

小型二次元地盤の浸透破壊実験と PIV 解析—浸透破壊特性と地盤変形挙動の解明—  
Discussion on seepage failure phenomena of H2D test soil using PIV analyses

笠松晃次, 田中 勉, 前田直人, 黒川和己, 井上 一哉, 鈴木麻里子

Koji Kasamatsu, Tsutomu Tanaka, Naoto Maeta, Kzuki Kurokawa, Kazuya Inoue and Mariko Suzuki

1. 序論

一般に、地盤の相対密度は浸透破壊現象に大きな影響を及ぼすことが知られている<sup>1)</sup>。本研究では、種々の条件で小型二次元浸透破壊実験を行い、PIV (Particle Image Velocimetry) 解析を用いて、地盤の相対密度が浸透流・浸透破壊特性に与える影響について考察を行った。ここでは、相対密度  $D_r$  と浸透破壊特性・地盤変形挙動の関係について述べる。

2. 小型二次元浸透破壊実験

小型二次元浸透破壊実験装置の概略図を Fig.1 に示す。ここでは均一な細砂(琵琶湖砂 3)を用いて水中落下法で実験地盤を作製した (Table 1)。地盤に水頭差  $H$  を段階的にかけていき、浸透流が定常になったことを確認し、正面写真撮影後、間隙水圧、地盤形状、流量、水温を測定した。

3. PIV 解析

本研究における PIV 解析では簡潔なアルゴリズムで類似性を評価する輝度差累積法を用いた。連続画像の第 1 画像における基準サイズ(41×41 [pixel])の輝度値パターン  $f$  と第 2 画像の探索サイズ(119×119 [pixel])中の輝度値パターン  $g$  の類似性を  $f, g$  の各座標における輝度値差の和によって評価した。速度ベクトルを求める格子間隔は 21[pixel]である。

4. 限界水頭差の定義

ここで理論と実験で得られる各種限界水頭差を定義する。

(1) pfc (prismatic failure concept) によって算出される理論限界水頭差を  $H_c$  と定義する。

(2) 地盤表面高を測定し、矢板に接する地盤表面高が 2.0 mm 程度変動したときの水頭差を変形開始時水頭差  $H_y$  と定義する。

(3) 地盤全体が破壊したときの水頭差を破壊時水頭差  $H_f$  と定義する。

5. 結果と考察

Fig.2 に相対密度  $D_r$  と限界水頭差の無次元量  $H_y/H_c, H_f/H_c$  の関係を示す。無次元量とは限界水頭差  $H_y, H_f$  を理論限界水頭差  $H_c$  で基準化したものである。Fig.2 より、中密度以下の地盤では表面変形開始前に下流側矢板下端付近で土粒子の微小移動が確認された。その発生個所は単位体積内の土粒子に働く正味の重量  $\gamma_{net}$  が負の領域と符合する<sup>2)</sup>。密な地盤では浸透破壊に対して安定性を示

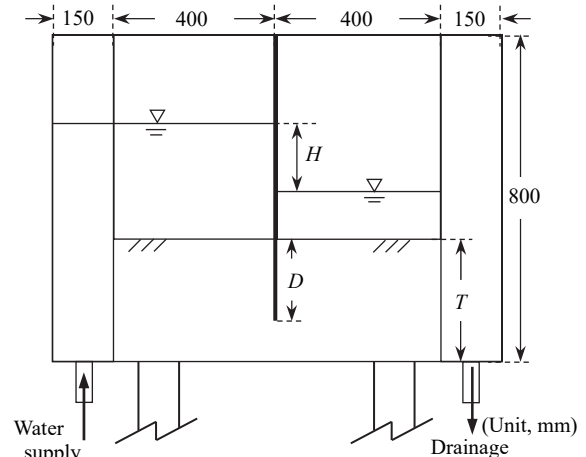


Fig.1 小型二次元浸透破壊実験装置

Table 1 実験試料の物理的性質

物理的性質	琵琶湖砂 3
50%粒径 $D_{50}$ (mm)	0.283
均等係数 $U_c$	1.404
最大間隙比 $e_{max}$	1.115
最小間隙比 $e_{min}$	0.761

Table 2 実験ケースの条件

Cases	Test No.	$e$	$D_r$ (%)
Case 1	E0431	1.06826	13.284
Case 2	E0428	1.00584	30.874
Case 3	E0414	0.94256	48.707
Case 4	E0425	0.93961	49.538
Case 5	E0402	0.93554	50.685
Case 6	E0427	0.89187	62.991
Case 7	E0434	0.89363	70.082
Case 8	E0436	0.84508	76.177
Case 9	E0430	0.81588	84.405
Case 10	E0439	0.79630	89.923

す一方で、変形と破壊が同時に起こることがわかる。PIV 解析によって得られた Case 4 の変形開始時における地盤内の土粒子移動の様子を Fig.3 に示す。PIV 解析による各水頭差  $H$  における地表面、及び、矢板中央の土粒子移動幅 ( $B_s$ , 及び、 $B_m$ ) を求めた。Fig.4, 5 に Case 1, 2, 3, 6 における水頭差  $H$  と  $B_m$ ,  $B_s$  の関係を示す。密な地盤 Case 7~10 では変形開始と破壊が同時に起こったため  $B_m$ ,  $B_s$  が得られなかった。Figs.4, 5 より、地盤変形開始時の  $B_m$  は 2 cm 程度 (pfc の限界プリズム幅, 2 cm),  $B_s$  は 3~5 cm 程度 (Terzaghi<sup>3)</sup> の破壊土塊幅, 5 cm) となることがわかった。変形開始時、土粒子は pfc による限界プリズム幅において移動しはじめ、密な場合にはその範囲を集中的に移動しつづけ、緩い場合には周りの砂地盤を巻き込みながら大きく移動し、地盤が最終的に破壊する。

## 6. 結論

相対密度  $D_r$  の異なる二次元浸透破壊実験を行い、PIV 解析により、浸透破壊特性と地盤変形挙動について考察し、次のような結論を得た。

- (1) 中密度 ( $D_r = 50\%$ ) 以下の地盤では、地盤表面の変形開始前に下流側矢板下端付近で土粒子が微小移動する。
- (2) 地盤変形開始時において、矢板中央付近の土粒子移動幅は pfc による限界プリズム幅と概ね一致し、地盤表面の土粒子移動幅は Terzaghi の方法による破壊土塊幅と概ね一致する。
- (3) 密な地盤ほど地盤変形に対して安定性を示す一方で、 $D_r > 80\%$  では変形と破壊が同時に起こる。
- (4) 変形開始は限界プリズム幅で起こり、その後、密な場合にはその範囲を、緩い場合には広い範囲を土粒子が移動する。

## 参考文献

- 1) 田中 勉他(1999) : 二次元矢板背後地盤の浸透破壊 - 相対密度  $D_r$  の効果 -, 農士学会大会, pp.628-629.
- 2) Tanaka, T., Sannabe, S, Nagai, S., Kasamatsu, T. & Inoue, K.(2016) : Experimental findings of soil particle movement in 2D seepage failure of soil using Particle Image Velocimetry, ICSE-8, pp.507-514.
- 3) Terzaghi, K and Peck, R.B.(1967) : Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons, pp.611-623.

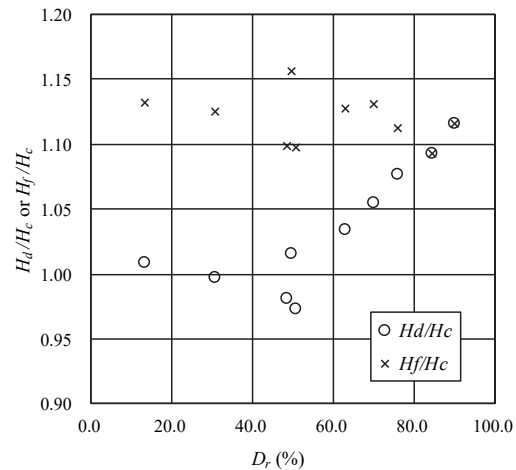


Fig.2  $D_r$  と  $H_d/H_c$ ,  $H_f/H_c$  の関係

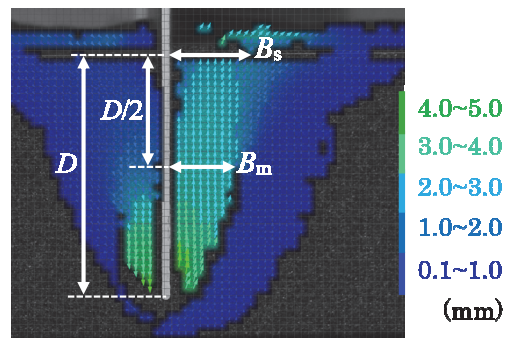


Fig.3 変形開始時における土粒子移動 (Case 4)

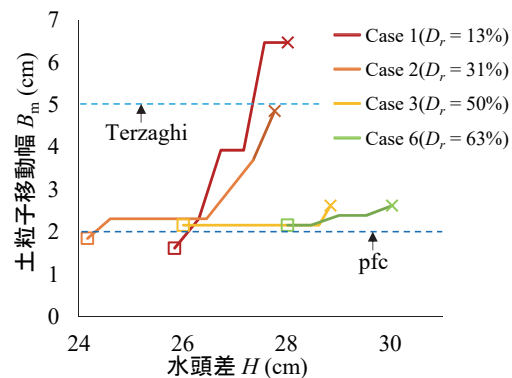


Fig.4  $H$  と  $B_m$  の関係 (Case 1, 2, 3, 6)

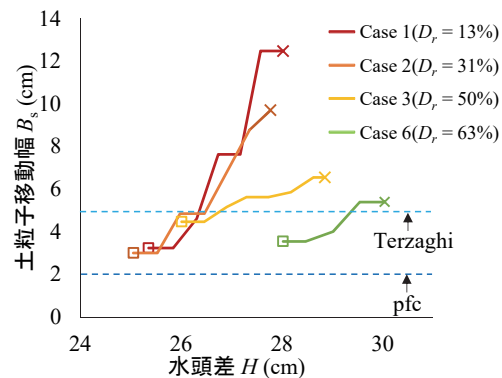


Fig.5  $H$  と  $B_s$  の関係 (Case 1, 2, 3, 6)