

透明砂を使ったボイリング現象の直接観察方法の検討

長岡技術科学大学 ○非会員 塩原 祐希
非会員 宇井 智章
正会員 福元 豊
正会員 大塚 悟

1. はじめに

土構造物が被害を受ける要因の一つとして内部侵食が挙げられる。内部侵食は直接的に観察することが困難であり、土の侵食や流亡を扱うための基礎的な知見がまだまだ十分ではない。そのため、通常は見えない内部侵食が発生・進行する様子を詳しく観察できる方法の研究開発が必要である。本研究では、屈折率マッチング手法 (RIMS ; Refractive Index Matching Scanning) と呼ばれる実験手法で、アクリル玉を用いた透明砂を土粒子、蛍光粒子を浮遊させたシリコンオイルを間隙流体と仮定し、レーザー断面での間隙流体の流れとボイリング現象を観察した。取得した撮影画像に対して PIV (Particle Image Velocimetry) に基づく画像解析を行うことで、ボイリング現象における浸透流と土粒子の挙動を直接観察する方法の検討を行った。

2. 透明砂の概要

内部を可視化させるために RIMS (Refractive Index Matching Scanning) という方法を用いた。RIMS とは、対象物の屈折率と対象物を浸す液体の屈折率を近づけることで、直接見えない内部の断面を観察可能とする実験手法であり、内部の観察が可能となる。この手法は、屈折率マッチング手法の他に「液浸法」もしくは「浸液透光法」とも呼ばれる。ソーダガラス球、アクリル球とシリコンオイルの組み合わせ以外では、溶解石英ガラス粒子と流動パラフィンの組み合わせなども存在する。アクリル球とソーダガラス球の屈折率マッチングの比較を行った結果¹⁾、アクリル球とシリコンオイルの組み合わせが最も透明度が高くなる結果となった。

3. 浸透流の模型実験

(1) 実験装置

実験装置実験装置を図-1 に示す。直方体 (内寸: 縦 80mm, 横 80mm, 高さ 295mm) の透明のアクリル製容器、一定流量ポンプ、上部給水タンク、循環用タンク、PIV レーザー、高速度カメラの 6 つの部分により構成されている。アクリル製容器内には、土粒子と見立てたアクリル球 (比重: 1.2, 屈折率: 1.49, 直径: 5mm) を充填した。上部給水タンクにシリコンオイルを貯水し、上部給水タンク的位置を変更させることで上部給水タンクの水面とアクリル製容器内の水面において定水位 (10cm, 15cm, 20cm, 25cm の 4 パターン) を与え、圧力を変更させながらアクリル製容器と接続したチューブを用いてのアクリル製容器底部からシリコンオイルを流入し、アクリル製容器の上端部から排水用チューブを用いて循環用タンクに排水し、流量ポンプを用いて循環タンクと上部給水タンクを接続することでボイリング現象の直接観察を行った。



図-1 実験装置

(2) 実験方法

上記の実験装置を用いて、アクリル球 (比重: 1.2, 屈折率: 1.49, 直径: 8mm) とシリコンオイル (KF56A) (屈折率: 1.50) を使用し、ポンプを用いてシリコンオイルを循環させることで実験を行った。図-3 のように PIV レーザーをアクリル製容器上部に設置し、ロングパスフィルター越しに高速度カメラを用いて流体の観察を行った。その後取得したデータを基に PIV 解析を用いて解析を行った。

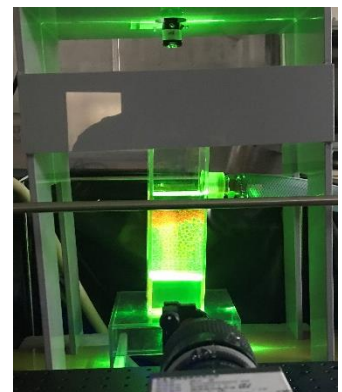
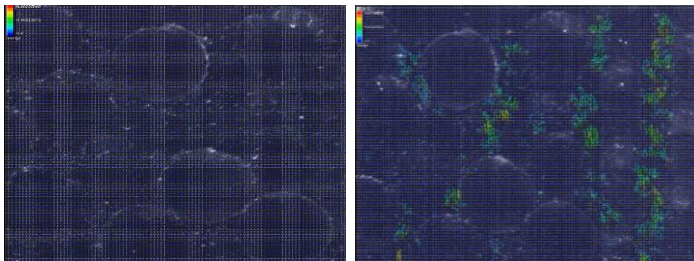


図-2 PIV レーザー

(3) 結果

PIV 解析を行った結果、図-3 のような間隙流速のベクトル図を得ることができた。水位差が 20cm 時に上向きのベクトルが若干確認され、25cm 時には顕著に確認することができた。間隙に上向きのベクトルが確認され、アクリル

球が持ち上げられ上昇した. このことからボイリング現象が生じていることが分かる. しかしボイリング現象特有の吹き上げるような顕著な挙動までは再現することができなかった. また、解析で得られた間隙流速ベクトルの大きさを頻度分布で表すと、図-4, 5のようなグラフが得られた. 既往の研究の頻度分布²⁾と本実験から得られた頻度分布を比較すると、図-4の場合頻度分布のピークが0と1の間にあるという点で共通していることがわかった. また、図-5では、図が左右対称でピーク値が0付近にあるという点で類似している. 以上のことから本実験の実験材料と実験方法によって既往の研究と同様の結果が得られ、浸透流の直接観察を行うことができた.



a) 水位さ 10cm b) 水位さ 25cm

図-3 ベクトル図

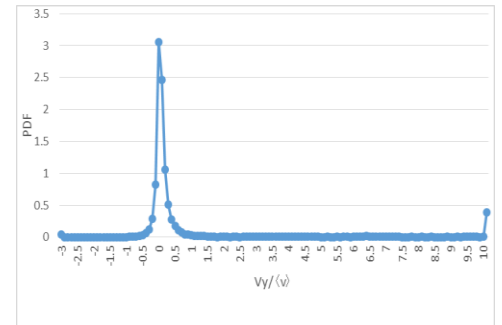


図-4 水平方向流速の頻度

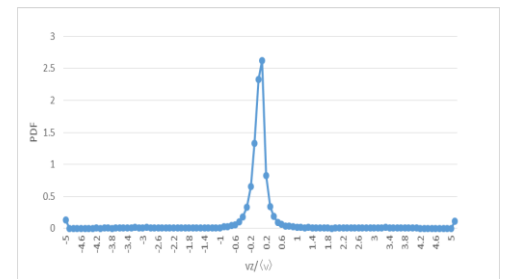


図-5 鉛直方向流速の頻度

4. 着色したアクリル球を用いた土粒子挙動の直接観察方法の検討

上記の結果を踏まえて下記の条件でボイリング現象の観察実験を行った. 実験装置は上記のものと同様のものを使用し、アクリル製容器内にアクリル球(比重: 1.2, 屈折率: 1.49, 直径: 5mm)を充填する際に、10粒を無作為に取り出し青色に着色させた. 上記の研究ではPIVレーザーを用いて直接的な観察を行ったが、本試験では着色したアクリル球の追跡を目的としレーザーは使用しないものとした. ロングパスフィルター越しに高速度カメラを用いて流体の観察を行った. 撮影結果を図-6に示す. 白く見える部分が着色したアクリル球である. これにより直接的に粒子の挙動を観察することができた. しかし、ボイリングの影響を明確に確認することはできなかった. 今後の課題として、ボイリングによる土粒子の挙動をより明確にする必要があると感じた. 本研究の詳細な結果に関してはここでは割愛させていただく.

5. まとめ

以上の検討の結果、本実験の実験材料と実験方法により、ボイリング現象における浸透流と土粒子の挙動を直接観察することができた. 浸透流においては、引き続き様々なパターンにおける変化を観察していきたい. しかし、土粒子挙動においては挙動を明確にする必要があるため、より詳細な条件で実験を行っていきたい.

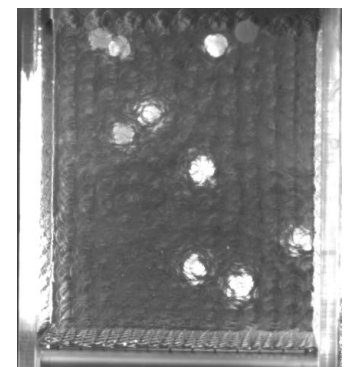


図-6 試験の様子

参考文献

- 1) 宇井智章, 清野 颯, 福元 豊, 大塚 悟: 屈折率マッチング手法による地盤中の間隙流速の直接計測, 第35回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, 2017.
- 2) Remi Beguin, Pierre Philippe and Yves-Henri Faure: Pore-Scale Flow Measurements at the Interface between a Sandy Layer and a Model Porous Medium: Application to Statistical Modeling of Contact Erosion, Journal of Hydraulic Engineering, 139(1): 1-11, 2013.
- 3) 福元 豊, 宇井智章, 清野 颯, 大塚 悟: 土骨格中の浸透流の直接的観察手法の検討その2: 模型実験と数値解析の比較, 第53回地盤工学研究発表会, 2018.