

# 流動化した土の間隙水と土粒子の運動

## The Motion of Pore Water and Soil Particles of Fluidized Soil

Key words: Sand boil, Experiment, Sand velocity

施設機能工学分野 藤巻 真由

### 1. 目的

土の流亡によって発生する空洞化や水みちの形成などは、土構造物や地盤の主要な被害要因である。しかし、どのように空洞化や水みちの形成に至るのかはよくわかっておらず、これらの現象の予測は困難である。浸透破壊時の間隙水と土粒子の運動を把握することは、土の流亡による被害を防止・軽減し、ため池堤体などの土構造物や地盤の防災・減災に役立てることに繋がる。

ここでは、浸透破壊によってボイリングを発生させ、その時の間隙率、動水勾配、土粒子と間隙水の速度を調査し、流動化した土の間隙水と土粒子の運動を明らかにする。

### 2. 実験装置

ボイリングを発生させるために、図1に示すようなU字型の試験装置を作成した。素材には厚さ5mmの透明なアクリルを用い、断面形状は一辺90mmの正方形とした。試料には珪砂6号を用いた。この装置の中に飽和した試料を詰め、上流側に設置した貯水タンクの高さを上昇させることによりボイリングを発生させた。試験を行う前に、水温、透水係数、間隙率を測定した。ボイリングを発生させた時の間隙率、動水勾配、水と砂粒子の速度を一定時間ごとに測定した。

図1に示すように試験装置に土壌水分計と差圧計を取り付け、それぞれ間隙率と動水勾配を測定した。また、貯水タンクと試験装置の間に流量計を設置し、試験装置内の浸透流速を測定できるようにした。砂粒子速度は、PIV画像処理により計測した。

### 3. 実験手順

試験装置を脱気水で満たし、そこに試料を漏斗で流し込み左右の試料の高さが同じになるようにした。装置に詰めた試料の質量と装置の体積から初期間隙率を計算した。その後、装置と貯水タンクを接続し、装置内に通水させた。試料があふれ出ない程度に貯水タンクを上昇させ、水温と差圧計の値から初期の透水係数を測定した。透水係数の測定が終了したら、PIV画像の録画を始め、タンクを砂が動き出すまで

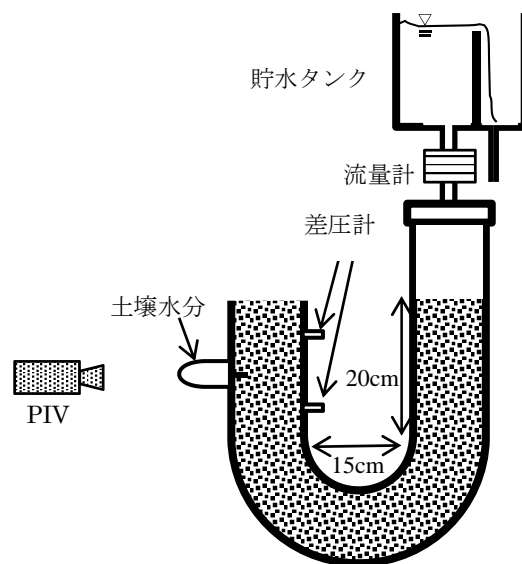


図1 実験装置の概要

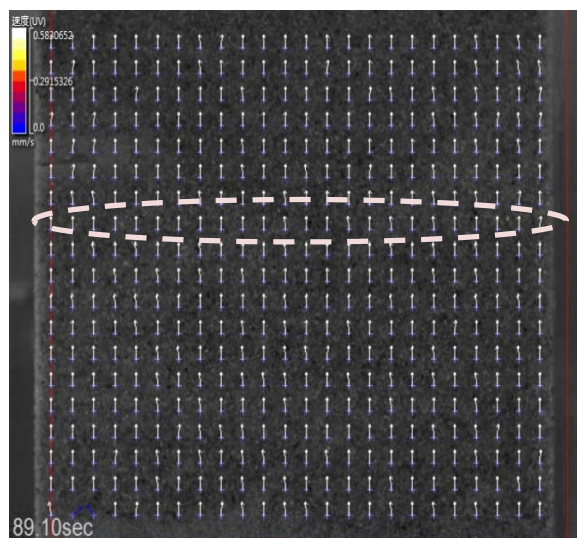


図2 PIV画像処理

さらに上昇させた。土壌水分計と差圧計は実験中測定し続け、それぞれ1秒と2秒ごとに値の記録を行った。

### 4. 実験結果

実験は複数回行い、試料が均一に流れた3回分の

解析を行った。図2にPIV画像処理による砂粒子の速度ベクトルを示す。土壌水分計に近い、円で囲った1列分の速度を平均し、砂粒子速度の測定値とする。図3に浸透流速と砂粒子速度の関係を示す。さらに、図4と5にはそれぞれ動水勾配と間隙率の時間変化を示す。次に、測定した間隙率 $n$ から式(1)を用いて透水係数 $k$ を求めた。ただし $\alpha$ は定数で、初期間隙率と初期透水係数から求められる。

$$k = \alpha \frac{n^3}{(1-n)^2} \quad (1)$$

$$v_s = v_w - \frac{k(1-n)}{n^2} \left( \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} - i \right) \quad (2)$$

式(2)は、力のつり合いから導かれる砂粒子速度の推定式である。ただし、 $v_s$ 、 $\rho_s$ 、 $\rho_w$ 、 $i$ は、それぞれ浸透流速、土粒子密度、水の密度、動水勾配である。透水係数 $k$ と間隙率 $n$ を用いて式(2)から砂粒子速度の推定値 $v_s$ を求め、PIV画像処理によって測定した砂粒子の速度と比較する。図6に砂粒子の測定値と推定値の関係を示す。図6の点は直線 $y=x$ の周りに集まっていて、式(2)で求められる砂粒子速度の推定値が測定値と精度よく一致していることがわかる。

#### 4. 結論

砂粒子速度は式(2)によって精度良く求めることができた。これにより、透水係数や動水勾配を求めることができれば、土粒子と間隙水の動きを予測することが可能となる。

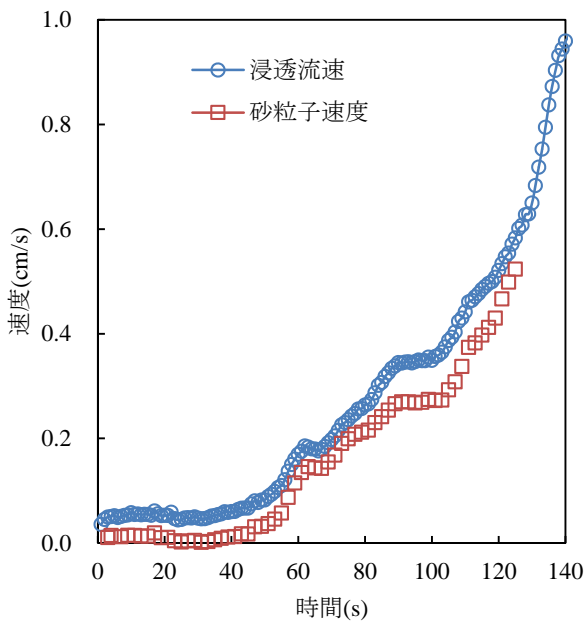


図3 浸透流速と砂粒子速度の時間変化

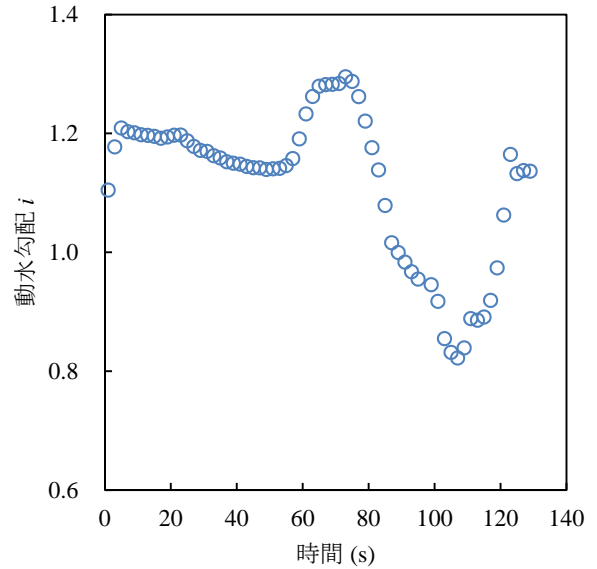


図4 動水勾配の時間変化

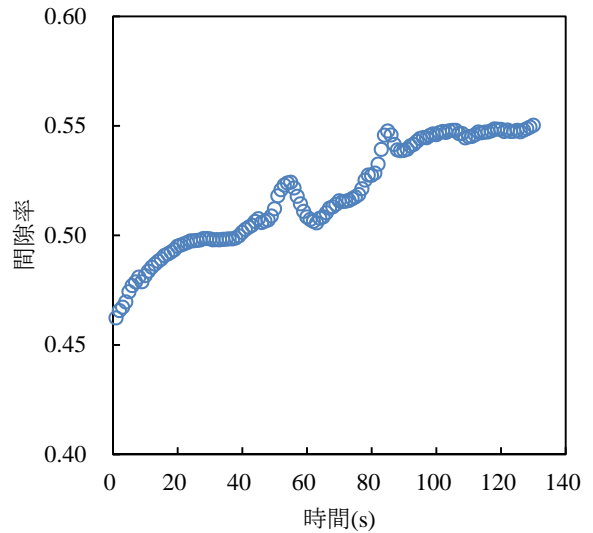


図5 間隙率の時間変化

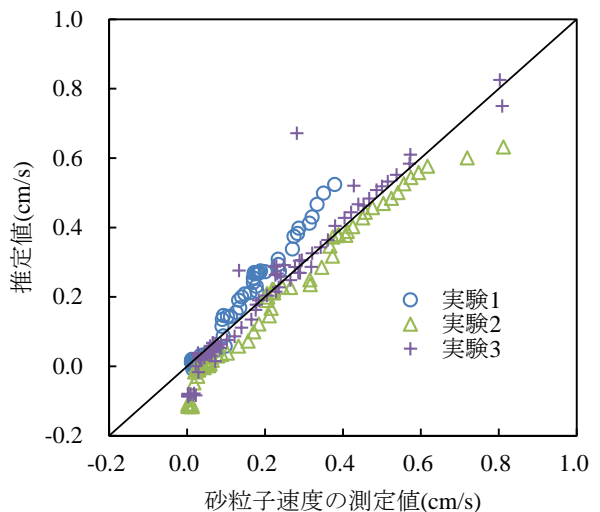


図6 土粒子速度の推定値と測定値の比較