

# 三次元地盤の浸透流及び浸透破壊特性

## Seepage flow and seepage failure of soil in three dimensions

田中 勉・○芝 優大・久住慎也・井上一哉  
 Tanaka Tsutomu, Shiba yuki, Kusumi Shinya and Inoue Kazuya

### 1. 序論

近年、大深度掘削に伴い、浸透破壊に関して、二次元状態と仮定したときの限界水頭差よりも小さな水頭差で破壊が起こることがわかってきた<sup>1)</sup>。このような場合、二次元ではなく、三次元問題として考えなければならない。ここでは、実際に三次元浸透破壊実験を行い、三次元地盤の浸透流及び浸透破壊特性について考察した。

### 2. 三次元浸透破壊実験

(1) 実験装置 三次元浸透破壊実験装置の概略図を Fig.1 に示す。実験水槽本体は横幅 1,000mm、奥行き 1,000mm、高さ 1,300mm の直方体型のステンレス水槽である。矢板は、内側平面が 400mm×200mm の長方形で、実験水槽本体の角部に位置している。水頭差は、矢板内部の水槽背面にある排水口の位置で一定に保たれる矢板内部下流側水面と、定水頭装置で与えられる上流側水面の差によって与えられる。

(2) 実験試料 実験に用いた試料は、琵琶湖砂<sup>3)</sup>であり 850 $\mu$ m ふりを通過した均一な細砂である。物理的性質は、比重  $G_s=2.668$ 、均等係数  $U_e=1.404$ 、50% 粒径  $D_{50}=0.283$ mm、最大間隙比  $e_{max}=1.115$ 、最小間隙比  $e_{min}=0.761$  である。

(3) 実験条件 ここでは、条件を変えた 13 ケースの実験 E0301～E0313 を行った。記号は Fig.2 に示すように、 $T_1, T$ : 上下流における地盤層厚、 $D_1, D$ : 上下流における矢板の根入れ深さである。

### 3. 三次元地盤の浸透破壊実験の結果と考察

(1)  $H \sim Q_{15}$  曲線と実験の再現性 実験では、水頭差  $H$  を段階的に上げていき、各段階において定常状態に達した時点で、流量  $Q$ 、地盤表面形状、間隙水圧等を測定する。Fig.3 に、実験 E0301 について、水頭差  $H$  と 15 $^{\circ}$ C 時の値に換算した流量  $Q_{15}$  の関係を示す。 $H \sim Q_{15}$  曲線は  $H$  の増加と共に最初直線的に増加していくが、 $H$  がある値  $H_d$  (流量急増時水頭差) になると流量が急増する。ちょうどこのあたりで、地盤形状の変化(下流側隆起、上流側沈下)が生じる。この時点における水頭差  $H_y (=H_d)$  を変形開始時水頭差と呼ぶ。Fig.4 に上流側地盤沈下形状(近接写真)を示す。上流側地盤の沈下形状は矢板角点を中心としたすり鉢状である。

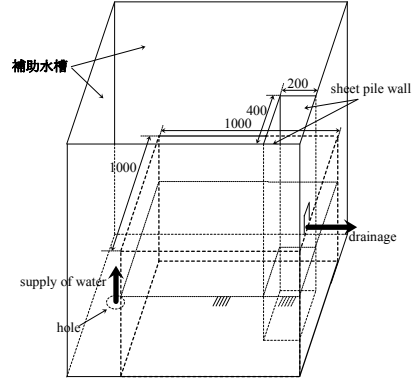


Fig.1 三次元浸透破壊実験装置の概略図

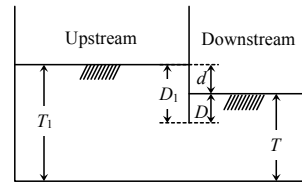


Fig.2 Notation

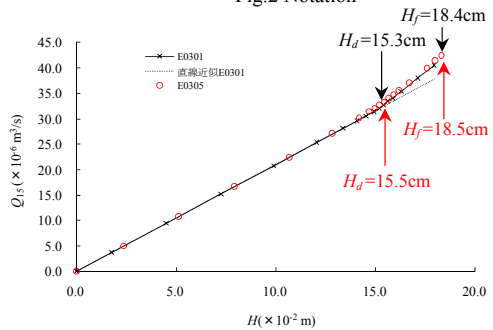


Fig.3  $H \sim Q_{15}$  曲線とデータの実験の再現性



Fig.4 上流側地盤沈下形状(角部)(E0311)

水頭差が破壊時水頭差  $H_f$  に達すると、下流側矢板内の砂粒子が吹き上がり、その伝達を受けたかのように、上流側の砂粒子が一気に矢板下端を回って下流側に移動し破壊する。

実験の再現性を調べるために Fig.3 に、E0301 (2008.10.11)と同条件の実験 E0305(2009.05.09)について、 $H \sim Q_{15}$  曲線を示す。Fig.3 から、両実験結果はほぼ一致しているといえる。また、実験 E0301, 305 について、 $H_y=15.3, 15.5\text{cm}$ 、 $H_f=18.4, 18.5\text{cm}$  である。浸透流特性及び浸透破壊特性について実験結果の再現性が確かめられる。

(2) 地盤形状の変化 地盤形状の変化(下流側隆起、上流側沈下)について考察する。Fig.5 に、水頭差  $H$  の変化に伴う矢板角点を通る対角線上の地盤表面形状の変化を実験 E0311 ( $T=45\text{cm}$ , 掘削なし)について示す。実験 E0311 は矢板の根入れが深いケースであるので、下流側矢板近傍の地盤はほぼ一様に全体的に上昇していることがわかる。上流側地盤は実際にはすり鉢状の沈下形状であるが、その斜面は  $40^\circ$  近い角度で推移してゆくことがわかる。

(3) 理論限界水頭差  $H_c$  と実験による変形開始時水頭差  $H_y$  の比較 矢板の根入れ比  $D/T$  と Prismatic failure concept 3D による理論限界水頭差  $H_c$  を無次元化した値  $H_c \gamma_w / T \gamma'$  の関係を示すと Fig.6 となる。Fig.6 には、実験による変形開始時水頭差の値  $H_y (=H_d)$  を同時に示している。Fig.6 からわかるように、実験から得られた変形開始時水頭差  $H_y$  は理論限界水頭差  $H_c$  と概ね一致している。したがって、Prismatic failure concept 3D を用いると、三次元地盤の浸透破壊に対する限界水頭差を正確に算定できる。破壊時水頭差  $H_f$  は、変形開始時水頭差  $H_y$  に対して、 $H_f = (1.19 \sim 1.47)H_y$  であり、地盤が変形してから破壊するまでに水頭差に関して 19~47%の余裕があることがわかる。地盤が変形を起こした場合この間に対処すれば破局的な破壊を防ぐことができる。

#### 4. 結論

三次元浸透破壊問題について、理論的、実験的観点から考察を行い次の結論を得た。(1) 実験結果には、浸透流特性及び浸透破壊特性に関して再現性がある。(2) 三次元地盤の浸透破壊形状について、上流側では矢板角点を中心としたすり鉢状沈下が起こり、下流側では全体的な隆起が起こる。(3) Prismatic failure 3D の考え方をを用いて得られる理論限界水頭差  $H_c$  は、実験によって得られる変形開始時水頭差  $H_y$  に近い値となる。(4) 三次元地盤の場合には、変形してから破壊するまでに水頭差に関して 19~47%の余裕がある。

#### 参考文献

- 1) 日経 BP 社(2001): 土留め壁鋼矢板の根入れが不足, 日経コンストラクション, 2001.9.28, pp.37-38.

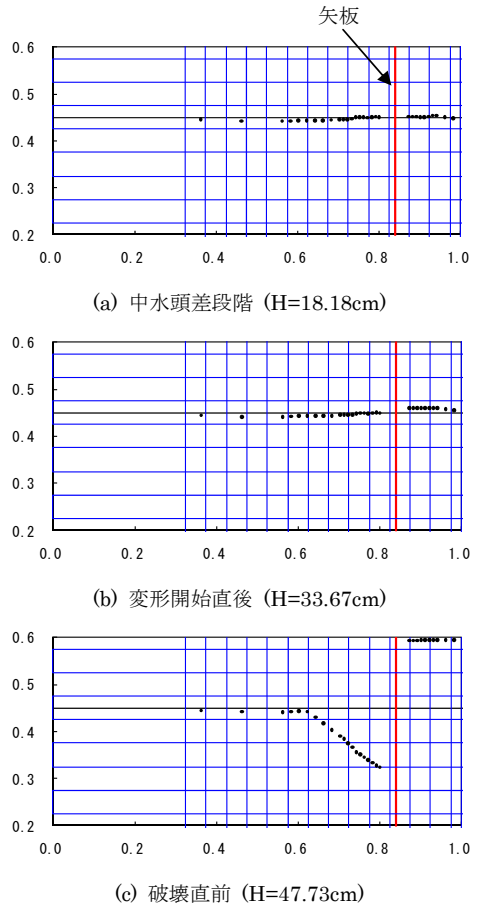


Fig.5 対角線上における地盤表面形状の変化

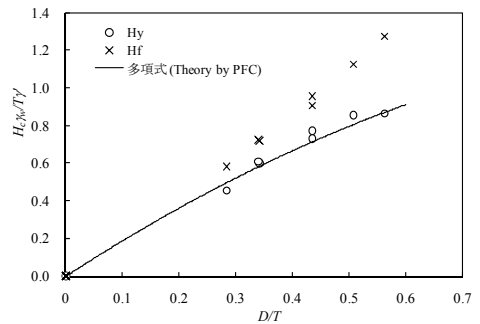


Fig.6  $D/T$  と  $H_c \gamma_w / T \gamma'$  の関係