

目詰まりによる浸透破壊の発生メカニズムに関する考察

中部大学工学部 正会員 杉井 俊夫 山田 公夫
 中部大学大学院 学生会員 名倉 晋

1.はじめに 著者らはこれまでに、ADR を用いた鉛直一次浸透破壊モデル実験を行い、全体破壊に達する以前に土試料内で間隙率の変化が測定された¹⁾。また、その現象は多粒子限界流速式²⁾を適用させ、砂層表面の変位をレーザー変位計を用いて計測することにより、以下に示す結果が得られ、砂層内部において微小な粒子の一部が下層から流出し上層で目詰まりが生じることに起因していることが言えた³⁾。本研究は、粒子移動のレベルから検証を行い、実験結果との比較検討および砂層上端からの目詰まり層厚についての検討を目的としている。

2.浸透破壊モデル実験 実験装置全体像及び砂層を上からみた平面図を図-1 に示す。試料は豊浦砂 ($G_s=2.645, D=0.1\text{mm} \sim 0.3\text{mm}$) を使用し、供試体サイズは(D)290mm × (W)290mm × (H)400mm で、乾燥密度 $\rho_d=1.5\text{g/cm}^3$ となるようにした。砂層部には間隙水圧計を3本(試料下端から0mm,140mm,260mm)とADRを3本(試料下端から80mm,200mm,320mm)設置している。ここで、水圧計と砂層上端により3層に分け、上から順に上層、中層、下層と定義する。また、砂層の表面変位を計測するために砂層上部に反射式レーザー変位計を設置した。流量以外のデータはデータロガーを介してパソコンにとり入れられるようになっている。実験の手順は(1)砂層が飽和度 100%で内部の密度が均等になるように砂層部を水で満たした後あらかじめ飽和させた

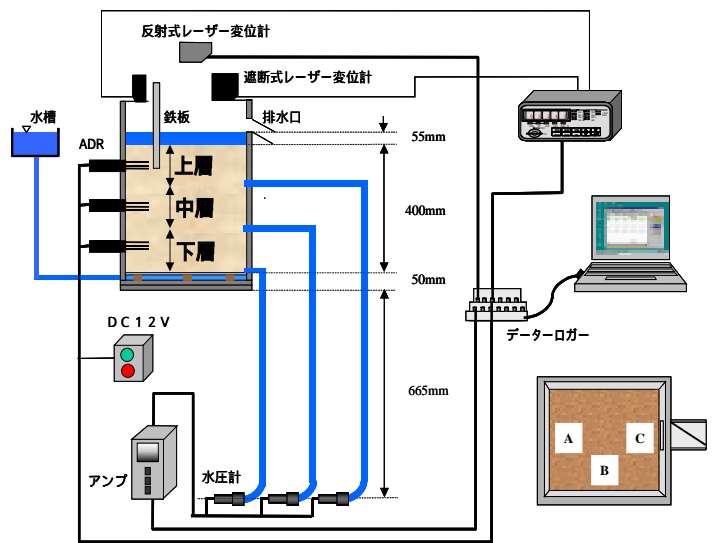


図-1 実験装置全体像及び平面図

試料を3層に分けて水中落下法により入れ各層で所定の密度をとるように締め固める。(2)試料のセットが終了した後、水位が落ち着くまで待つ。(3)水位が落ち着いたら実験を開始し、間隙率¹⁾、間隙水圧、砂層表面の変位の計測を行い、メスシリンダーを用いて排水口における流量を計測し、安定したところで水位差を上昇させる。なお、砂層表面の変位の計測については、結果の信頼性を得る為、同時計測ではないがA点、B点、C点で3パターン計測を行った。

3.多粒子限界流速式²⁾ 多粒子限界流速式は著者らによって提案された式(1)を用いた²⁾。この式は間隙率 n (-) と粒子径 d mm を与えることによって水の流れに乗って粒子径 d mm の粒子が動き出す流速が求められる式である。また $1/m'$ は粒子レイノルズ数の関数の条件式として式(2)で与えられる。

$$\text{Re} < 0.2 \text{ のとき } 1/m' = 3.65 + 19.5 \cdot d/D$$

$$0.2 < \text{Re} < 1.0 \text{ のとき } 1/m' = (4.46 + 17.6 \cdot d/D) \text{Re}^{-0.03} - 1$$

$$1.0 < \text{Re} < 500 \text{ のとき } 1/m' = 4.45 \text{Re}^{-0.1} - 1$$

$$500 < \text{Re} < 7000 \text{ のとき } 1/m' = 1.39$$

$$V_{cm}' = n^{1/m'} \frac{6\mu}{w d} \left\{ \sqrt{\frac{w(s-w)gd^3}{54\mu^2} + 1} - 1 \right\} \quad (1)$$

$$(2)$$

ここに、 V_{cm}' :多粒子限界流速(液体に対する相対速度)(cm/s), n :間隙率(-), d :粒子径(cm), g :重力加速度(cm/s^2), s :土粒子の密度(g/cm^3), w :液体の密度(g/cm^3), μ :液体の動粘性係数($\text{g/(cm}\cdot\text{s)}$), m' :液体に対する相対速度として修正した係数, Re :Reynolds 数, D :管径(cm)

4.実験結果 鉛直一次流れによる浸透破壊モデル実験の結果を図-2 に示す。ここで、図-2 は上から順に実平均流速($v = v_d/n$ v_d :ダルシー流速)が限界流速となる粒子の含有率、全体および各層における間隙率の変化量 n (-)、Trzaghi の限界動水勾配 i_{cr} と全体及び各層ごとの動水勾配、砂層の表面変位をそれぞれ経過時間に関して示したも

キーワード 浸透破壊, 間隙率の変化, 粒子移動, 実験, 解析

連絡先 〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200 中部大学工学部土木工学科杉井研究室 TEL0568-51-1111(内線 4288)

のである。本研究では砂層上端で目に見える変位がみられた時を全体破壊と定義しているため、今回の浸透破壊モデル実験においては砂層表面の変化量が大きな値を示している時を全体破壊発生としている。

砂層内部では限界流速に達する粒子が存在するときから、下層間隙率の変化がみられるが、動水勾配は Terzaghi の限界動水勾配に達していない。その後、下層及び中層が疎になるのに伴い、上層が全体破壊直前まで密となり、上層の動水勾配が Terzaghi の限界動水勾配にほぼ達したところで全体破壊が生じることが確認される。

砂層の表面変位に着目してみると、今回の実験では、砂層がもとの高さより最大で約 0.1mm 程度上昇(間隙率の計算では 1.5×10^{-4} の増加)とほとんど表面変位は生じていないものとみれる。A、B、C においても同様である。図-2(b)より下層、中層での間隙率の増加の 1/10 ~ 1/100 以下であり、表面変位はないものと判断できる。

次に、動水勾配の時間的变化に着目すると、下層の動水勾配が小さく、上層の動水勾配が最も大きな値を示していることより読み取れる。これは、下層では粒子の流出により透水係数が大きくなり、上層では流出粒子の目詰まりによって透水係数が小さくなったことに起因すると考えられる。また、図-3 は初期および全体破壊時の各層での粒度分布を計測し、それぞれの粒子径の含有率を棒グラフに示したものである。これより、径が小さい粒子は下層に比べて上の層に多い割合で存在し、逆に径の大きい粒子は下層に多い割合で存在していることが読み取れる。これより砂層内部において微小粒子が下層から流出したことの裏付けとなる。

よって、全体破壊以前の間隙率の変化は実平均流速が限界流速に達したフリーな微小粒子の一部が下層から流出した後に上層に留まることに起因し、局所的な動水勾配の上昇を示唆しているものと考えられた。

5.目詰まり層厚について 上記のことより浸透破壊は砂層上部において拘束された粒子による土塊が形成され、その部分が局所的な Terzaghi の破壊を起こすことに起因していると考えられるが、実際には目詰まり層厚、いわゆる局所動水勾配を砂層上端からどの程度の割合いで考えれば良いのかは明らかになっていないのが現状である。そこで鉛直1次浸透破壊を粒子移動の観点から検証した解析から、局所動水勾配を考えるべき砂層上端からの層厚を検討していく予定である。

参考文献 1)杉井俊夫・山田公夫・名倉晋：浸透破壊時の間隙率の変化についての一考察，土木学会中部支部研究発表概要集，pp.265-266，2003.
2)杉井俊夫・山田公夫・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，浸透破壊メカニズムと評価法に関するシンポジウム論文集，pp.123-128，2002. 3)杉井俊夫・山田公夫・名倉晋・大田耕慈：浸透破壊時の間隙率の変化と粒子移動について，土木学会中部支部研究発表会概要集，pp.261-262，2004.

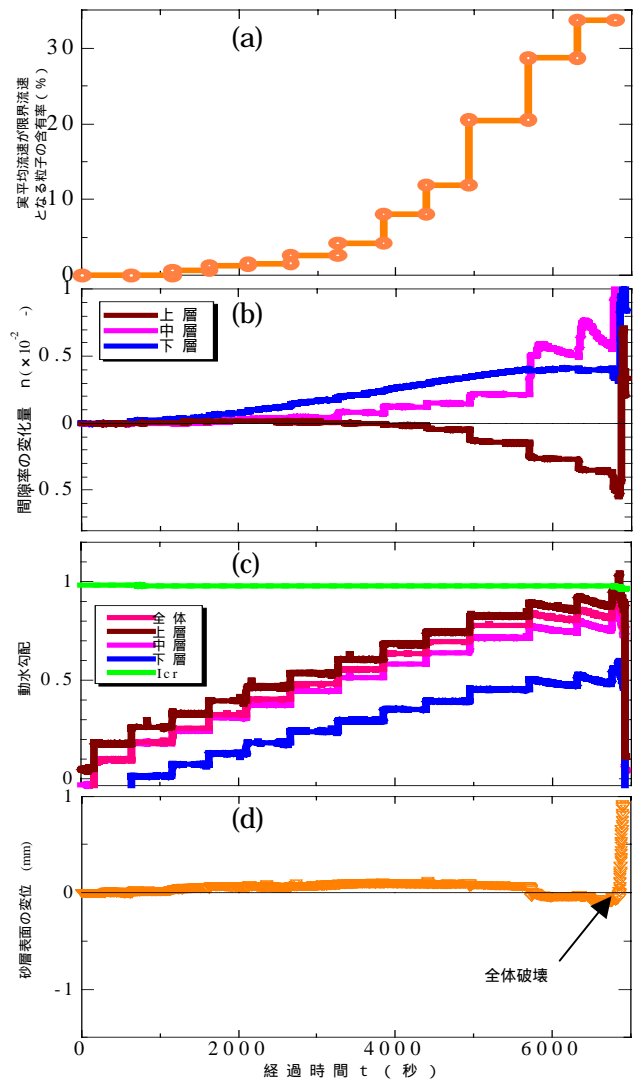


図-2 実験結果

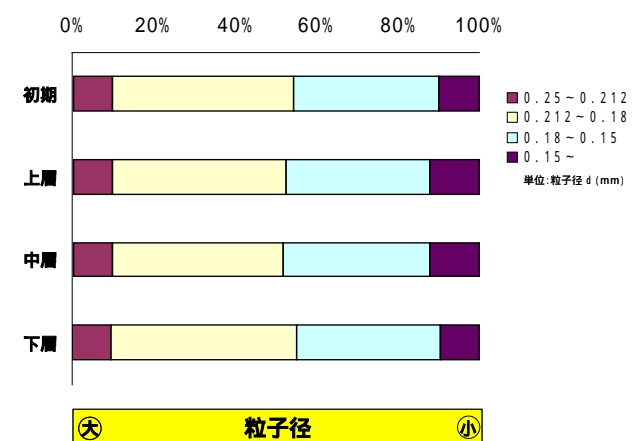


図-3 初期及び全体破壊時の各層内の粒子径別含有率