

浸透破壊時の間隙率の変化と粒子移動について

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 大田 耕慈

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ることを確認してきた¹⁾。また、その現象は杉井らの多粒子限界流速式²⁾を用いることにより、砂層内部において限界流速に達した粒子の一部が動くことに起因している可能性が高いことが考えられた³⁾。本報告は浸透破壊の発生プロセスを究明するために浸透破壊時の砂層表面の変位をレーザー変位計を用いて計測し、砂層内部の粒子移動の可能性を表面変位を含めた観点から検証するものである。

2.浸透破壊モデル実験

実験装置全体像を図-1に示す。試料は豊浦砂($G_s=2.645, D=0.1\text{mm}\sim0.3\text{mm}$)を使用し、供試体サイズは(D)290mm×(W)290mm×(H)400mm, $\rho_d=1.5\text{g/cm}^3$ 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反射式レーザー変位計を設置するとともに、上層における有効応力をみるため上層に(T)2mm×(W)11.9mm×(H)170mm, $m=45.8\text{g}$ の鉄板を立て、その浮上又は沈下量を計測するための遮断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。

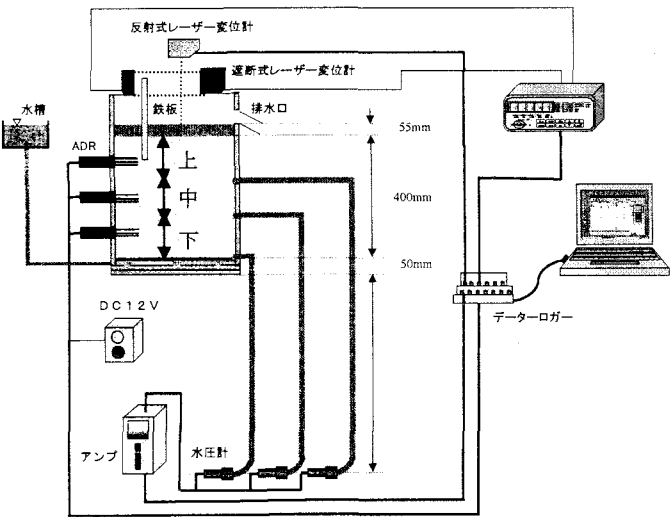


図-1 実験装置全体像

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試料を3層に分けて水中落下法により入れ各層で締め固める。(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)実験開始より間隙率¹⁾、間隙水圧、砂層表面の変位及び鉄板の浮上・沈下量の計測を行い、メスシリンダーで排水口における流量を測り、安定したところで水位差を上昇させる。

3.多粒子限界流速式²⁾

多粒子限界流速式は杉井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 $d\text{mm}$ を与えることによって水の流れに乗って粒子径 $d\text{mm}$ 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。

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

$$\begin{aligned} \text{Re} < 0.2 \text{ のとき } 1/m' &= 3.65 + 19.5 \cdot d/D \\ 0.2 < \text{Re} < 1.0 \text{ のとき } 1/m' &= (4.46 + 17.6 \cdot d/D) \text{Re}^{-0.03} - 1 \\ 1.0 < \text{Re} < 500 \text{ のとき } 1/m' &= 4.45 \text{Re}^{-0.1} - 1 \\ 500 < \text{Re} < 7000 \text{ のとき } 1/m' &= 1.39 \end{aligned} \quad (2)$$

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), ρ_s :土粒子の密度(g/cm^3), ρ_w :液体の密度(g/cm^3), μ :液体の粘性係数($\text{g/(cm}\cdot\text{s)}$), m' :液体に対する相対速度として修正した係数, Re :Reynolds数

4.結果と考察

(1)動水勾配・流速と間隙率 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は上から順に砂層内における実平均流速($v = v_d/n$, v_d :ダルシー流速)、実平均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 $\Delta n(-)$ 、Trzaghiの限界動水勾配 I_{cr} と全体及び各層ごとの動水勾配 i 、砂層の表

面変位と鉄板の浮上・沈下量をそれぞれ経過時間に関して示したものである。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B点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(A点)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(B点)ことが確認される。

(2)有効応力と密度 上層での密度の増加が始まり、鉄板が地盤内に沈んでいく(C点)が、局所的な目詰まりが生じ、浸透水圧による有効応力の減少が始まったものと考えられる。また、全体破壊以前に上層における有効応力が急激に低下していることから(D点)、地盤の支持力が著しく低下した後、時間を経て全体破壊に達する経過が明らかとなった。

(3)表面変位と間隙率 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 程度高くなっていることが読み取れる。また、今回の実験では乾燥密度 $\rho_d = 1.5 \text{ g/cm}^3$ に設定しているため、高さが 0.1mm 大きくなれば理論上砂層内部の間隙率は 0.015(-)大きくなるはずである。しかし実際の結果では、全体の間隙率の変化量がそれよりも 1 オーダー大きな値の変化を示していることより、層内部の粒子移動による間隙率の変化が生じているものと考えられる。全体破壊以前に砂層内部で起こる間隙率の変化は、いわゆる砂層内部における骨格を形成していない粒子の移動に起因していることが推察され、局所的な動水勾配の上昇の可能性を示唆しているものと考えられた。

5. おわりに

今回、鉛直一次流れによる浸透破壊時の間隙率及び砂層表面の変位を計測するとともに上層での有効応力をみることにより、砂層内部の水の流れにより骨格を形成していない粒子の一部が下層及び中層から流出することに起因して間隙率の変化が生じる可能性が大きいことがいえた。また、上層の目詰まりによる密度増加と同時に有効応力の減少が生じ、地盤の支持力が著しく低下した後にある時間を経て全体破壊に達する経過が明らかとなった。今後は目詰まり層の厚さと局所動水勾配の関係について調べていく予定である。

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. 265-266，2002。
- 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：浸透破壊時の間隙率の変化と多粒子限界流速式との関係，土木学会第 58 回年次学術講演会，pp. 823-824，2003。

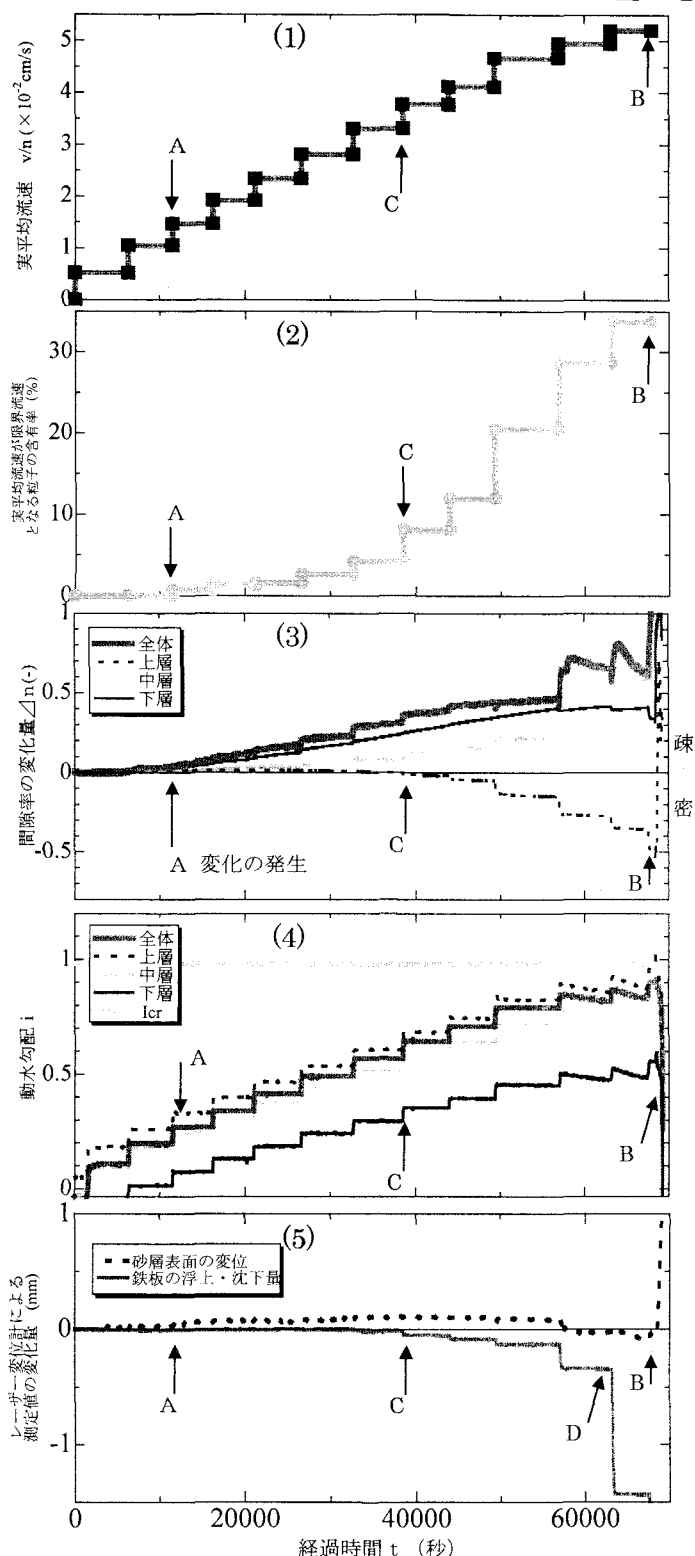


図-2 実験結果