

小型二次元矢板締切り地盤の浸透破壊—試料砂の平均粒径の限界水頭差への影響— Effects of average grain sizes of test sands on critical hydraulic head differences in H2D-model tests

中村仁美*, ○田中 勉*, 永井 茂**, 前田直人*, 井上一哉*, 鈴木麻里子*

Megummi Nakamura, Tsutomu Tanaka, Shigeru Nagai, Naoto Maeta, Kazuya Inoue, Mariko Suzuki

1. 序論

地下水位の高い地点における締切り工事では地盤の浸透破壊が問題となる。浸透破壊現象にはいまだ未解明な点が多々残されている。とくに、地盤構成材料の粒径が限界水頭差 H_c に及ぼす影響については明らかにされていない。ここでは、小型二次元地盤の浸透破壊について、平均粒径 D_{50} が浸透流及び浸透破壊特性に及ぼす影響について考察する。

2. 小型二次元矢板締切り地盤の浸透破壊実験

実験装置の概略図を Fig.1 に示す。水槽本体は幅 800 mm, 高さ 800 mm の前面アクリル製のステンレス水槽である。厚さ $t=3$ mm の矢板が中央にある。図において T は上下流地盤層厚, D は矢板の上下流根入れ深さを表す。実験では、定水頭装置を用いて上流側(左側)の水位を段階的に増加させていく。実験水槽本体の背面にはピエゾメータ孔が 322 個設置されており、間隙水圧を測定することができる。

3. 実験条件

実験試料には、珪砂 56~3L 号(平均粒径 $D_{50}=0.276\sim 1.480$ mm) の 7 種類の均一砂を用いた。Table 1 に示すように D_{50} が小さいものから順に Case 1~9 とおいた(すべて、 $T=20$ cm, $D=20$ cm である)。

4. 試料の透水特性について

試料砂の動水勾配 i と流速 v の関係を求め、Darcy 則 $i = v/k$ か非ダルシー則 $i = av + bv^2$ (av : 粘性項, bv^2 : 慣性項) のどちらにしたがうかを調べた。ここでは水温 15°C (動粘性係数 $\nu = 0.01141(\text{cm}^2/\text{s})$) において、レイノルズ数 $R = D_{50} v/\nu$ と動水勾配に対する慣性項の割合 $F = bv^2/(av + bv^2)$ の関係から判定した。一次元浸透破壊実験から、 $i = 0\sim 1.0$ に対応するほぼすべての v の範囲において、珪砂 56 号, 6 号, 5 号, 4S 号では $Re < 1, F < 0.1$ でダルシー則が成り立ち、珪砂 4L 号, 3S 号, 3L 号では $Re > 10, F > 0.1$ で非ダルシーの Forchheimer 則が成り立つ。

5. 結果と考察

(1) $H-Q_{15}$ 曲線 Fig.2 に、Case 1~9 (Case 6, 8 は除く) について、水頭差 H と 15°C 時の値に換算した流量 Q_{15} の関係を示す。流量急増時以前の部分 ($H < H_d$) について、Case 4 では近似直線, Case 9 では二次の近似曲線を示している。Case 1~4

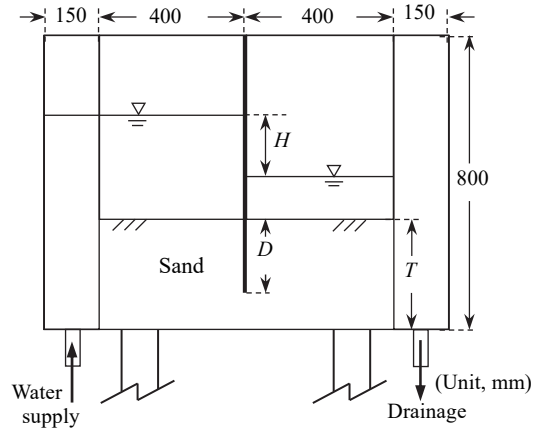


Fig 小型二次元浸透破壊実験装置

Table 1 実験ケースの条件

| Cases | Test No. | 珪砂 | D_{50} (mm) |
|--------|----------|------|---------------|
| Case 1 | E0431 | 56 号 | 0.276 |
| Case 2 | E0428 | 6 号 | 0.416 |
| Case 3 | E0414 | 5 号 | 0.588 |
| Case 4 | E0425 | 4S 号 | 0.802 |
| Case 5 | E0402 | 4L 号 | 1.01 |
| Case 6 | E0427 | 4L 号 | 1.01 |
| Case 7 | E0434 | 3S 号 | 1.11 |
| Case 8 | E0436 | 3L 号 | 1.48 |
| Case 9 | E0430 | 3L 号 | 1.48 |

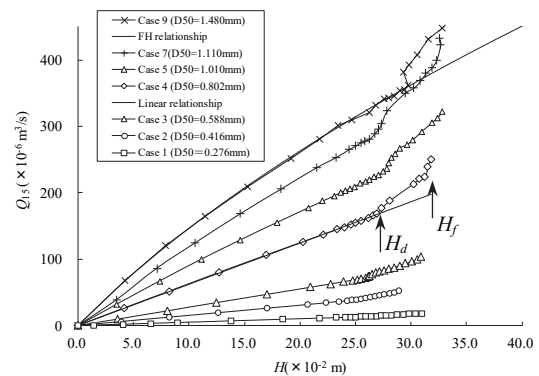


Fig.2 Case 1~9 の $H-Q_{15}$ 曲線

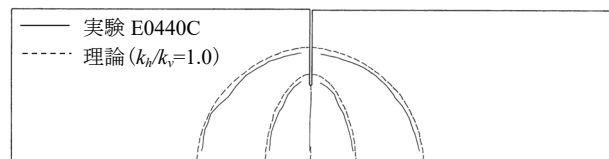


Fig.3 Case 9 (E0440) の等ポテンシャル線分布

*神戸大学 (Kobe University), **大阪市(Osaka City), キーワード: 浸透破壊, 平均粒径, 限界水頭差, 過剰間隙水圧

では線形性(Darcy 則), Case 9 では非線形性(Forchheimer 則)が認められる。Case 5, 7 は遷移領域であり線形近似してもそれほど大きな影響はないと考えられる。

(2) 等ポテンシャル線分布 Fig.3 に, Case 9 の実験と理論(等方の場合($k_h/k_v=1.0$))による等ポテンシャル線分布を示す。ここで, k_h, k_v はそれぞれ水平方向と鉛直方向の透水係数であり, その比 k_h/k_v は異方透水性の値を表す。非ダルシー地盤では矢板付近で水頭損失の割合が高いことがわかる。そこで, 矢板下流側近傍のプリズムにおける過剰間隙水圧分布について考察を行う。

(3) 矢板下流側近傍のプリズムにおける過剰間隙水圧分布 ダルシー地盤 Case 3 を基準(実線で表す)として, Fig.4 は Case 3 と Case 1(ダルシー地盤), Fig.5 は Case 3 と Case 9(非ダルシー地盤)の矢板下流側近傍のプリズム底面における過剰間隙水圧分布を示す。Figs.4, 5 より非ダルシー地盤では, 底面の過剰間隙水圧がダルシー地盤より小さくなるのがわかる(側面においても同様である)。浸透破壊性状に影響があると予想される。

(4) D_{50} と H_c の関係 Fig.6 に D_{50} と H_c の関係を示す。図において○印は H_d (流量急増時水頭差), ×印は H_f (破壊時水頭差), △印はダルシー地盤と考えたときの pfc²⁾ による理論限界水頭差を表す。Fig.6 からわかるように, H_d は, $D_{50} \leq 1.110$ mm の試料についてほぼ一定であり, また理論値に一致する。結果的に, H_c に関して, $D_{50} \leq 1.110$ mm の試料では, 粒径の影響によらず, ダルシー則で近似してもあまり影響はない(誤差 1.9%)。しかし, $D_{50} = 1.480$ mm の試料では, 急激に H_d が大きくなる。これは, D_{50} が大きい非ダルシー地盤の場合, 同一水頭差において, 非ダルシー地盤の方がダルシー地盤より, プリズムの底面に働く底面の過剰間隙水圧 u_z が小さくなり, その合力 U_e も小さくなるためだと考えられる。また, プリズム側面における過剰間隙水圧も小さくなるので, 鉛直方向の有効応力 $\sigma'_z = \sigma_z - u_z$ が大きくなり(水平方向の有効応力 $\sigma'_x = K\sigma'_z$ が大きくなり), その分プリズム側面の摩擦抵抗が大きくなる。ここに, σ_z は鉛直全応力, K は側方土圧係数である。したがって, 安全率 F_s が高くなり, 限界水頭差 H_c が大きくなると考えられる。

5. まとめ

小型二次元矢板締切り地盤の浸透破壊における試料の平均粒径 D_{50} の限界水頭差 H_c への影響について理論的・実験的に考察を行い次の結論を得た。(1) 理論限界水頭差に関して, $D_{50} \leq 1.110$ mm の試料では, ダルシー則で近似してもあまり影響はない。(2) D_{50} と H_c の関係には過剰間隙水圧の大きさが関与しており, 平均粒径が大きい場合($D_{50} = 1.480$ mm の非ダルシー地盤の場合), プリズム底面と側面の過剰間隙水圧が小さくなり安全率が高くなり, H_c が大きくなる。

参考文献

- 1) 岩井卓, 登坂博行: 単一亀裂内の非線形流れに関する実験的・解析的研究, 地下水学会誌, 45(3), pp.279-298, 2003.
- 2) 田中勉: 上昇浸透流を受ける矢板背後地盤の浸透破壊 - Prismatic failure の概念と解析結果 -, 農業土木学会論文集, 第 186 号, pp.969~979, 1996.

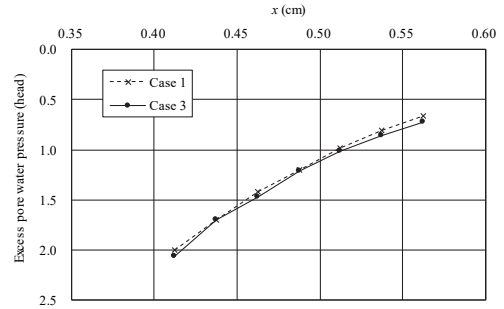


Fig.4 Case 3 と Case 1 の過剰間隙水圧分布

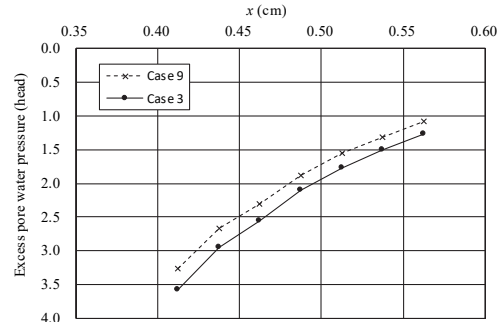


Fig.5 Case 3 と Case 9 の過剰間隙水圧分布

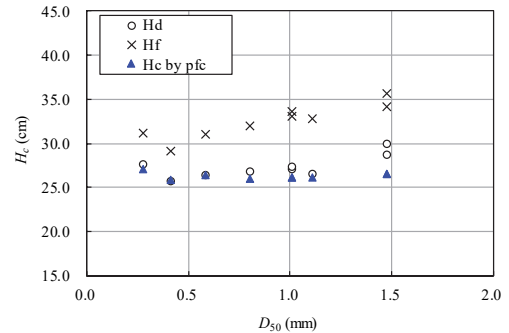


Fig.6 平均粒径 D_{50} と限界水頭差 H_c の関係