

浸透破壊時の粒子と流体の相互作用 に関する微視的考察

八戸工業大学
八戸工業大学大学院
八戸工業大学
八戸工業大学

学生会員
学生会員
正会員
フェロー会員

佐藤雄太・鈴木大輔
立花大地
金子賢治
熊谷浩二

1. はじめに

粒子-流体は土木工学のみならず様々な分野で研究されており、地盤工学では液状化、土砂流動、ボイリングなどがこれに当てはまる。これら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、粒子と流体の挙動などを同時に計測するのは非常に難しく、それらの力学的相互作用はまだ明らかにはなっていないのが現状である。

浸透破壊現象に対する研究は流速や動水勾配を計測する等、巨視的な視点によるものがほとんどである（例えば、文献1））。本研究ではLAT-PIV手法¹⁾を用いてボイリングに伴う浸透破壊現象に適用し、粒子と流体の挙動を微視的に観察・計測する。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 計測手法の概要

LAT と PIV を用いた計測手法は、粒子と流体の運動を同時に計測するために、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のPIVを併用する手法である。光学ガラスを粉碎した固体粒子により粒子集合体を作成し、液体部分には光学ガラスと等しい屈折率をもつ間隙流体を2種類のシリコンオイルを調合して用いる。流体と固体粒子の屈折率が等しいため、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、シート状にした波長532nmの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り、任意断面での粒子状態を把握できる。一方、PIV解析では流体中にトレーサーと呼ばれる極小の粒子を無数に混入する。このトレーサー粒子がレーザーにより発光する。任意の時間間隔における2枚の画像の25pixel × 25pixel程度の微小領域の輝度パターンを比較することで微小領域の流体の速度を計算する。

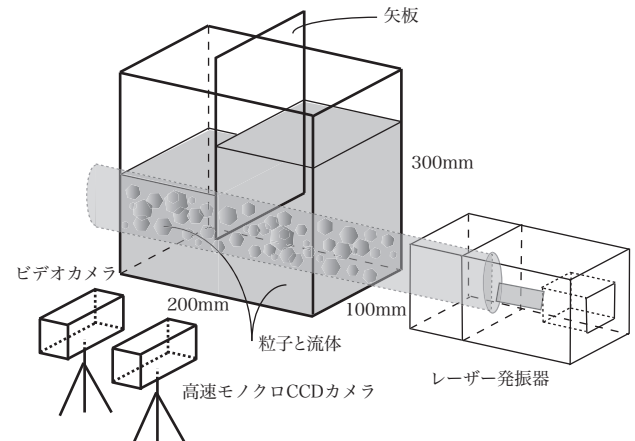


図-1 浸透破壊実験の概略図

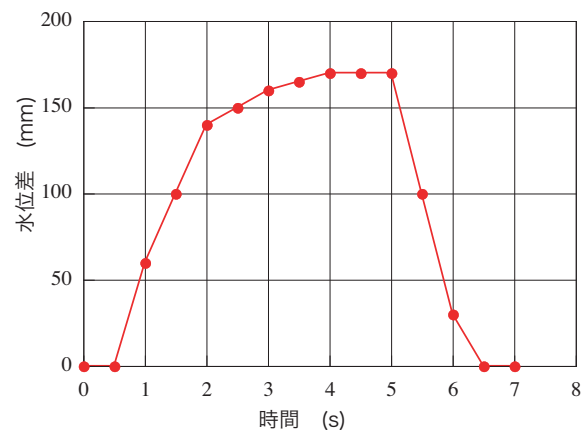


図-2 計測時間と水位差の関係

3. 矢板の浸透破壊実験

浸透破壊実験に用いた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、高速モノクロ CCD カメラで撮影する方向はアクリル板を用いた。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る。矢板両側の水位差を記録するため土槽背面に目盛を設置し、それを高速モノクロ CCD カメラの背後からデジタルビデオカメラで撮影を行った。図-2に実験により得られた計測開始からの時間と矢板の上流と下流の水位差の関係を示す。計測開始から0.5s後に水位差が上昇し始め、約5s後に最大値となり、このとき完全に地盤全体が浸透破壊を起こし

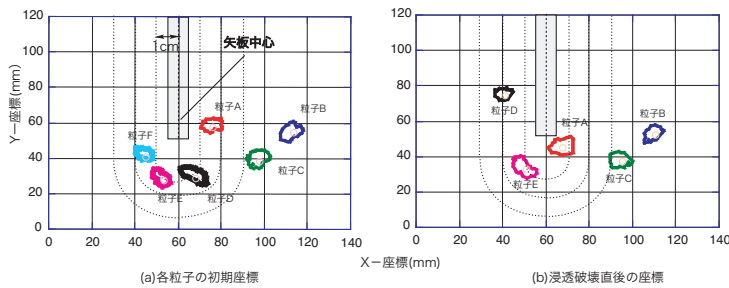


図-3 粒子運動の計測結果

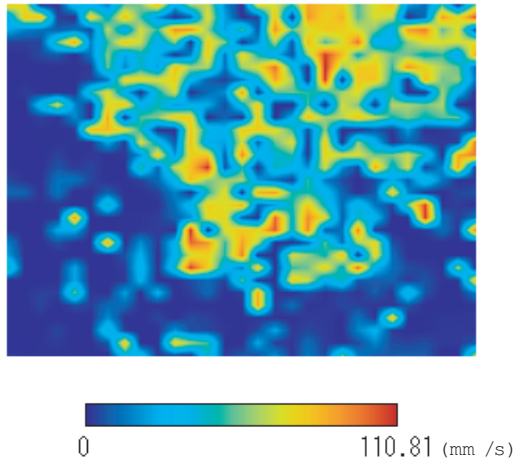


図-4 PIV 解析による流速分布解析例

たとえられる．図-3 および図-4 に粒子および流体の微視的計測結果の例を示す．このように LAT-PIV 解析手法により，各時刻における粒子と流体の運動が同時に計測される．

4. 浸透破壊現象の考察

ここでは，前節で示した LAT-PIV 手法を用いて計測された水位差や粒子の変位，微小領域の間隙流体の流速などのデータを用いて，浸透破壊現象について考察する．ここでは，図-3 に示した矢板下流側の矢板付近の粒子 G に着目する．粒子 G は浸透破壊時に鉛直方向上向きに移動しているのので，ここでは，粒子 G に作用する鉛直方向の力の釣り合いを考える．粒子 G に作用する上向きの力は，浮力 B と液体の速度による抗力 F_d であり，それぞれ次式で表される．

$$B = w \cdot V \quad (1)$$

$$F_d = \rho U^2 C_D A / 2 \quad (2)$$

ここで，ここで w は流体の単位重量， ρ は流体の密度， U は流速， C_D は抗力係数， A は粒子の流れの方向に垂直な断面積， V は粒子の体積である．また，これらの力に抵抗する下向きの力は，粒子 G はほぼ地表面にあるので静水圧と粒子間の摩擦力であるが，ここでは

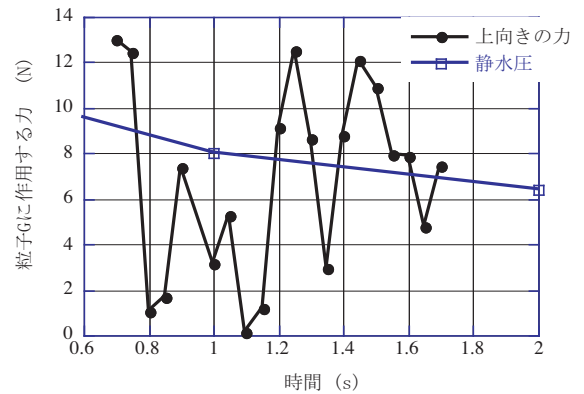


図-5 粒子 G に作用する力

摩擦力は無視することとした．粒子に作用する静水圧は次式により表される．

$$P = w \cdot h_G \cdot A \quad (3)$$

ここで， h_G は水面から物体までの距離である．

なお，ここでは，粒子 G を粒径を直径とする球と仮定し体積および面積を計算する．流体の単位重量等は間隙流体として使用したオイルの値を用い， h_G は計測の結果得られた値を使用して計算する．また，抗力係数 C_D はレイノルズ数 Re により変化する値であり，計測された流速とオイルの動粘性係数，粒子の直径を用いて算出した．上向きの流速 U は，PIV 画像解析により得られた粒子 G 下側の微小領域の流速を用いた．

上記のようにして計算した粒子 G に作用する上向きの力と静水圧の関係を図-5 に示す．粒子 G は LAT 解析の結果，1.2s で動き始め，その後 1.7s で計測領域から上方に外れたことがわかっている．1.2s 後以降に抗力と浮力をあわせた上向きの力が静水圧より継続的に大きくなっている．全体の流速がそれほど大きくない場合にも，局所的な流速が大きくなり粒子が運動することがわかる．

5. まとめ

本研究では，LAT-PIV 解析を浸透破壊実験に適用し，粒子と流体の運動を計測した．また，微小領域の流速を用いて粒子に作用する力を計算した．しかしながら，粒子と流体の相互作用の検討については不十分であり，今後より詳細に検討し考察を行いたい．

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一流体系への応用，応用力学論文集，vol.8, 2005．
- 2) 杉井・山田・中島賢：多粒子限界流速を用いた地盤の浸透破壊メカニズムに関する研究，地盤の浸透破壊のメカニズムと評価手法に関するシンポジウム，pp.123-128., 2002.