

浸透時の砂層内の不安定性と浸透破壊の発生に関する考察

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を測定してきた¹⁾。その現象は、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可能性が得られた³⁾。本報告は、流速に対して動きうる粒子を多粒子限界流速式で、また粒子の流出の可能性を Kenneyらの式⁴⁾を用いることにより、目詰まりの可能性について試算を試み、局所動水勾配の考え方の必要性について検討している。

2. 浸透破壊モデル実験 著者らはこれまでに図-1 に示す実験装置により珪砂4号~8号を混合した混合砂(D=0.038mm~2mm)を用いて浸透破壊時の間隙率の変化を3点で計測してきた((D)290mm×(W)290mm×(H)400mm、間隙水圧計0mm,140mm,260mm、各層の中心にADR(間隙率測定))。混合砂の粒度分布を図-2に、試験結果を図-3にそれぞれ示す。図-3は上から各層内における間隙率の変化量 Δn (-)、全体及び各層ごとの動水勾配*i*と Terzaghi の限界動水勾配 i_{cr} をそれぞれ経過時間に関して示したものである。これより、全体破壊以前に砂層内部において下層より間隙率の変化が生じ、下層及び中層が疎になるのに伴い、上層が密になる現象が見られる。また、内部の間隙率変化はレーザー変位計で計った表面変位よりも大きいことがわかり、この現象は多粒子限界流速式及び、砂層表面の変位の観点から、粒子移動により上層で目詰まりが生じていると考えることができる³⁾。

3. 砂層内の局所的な不安定性 Kenney&Lau はフィルター材料の浸透時の安定性指標として図-4のようなH/Fを提案し、 $H/F \geq 1$ は「安定」、 $H/F < 1$ は「不安定となる可能性有する」と判断している。これは、粒子径Dが骨格となって形成しうる間隙のくびれ(Constriction:間隙径でなく連続する管径に近い)は約 $0.25 \times D$ となり、その径より小さな粒子がフィルター材から流出することを幾何学的に計算し、実験により

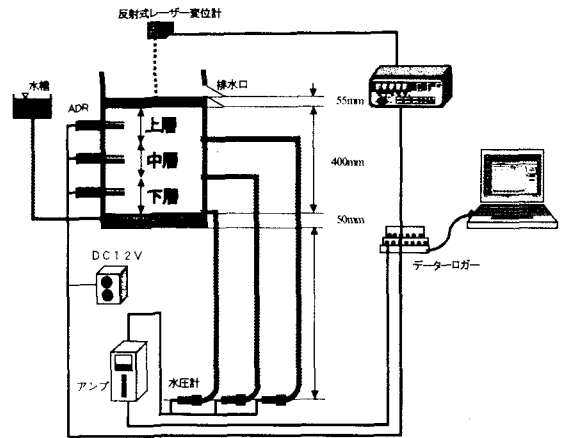


図-1 実験装置全体像

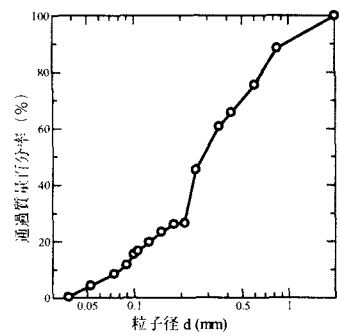


図-2 混合砂の粒度分布図

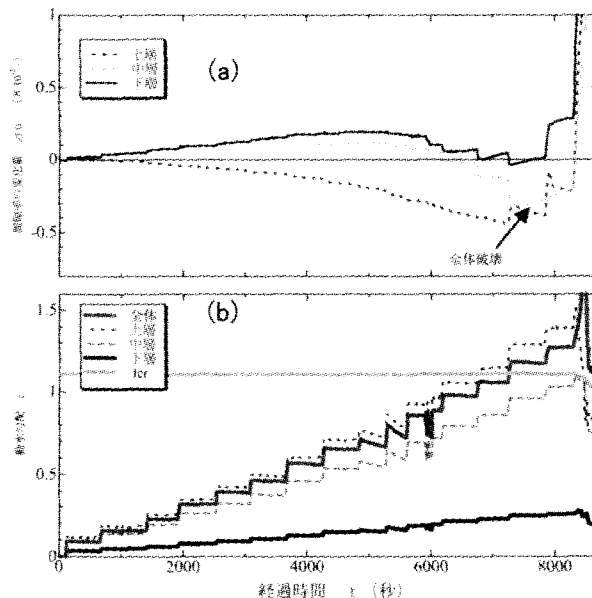


図-3 混合砂層における実験結果

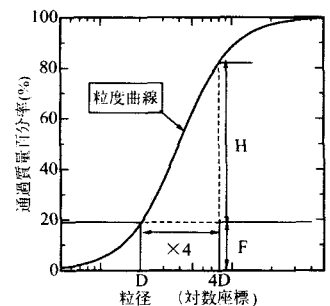


図-4 FとHの考え方

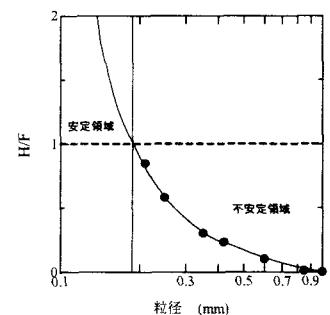


図-5 H/Fによる安定性の判断

実証したものである。しかし、本指標は、粒度分布からのみの判断基準であり、粒子移動のエネルギーとなる流速については考慮されておらず、不安定となる可能性を示しているに過ぎない。そこで、今回、著者らの提案する多粒子限界流速を適用することを考えた。すなわち、Kenneyらの式で不安定性にある粒子群の中で、移動が始まる粒子を多粒子限界流速で計算し、想定する層内からの流出および層内に保持(間隙内に捕獲)の両者について検討することとした。多粒子限界流速式は式(1)を用い、

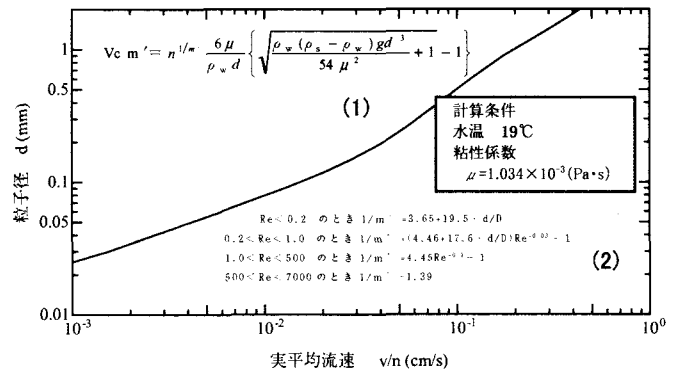


図-6 多粒子限界流速

図-2 の粒度分布に対する多粒子限界流速式を図-6 に示す。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。この図より実流速 v/n のときの動きうる粒子径 d mm を求める。ここに、Vc m' : 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/s²), ρ_s : 土粒子の密度(g/cm³), ρ_w : 液体の密度(g/cm³), μ : 液体の粘性係数(Pa·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)

なお、実験での試料長さは 400 mm であるが、粒子の流出距離が不明なため、今回流出距離に関する層厚を未知のまま計算することとした。まず、砂層全体が層厚及び密度が一定な層が連なった多層地盤であると考え下の層から順に 1 層目, 2 層目, …, n 層目と定義する。砂層下端から任意の流速(鉛直上向き)を与えることにより 1 層目から順に内部的な流速が上昇して 1 つ上の層に粒子が流出すると仮定した上で、多粒子限界流速に達し移動する可能性を持ち、尚且つ Kenney の式により不安定と判別される粒子のみを任意に移動させ、目詰まり発生の確認を行うとともに透水係数の観点から目詰まり層厚の検討を行った。

4. 結果とまとめ 図-7 に左から下層から各層の計算結果を示している。砂層下端に与える実流速 0.072(cm/s) (動水勾配: 全体 0.98) 時の場合を示し、式(1)より $D \leq 0.359 \text{ mm} (=D_{fmax})$ の粒子は多粒子限界流速に達し動きうるという条件で行った。1 層目では $D > 0.245$ の粒子は不安定領域にあり、限界流速に達する $0.245 \text{ mm} < D \leq D_{fmax}$ の粒子が上の層に流出することがわかる。3 層目では $D > 0.318 \text{ mm}$ の粒子が不安定領域となるため、下層から流出してきた粒子

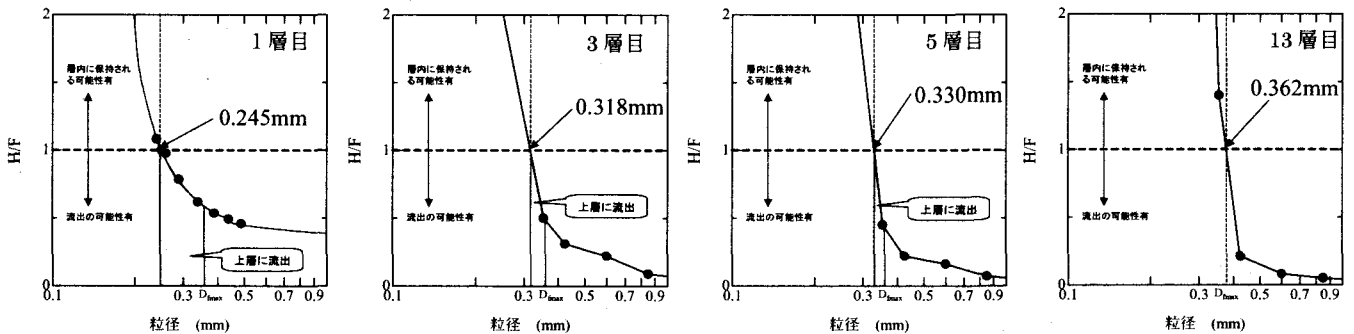


図-7 混合砂層における不安定領域の計算結果

の内、 $D \leq 0.318 \text{ mm}$ の粒子が留まり、 $0.318 \text{ mm} < D \leq D_{fmax}$ の粒子は上の層に流出するものと考えられる。同様に同じ計算を繰り返していくと、13 層目において $D \leq 0.362 \text{ mm}$ の粒子が安定領域にあることから、下層の流出粒子は全てこの層において拘束され各層の粒度分布が変化すると推察される(図-8)。実験の結果(図-3)からも、下層の動水勾配の上昇が小さく、上層部の密度が増加しており、この計算結果と同様の現象を示している。これより層内において不安定な砂試料では目詰まり現象による局所的な動水勾配が上昇する可能性があることを示唆しているものと考えられる。

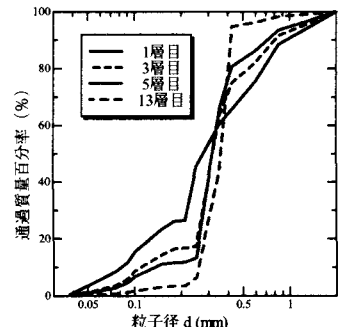


図-8 各層の粒度分布の変化

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: 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, 土木学会第 59 回年次学術講演会 CD-ROM 版要集, III-330, 2004. 4) T.C.Kenny and D.Lau: Internal stability of granular filters, CAN. GEOTECH. J., VOL. 22, 1985.