きさは短時間に急激に大きくなり地盤が破壊する現象が観察された³⁾。一方、気泡を有する地盤の場合、下流側地盤の上昇（Fig.1 の (b) 点及び Fig.2(b)），浮力による気泡の地盤からの放出に伴う沈下 (c) と変形の停止 (a) という過程が繰り返され破壊に至った。変形が長時間をかけてゆっくりと進み、気泡の移動に伴って断続的かつ局所的に速度ベクトルが現れることが分かった。なお、緩地盤では下流側地盤の沈下が頻繁に起こったが、密地盤では沈下頻度が低く、気泡の発生や移動速度が遅いことも分かった。

3. 数値解析の概要

本研究では、メッシュフリー法の一つで宇宙物理分野から発達した SPH 法^{4),5)}を用いて、DEM などの Distinct な手法と FEM などの連続体的手法の長所を生かした手法の開発に取り組んでいる。SPH 法では連続メッシュの代わりに運動する計算粒子素片（半径 h ）を用いている。したがって、土であれば土粒子ではなく土の塊を、水は水の塊を要素とする。なお、本研究では異なる物質間の接触を考慮した密度の算定、表面張力効果の導入、固体相（土）と流体相（水および空気）との連成効果を新たに導入した⁶⁾。

4. 解析結果および考察

本研究で開発した手法による浸透破壊の解析例を Fig.3 に示す。これは砂地盤の矢板周りのパイピング現象を解析したものである。限界水位差に達すると、矢板周辺で地盤が変状し、上流側での洗掘や下流側での砂の巻き上がりを含めて浸透破壊に至る過程がよく再現されている。

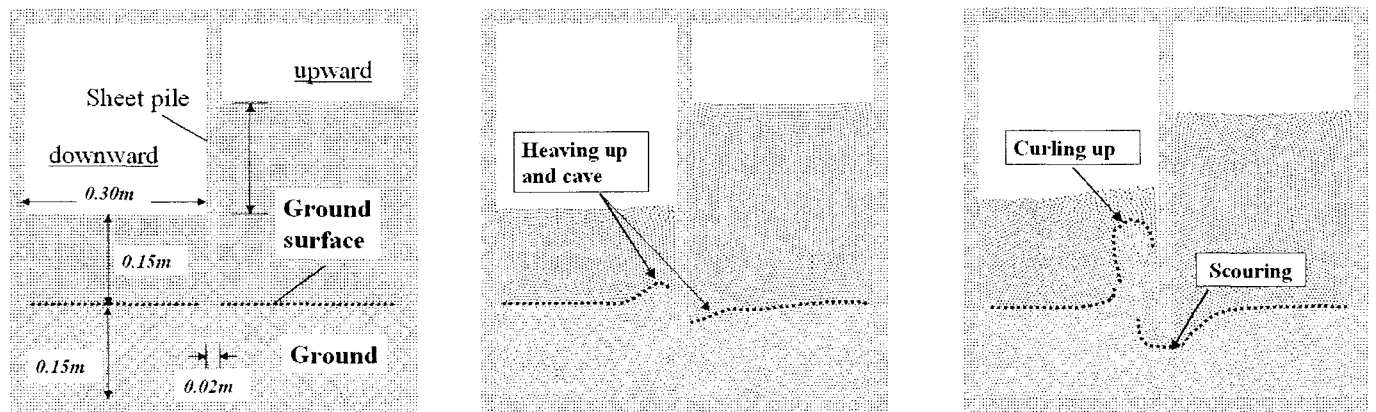


Fig.3: SPH analysis of seepage failure around sheet pile: flow from right to left.

次に、Fig.4 は地盤内に気泡が存在するときの解析結果で矢板付近を拡大表示したものである。簡単のため初期状態として図のように気泡を配置し、水位差を Fig.3 の解析結果で地盤が破壊した水位差の 6 割とした。地盤内の気泡が浮力と浸透力によって移動し、地盤が変状する様子が再現されている。このことから、固・液・気相の 3 相における破壊現象が提案手法によって表現できることが分かる。

5. おわりに

実験及び PIV による解析の結果から、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に変化を与えることが分かった。今後は地盤内の気泡の発生・発達過程と地盤内のひずみ速度との関係を検討する予定である。

また、提案する SPH 法を用いた解析手法により、固・液・気相の三相相互作用を考慮した浸透破壊の表現できることを示した。今後は気泡の発生過程のモデル化を試み、上記の実験との定量的比較および事例解析を行う予定である。

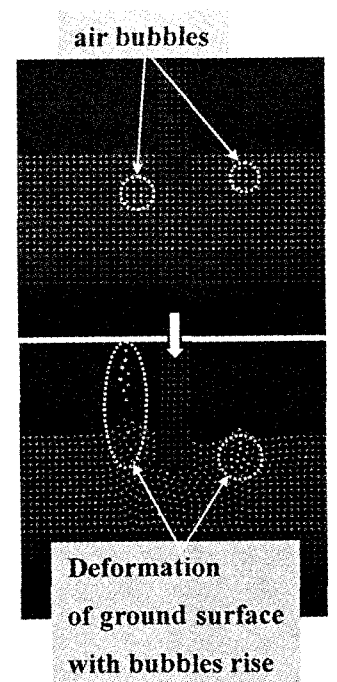


Fig.4: SPH analysis of seepage failure around sheet pile with air bubbles.

参考文献

- 1) 小高猛司, 浅岡顕, 土木学会論文集, 487/III-26, 129 (1994)
- 2) 中島保治: 土と基礎 2 月号, 83 (1985)
- 3) 坂井宏隆, 坂井守, 前田健一: 第 40 回地盤工学研究発表会講演集, 1321 (2005)
- 4) Gingold, R.A. and Monaghan, J.J: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.181, 375 (1977)
- 5) Lucy, L.B: Astronomical Journal, Vol.82, 1013 (1977)
- 6) 前田健一, 坂井守: 土木学会応用力学論文集, Vol.7, 775 (2004)