

LAT-PIV を用いた液状化地盤内部の粒子および流体運動の微視的計測と可視化

八戸工業大学 学生会員 ○渡辺正樹・大久保翔太・外崎歩
八戸工業大学 正会員 矢澤一樹・金子賢治
八戸工業大学 フェロー 熊谷浩二

1. はじめに

液状化については、一般に地盤を連続体として取り扱うことで種々の研究が行われてきた。液状化地盤は基本的に土粒子と間隙水から構成されており、土粒子と間隙流体の複雑な相互作用が現象を支配するものと考えられる。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液状化現象に適用し、液状化地盤内部の粒子と流体の運動を観察・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

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を混合して作成する。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ので、これを追跡する。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。任意の時刻間の2枚画像のパターンの変動を計測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。試験体に照射するレー

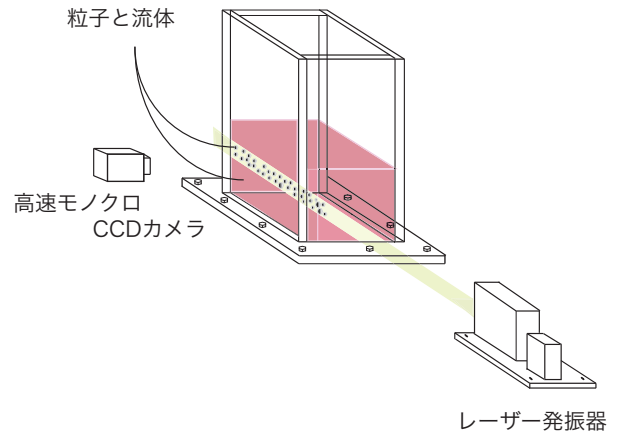


図-1 LAT-PIV 計測システムの概略

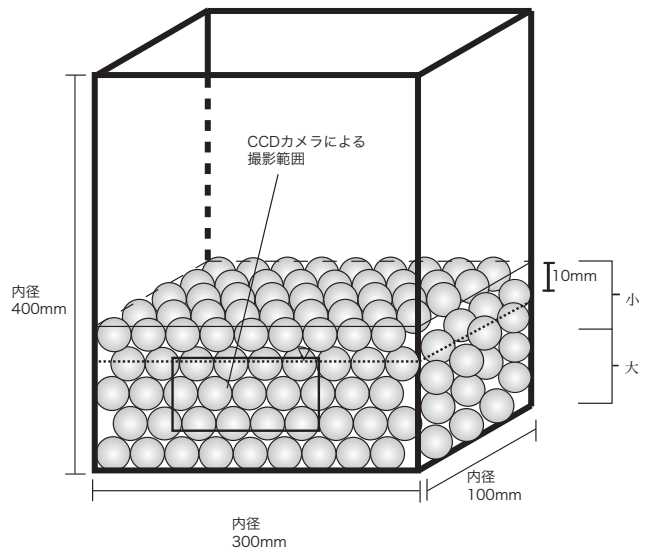


図-2 液状化実験に用いる実験モデル

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）をシリンド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 カメラ（JAI 社製 TM6740CL）を用いた。計測システムの概要を図-1 に示す。

3. 振動台を用いた液状化実験

(1) 実験の概要

図-3 に実験に使用した土槽の概略を示す。土槽のサイズは横 10cm × 縦 40cm × 奥行き 10cm であり、厚さ 1cm のアクリル板を使用して作成した。また、底面部

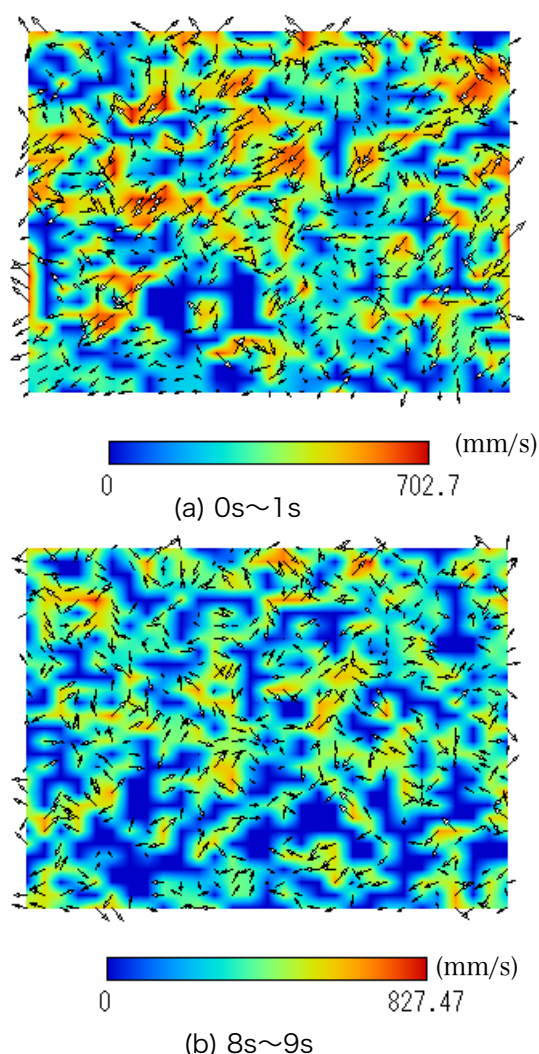


図-3 PIV 解析による間隙流体の運動

分には振動台に設置するため土槽の壁面より 10cm 大きく、その部分にボルトを用いて振動台に取り付けた。本文での実験には、振幅 10mm で振動数 5Hz の sin 波を用いて 20 秒間加振した。レーザー発振器および高速モノクロ CCD カメラは加振時に不要な振動が加わらないように振動台と剛結した。土槽に入れるガラス粒子は粒径 4.75mm～6.00mm とし、間隙流体として使用するシリコンオイルを土槽に入れた後、液体中を自由落下させて地盤モデルを作成した。また、地表面付近には小さいガラス粒子を配置した。レーザーの出力は 250mW とし、ハイスピードカメラは 250 フレーム/秒で撮影した。

(2) 実験結果

図-3 に PIV により解析した間隙流体の流速の分布の例を示す。同図 (a) は測定開始直後から 1s 後の間の流速分布、(b) は 8s から 9s の間の流速分布を表している。PIV 画像解析は時刻の異なる 2 枚の画像からパ

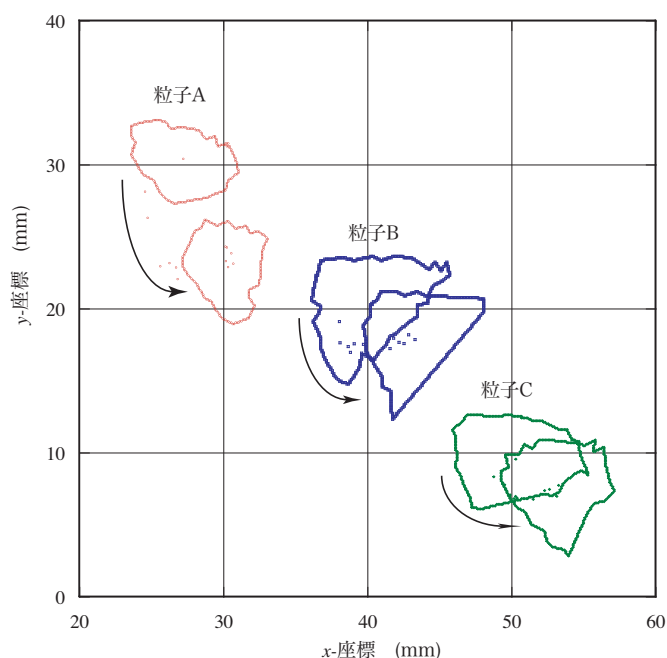


図-4 LAT 解析による粒子の運動

ターンマッチングを行いある領域の平均流速を算出するが、振動数が 5Hz なのでここで計測した 2 枚の画像の間には 5 回の波が入力されている。加振直後と比べ、8s～9s 後の方が最大の流速が大きくなっている。

図-4 に LAT により解析した固体粒子の位置を示す。振動開始時点と振動開始から 19s 後は粒子輪郭を示しており、1s 間隔で計測しているその他の時刻の粒子はその重心のみをプロットしている。ここで計測した 3 つの粒子全てが振動が加わるにより徐々に下方向に移動していく様子がわかる。

現時点では実験により取得した画像の解析が終わっていないため、液状化現象に関する粒子と流体の運動について詳細に検討することはできないが、LAT-PIV 解析手法により液状化地盤内部の粒子と流体の微視的な挙動が追跡可能であると思われる。

4. まとめ

本研究では、LAT-PIV 計測手法を液状化問題に適用した。振動台に模型土槽およびレーザー発信器、CCD カメラを剛結し振動実験を行うことで液状化地盤内部の画像を取得し、それらを用いて流体と粒子の運動を解析した。現在、実験および計測・解析を継続中であり、詳細な考察は発表会当日に行いたい。

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-流体系への応用, 応用力学論文集, Vol. 8, 2005.