

III-40

LAT-PIV を用いた粒子一流体系の微視的計測

八戸工業大学 学生会員 ○外崎 歩
八戸工業大学 正会員 金子賢治
八戸工業大学 フェロー 熊谷浩二

1. はじめに

地盤工学分野では、地盤は連続体として取り扱われているが、実際には砂や礫などの不規則で複雑な形状の粒子の集合体である。液状化や土砂流動、ボイリング、浸透破壊などの現象を的確に理解するには粒子と流体の相互作用を詳細に観察・検討しなければならない。しかし、観察法が限定され、粒子挙動と流体速度などを同時に計測するのは非常に難しい。本研究ではLAT-PIV法¹⁾を用いた計測システムを確立し、これを用いてボイリングに伴う矢板の浸透破壊現象における粒子と流体の挙動を同時に観察・計測することを試みる。粒子一流体系の粒子部分には粒状体の可視化実験手法の一つであるLAT (Laser Aided Tomography) を使い、間隙流体部分には流体力学の分野で多く用いられるPIV (Particle Image Velocimetry) を用いて計測する。

2. LAT-PIV 計測手法

図-1 に LAT-PIV 計測のシステムの概略を示す。LAT と PIV を用いた計測手法は、粒状体内部を可視化することを目的として開発されたLATと、流体力学の分野でよく用いられる可視化手法PIVを併用する手法である。LATでは光学ガラスを粉碎し、ガラス粒子を用いて粒子集合体を作るが、PIVを併用して計測を行うため間隙をガラス粒子と同じ屈折率を持つ流体で満たして実験を行う。ガラス粒子の屈折率と等しい間隙流体は2種類のシリコンオイル（信越シリコン、HIVAC-F-4およびKF-56）を重量比約2:5で混合して作成する。自然可視光のもとでは、ガラス粒子は目視により確認できないが、シート状にしたレーザー光を可視光として試験体に透過させると、ガラス粒子輪郭が浮かび上がる。シート状のレーザー光の方向を変えることにより、任意断面における粒子の配置状態を把握することができる。

一方、PIVでは流体中にトレーサ粒子と呼ばれる極小の粒子を無数に混入する。流体にレーザー光を通すと、シート状に存在するトレーサ粒子が光ってパターンを形成する。このパターンの変動を計測することで

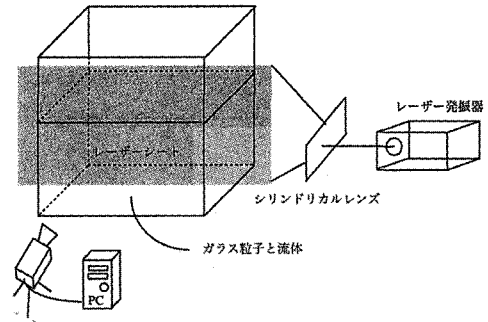


図-1 LAT-PIV 計測システムの概略

流体の速度場を求めることができる。本研究では緑色のレーザー光を用いるためトレーサ粒子は緑色のレーザーシート上で赤く発光する蛍光トレーサ粒子を使用した。本研究では通常のPIV計測で用いるトレーサをローダミン6Gを用いて赤色に着色した。試験体に照射するレーザーシートは、レーザー発振器（出力250mW、波長532nm）の線上の光（緑色）をシリンダリカルレンズに通すことにより生成する。可視化画像記憶装置には、高速モノクロCCDビデオカメラ（JAI社製TM6740CL VGA高速白黒プログレッシブスキャン）を用いた。

3. 矢板の浸透破壊実験

(1) 実験の概要

矢板の浸透破壊実験に用いた土槽の概要を図-2に示す。レーザーを通過させる面および矢板を光学ガラスで作成し、ビデオカメラで撮影する方向はアクリル板を用いた。土槽の寸法は図-2のとおりである。

ガラス粒子は粒径2.8-4.75mmを使用し、シリコンオイルを入れた後、自然落下させ試験体を作成した。土槽背面に設置したバルブからポンプにより吸引・循環させることで矢板左右の水頭差を生じさせた。間隙流体に空気が混入するとレーザー光が反射し計測が困難になるため、ポンプを始動させる際は水槽内に空気が入らないように注意する必要がある。ここでの実験においては、レーザーの出力は250mWとし、高速度カメラは1/200 f/sで撮影した。

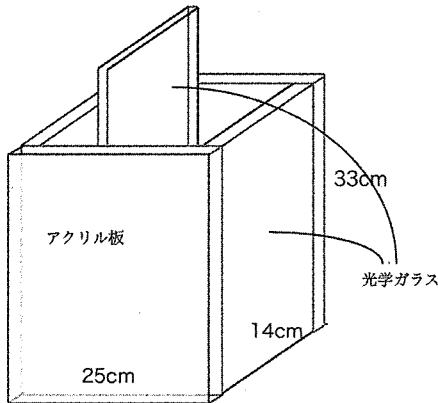


図-2 浸透破壊実験用の土槽の概要

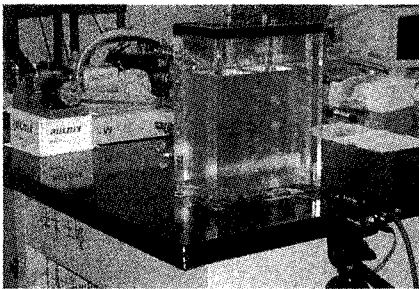
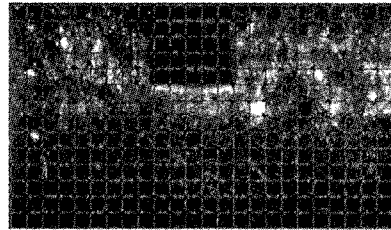


写真-1 浸透破壊実験の様子

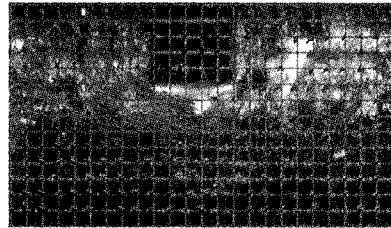
写真-1 に実際に行う前の実験の様子を示す。土槽内部の変色している部分がレーザー光が照射されている部分である。また、土槽下部にはガラス粒子が存在するが、間隙流体と屈折率がほぼ等しいため確認できない。

(2) 結果と考察

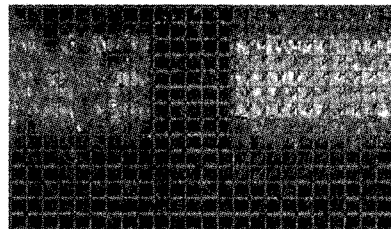
高速 CCD カメラから得られた画像に PIV 画像解析を施すことにより、矢板付近の間隙流体挙動を可視化することが可能となる。図-3 に PIV 解析により得られた結果を示す。同図 (a) は実験を開始してから 10.16 秒後の画像である。写真中のベクトルは流速ベクトルを示している。この段階ではほとんど間隙流体の動きは見られない。同図 (b) は実験開始後 10.56 秒後の画像である。間隙流体が矢板右側から左側に向けて矢板を囲むように激しく動いている。10.16 秒のときに比べ流速が大きく変化している。同図 (c) は実験開始後 13.70 秒後の画像である。試験前と比べ矢板が沈下し、間隙流体は矢板から逃げるような挙動を示している。



(a)



(b)



(c)

図-3 PIV 解析による間隙流体の運動

以上より、LAT-PIV 手法を用いて間隙流体の破壊前から破壊後までの大体の挙動は確認することができた。同時に計測している粒子の挙動は紙面の都合により掲載できないが、発表当日に示したい。

4. まとめ

本研究では、LAT-PIV 計測手法を用いて矢板の浸透破壊現象の微視的計測を試みた。間隙流体の破壊前から破壊後までの大体の挙動は確認することができたが、精密な粒子一流体系の浸透破壊現象解明には至っていない。ガラス粒子の屈折率の制御、レーザーシートの大きさや位置、高速度カメラの精度、圧力等の計測など実験装置・計測システム全般にわたりより精度を向上するための改良が必要である。また、ここで示した LAT-PIV 解析システムを液状化現象などその他の粒子一流体系の力学挙動の微視的計測に適用したい。

参考文献

- 1) 竿本英貴, 松島亘志, 山田恭央: LAT-PIV 可視化実験手法の開発と粒子一流体系への応用, 応用力学論文集, Vol. 8, 2005.