

均一な粗粒土の平均粒径が二次元浸透流及び浸透破壊特性に及ぼす影響

Effects of particle sizes of uniform coarse grain on 2D seepage-flow and seepage-failure phenomena

田中 勉*, 永井 茂**, ○廣瀬哲夫*, 三木昂史***, 前田直人*

Tsutomu Tanaka, Shigeru Nagai, Tetsuo Hirose, Takashi Miki and Naoto Maeta

1. 序論

地下水位の高い地点における掘削地盤では浸透流及びそれによる破壊が問題となる。中でも、液状化や浸透破壊は、細砂だけではなく中・粗砂や細礫などの粗い土質材料においても起こるとされている。ここでは、中砂から粗砂、細礫にわたる種々の粗粒土において、平均粒径が二次元矢板締切り地盤の浸透流及び浸透破壊特性に及ぼす影響について実験的に考察する。

2. 実験試料と装置

実験試料には細粒から粗粒へ順に珪砂 56, 6, 5, 4S, 4L, 3S, 3L号, 及び, J2号(陣屋2号)を用いた。試料は物理的性質(Table 1), 粒径加積曲線(Fig.1)のとおりいずれも均一である。ここで D_{50} は平均粒径, G_s は比重, e_{max} , e_{min} は最大, 最小間隙比である。最初の4つは中砂, 次の3つは粗砂, 8つ目は細礫に分類される。

小型二次元浸透破壊実験装置の概略図を Fig.2 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 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。各段階において、水頭差、流量、地盤形状変化等を測定する。ここでは、中密(相対密度 $D_r \approx 50\%$)の地盤について実験を行った。まず、一次元浸透流及び浸透破壊特性について考察する。

3. 一次元浸透流及び浸透破壊特性

これまで、一次元浸透破壊実験を行い、各試料について、流速 v と 動水勾配 i の関係を調べた¹⁾。地盤が破壊するまでにかけた $i = 0 \sim i_c(\text{exp})$ の各段階において、動水勾配 i と流速 v の関係を求め、Darcy 則 $i = v/k$ か Forchheimer 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。そして、レイノルズ数 $Re = D_{50}v/\nu$ と動水勾配に対する慣性項の割合 $F = bv^2/(av + bv^2)$ の値を用いて、 $F < 0.1$ 及び/または $Re < 1 \sim 10$ のとき Darcy 則にしたがうと考えた²⁾。ここに、 ν は動粘性係数である。実験的考察¹⁾から、珪砂 56, 6, 5号(すなわち $D_{50} \leq 0.588$ mm)では、 $Re < 1$,

Table 1 試料の物理的性質

珪砂	D_{50} (mm)	G_s	e_{max}	e_{min}	i_c _ratio*
56号	0.276	2.654	1.056	0.686	1.018
6号	0.416	2.641	1.097	0.801	1.023
5号	0.588	2.641	1.059	0.757	1.022
4S号	0.802	2.641	1.064	0.804	1.022
4L号	1.010	2.642	1.048	0.799	1.032
3S号	1.110	2.642	1.039	0.822	1.026
3L号	1.480	2.643	1.021	0.776	1.040
J2号	2.270	2.633	0.974	0.812	1.031

* i_c _ratio = $i_c(\text{exp})/i_c(\text{theory})$ (各試料の平均値)

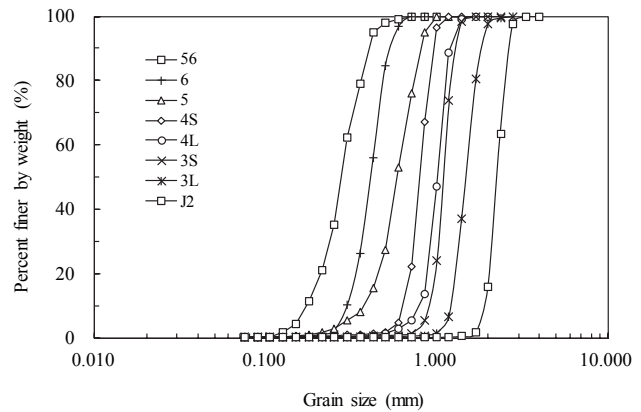


Fig.1 試料の粒径加積曲線

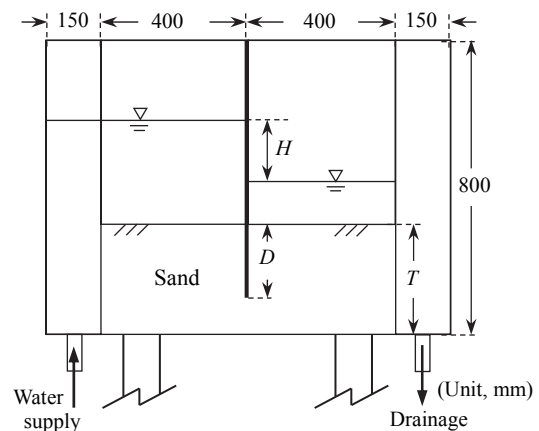


Fig.2 小型二次元浸透破壊実験装置の概略図

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

$F < 0.1$ で線形の Darcy 則が成り立ち、硅砂 3S, 3L, J2 号(すなわち $1.110 \text{ mm} \leq D_{50}$)では $R_e > 10$, $F > 0.1$ で非線形の Forchheimer 則が成り立つことがわかった。また、硅砂 4S, 4L 号(すなわち $0.802 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 1.010 \text{ mm}$)では $F < 0.1$ であるが、 $5 \sim 7 > R_e > 1$ であり、線形から非線形への遷移領域であることがわかった。また、実験による動水勾配 i_c (exp)は、粗砂や細礫などの粗粒土においても、細砂と同様、理論値 γ'/γ_w にほぼ等しいことがわかった (Table 1 の右欄参照)。ここに、 γ' , γ_w は試料の水中単位体積重量、水の単位体積重量である。

4. 二次元浸透流及び浸透破壊特性

(1) $H-Q_{15}$ 曲線 Fig.3 に、硅砂 56~J2 号に関して、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。 Q_{15} は、 H の増加につれて、流量急増時水頭差 H_d までは直線的または二次曲線的に増加していくが、 H_d を超えると急増し、破壊時水頭差 H_f に達して地盤が破壊する。流量急増以前の部分($H < H_d$)について、硅砂 4S 号では近似直線、硅砂 3L, J2 号では二次の近似曲線を示している。一次元浸透流特性に対応して、硅砂 56, 6, 5 号では線形、硅砂 3S, 3L, J2 号では非線形の関係が認められる。また、硅砂 4S, 4L 号は遷移領域であり線形近似しても問題はないと考えられる。

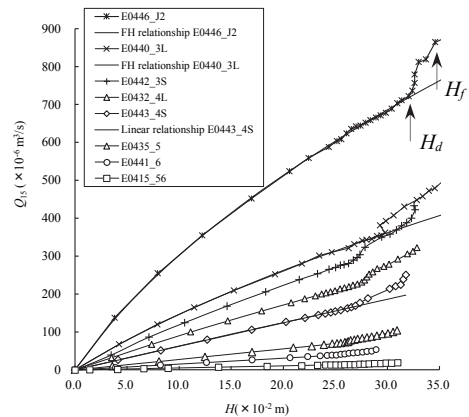


Fig. 3 硅砂 56~J2 号に関する $H-Q_{15}$ 曲線

(2) D_{50} と H_c の関係 Fig.4 に D_{50} と限界水頭差の無次元量 $H_c\gamma_w/T\gamma'$ 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 pfc^3 による理論限界水頭差 H_{PF} を表す。Fig.4 からわかるように、 $D_{50} \leq 1.110 \text{ mm}$ では、 H_d はほぼ一定であり、ダルシー地盤と考えたときの理論値 H_{PF} とほぼ等しい(誤差 1.9%)。しかし、 $D_{50} \geq 1.480 \text{ mm}$ では、ダルシー地盤と考えたときの理論値 H_{PF} より大きくなる。これは、 D_{50} が大きい非ダルシー地盤の場合、試料の内部摩擦角が大きく、また同一水頭差においてダルシー地盤よりプリズム底面と側面の過剰間隙水圧が小さいことから、プリズム側面の摩擦抵抗が大きくなるためであると考えられる⁴⁾。

5. 結論

ここでは、中砂から粗砂、細礫にわたる種々の粗粒土について、試料の平均粒径 D_{50} が二次元矢板締切り地盤の浸透流及び浸透破壊特性に及ぼす影響について実験的に考察を行い次の結論を得た。(1) $H-Q_{15}$ 曲線には一次元浸透流特性に対応して線形、非線形の関係が認められる。(2) 線形や遷移領域の透水性地盤 ($D_{50} \leq 1.110 \text{ mm}$) では、限界水頭差 H_c は、ダルシー地盤と仮定したときの H_{PF} の値とほぼ等しい。(3) 平均粒径が大きい非ダルシー地盤 ($D_{50} \geq 1.480 \text{ mm}$) では、 H_c は、ダルシー地盤と仮定したときの H_{PF} の値よりも大きくなる。

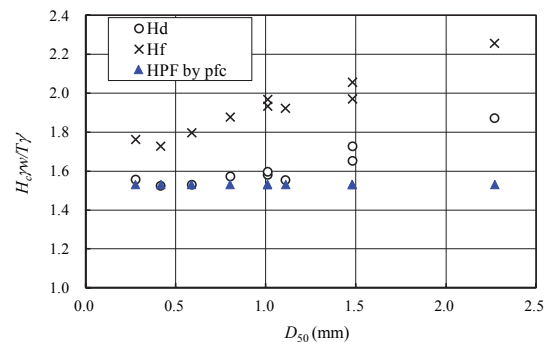


Fig.4 平均粒径 D_{50} と限界水頭差 H_c の関係

参考文献

- 1) 田中 勉, 前田直人, 中村仁美, 井上一哉, 鈴木麻里子, 永井 茂: 均一な粗粒土の平均粒径が一次元浸透流及び浸透破壊特性に及ぼす影響, 農業農村工学会京都支部, pp.108-109, 2019.
- 2) 吉岡真弓, 登坂博行: 高透水性多孔体の非ダルシー流れに関する考察, 地下水学会誌, 52(3), pp.275-284, 2010.
- 3) 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.
- 4) 中村仁美, 田中 勉, 永井 茂, 前田直人, 井上一哉, 鈴木麻里子: 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 -, 農業農村工学会大会, pp.392-393, 2019.