

LAT-PIV を用いた浸透破壊挙動の微視的計測と可視化

八戸工業大学 学生会員 ○逸見雄太・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ることが多いが、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・検討する必要がある。しかし、計測・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⁾を用いた粒子-流体系の微視的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運動を同時に観察・計測することを試みる。粒子-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) を用い、間隙流体部分には流体力学分野で広く用いられる PIV (Particle Image Velocimetry) を用いて計測する。

2. LAT-PIV 計測手法の概要

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、流体力学分野でよく用いられる PIV を併用する手法である。

LAT 手法において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成するが、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試験体に透過させることによりガラス粒子の輪郭が浮かび上がる。また、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ことでトレーサ粒子が光ってパターンを形成する。2枚の画像における、これらのパターンの変化を解析す

ることで流体の速度場を求めることができる。本研究で用いたトレーサ粒子は、通常の PIV 計測で用いるトレーサをローダミン 6G を用いて緑色のレーザーシート上で認識しやすい赤色に着色して用いた。

試験体に照射するレーザーシートは、レーザー発振器（最大出力 250mW、波長 532nm）の線上の光（緑色）をシリンドリカルレンズに通すことにより生成した。可視化画像記憶装置には、ハイスピードカメラ Phantom（ビジョンリサーチ社製）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計測システムの概要を図-1 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、その他の方向はアクリル板を用いた。また、上流と下流の水位差を記録するため土槽に目盛りを設置し、それをハイスピードカメラと同期させてデジタルビデオカメラにより撮影した。

本研究における実験は、4mm ふるい通過粒子 20%、4.75mm ふるい通過粒子 20%、6mm ふるい通過粒子 80%の質量比により混合した試験体を用いた。供試体は、土槽にシリコンオイルを入れた後、粒子を自然落下させて作成した。土槽背面に設置したバルブからポンプにより間隙流体を吸引・循環させることで矢板左右の水位差を生じさせた。レーザー出力は 250mW と

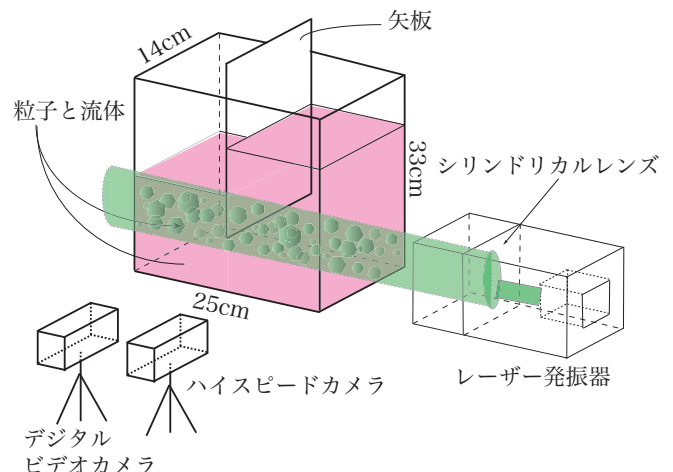


図-1 LAT-PIV 計測システムの概略

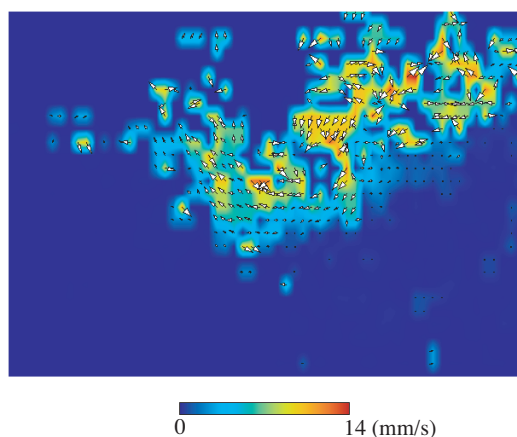


図-2 PIV 解析による間隙流体の速度分布の例

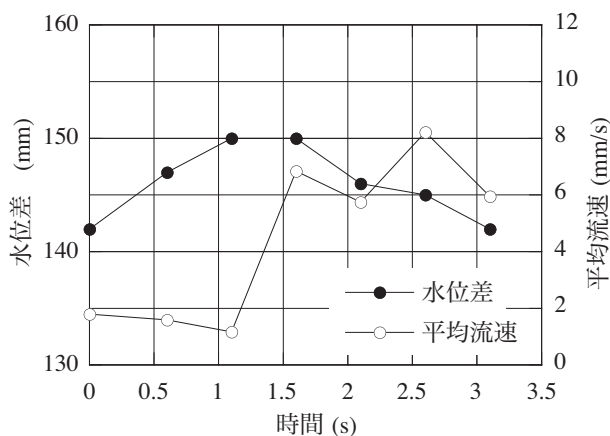


図-3 流速と水頭差のグラフ

し、ハイスピードカメラは 1/1000 f/s で撮影した。

(2) 流体運動の解析結果

図-2 に、PIV により解析した間隙流体の流速の分布の例を示す。上部中央付近に矢板が固定されていて、上流部である右側から矢板直下付近に大きな流速が観察される。このように、PIV 解析により間隙流体の速度分布が計測可能である。本研究では PIV 画像解析により算出された流速を矢板直下の $40 \times 40\text{mm}$ の微小領域に着目した。矢板直下の微小領域の平均流速と時間の関係を上下流の水位差とあわせて図-3 に示す。横軸の時間は、水頭差が約 140mm となった時間を基準として示している。同図より、水位差が徐々に増え最大になった直後に、矢板直下の平均流速が急激に大きくなるのがわかる。また、その直後に水位差は低下しているにも関わらず流速は大きい値を保ち続けている。このことから、この時に浸透破壊が生じたことがわかる。

(3) 粒子運動の解析結果

図-4 は LAT 解析により算出した粒子運動の計測例を示した。同図では、計測開始時間と終了時間の粒子

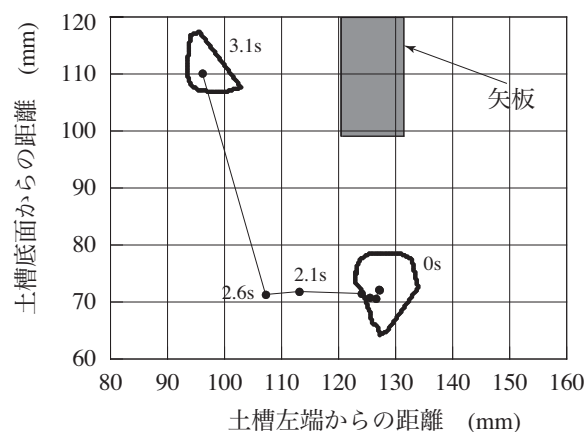


図-4 ガラス粒子の挙動

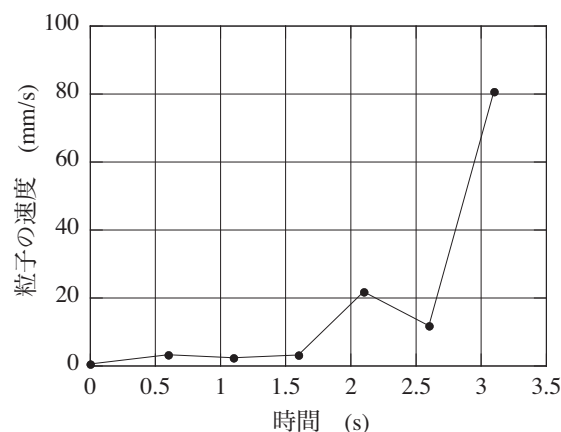


図-5 粒子の速度

は粒子輪郭を示しており、その間の時間は粒子重心の位置を表している。なお、粒子が回転してレーザーシート上に現れる粒子輪郭が変化している。浸透破壊が生じた 1.5s の後にこの粒子は水平方向に移動し、その後、2.6s～3.1s の間に鉛直方向上向きに大きく運動している。図-5 は粒子重心の速度を示したものであるが、2.6s 以降に大きな速度が現れていることがわかる。

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。間隙流体の運動と粒子運動をあわせて計測し、粒子と流体の挙動について解析結果の一例を示した。現在、ここで示した実験結果を基に多くの粒子の運動や間隙流体挙動に関する情報を解析中であり、より詳細な浸透破壊現象の解明に結びつけたいと考えている。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-流体系の力学挙動の微視的計測に適用したいと考えている。

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-流体系への応用, 応用力学論文集, Vol. 8, 2005.