

三次元地盤の浸透破壊実験及び解析 Experiments and Analyses of 3D Seepage failure

○館村 立・田中 勉・久住慎也・井上一哉
Tachimura Ritsu, Tanaka Tsutomu, Kusumi Shinya and Inoue Kazuya

1. 序論

地下水位の高い地点で締切り矢板を用いて地盤掘削工事を行う場合、もしくは、水利施設構造物を設計・施工する場合において重要な問題となるのが、上下流の水頭差によって生じる地盤の浸透破壊である。一連の研究は地盤浸透破壊メカニズムの解明を目的としている。ここでは三次元地盤の浸透破壊について、実験と解析の観点から考察する。

2. 三次元浸透破壊実験装置

Fig.1 に三次元浸透破壊実験装置の概略図を示す。実験装置本体は奥行き及び横幅が 1,000mm、高さが 1,300mm の直方体型ステンレス水槽で、内部の一角に、内面積が 200×400mm の矢板が設置されている。また、Fig.1 でいう左側と奥側に幅 300mm の補助水槽が設置されている。実験試料として比重 $G_s=2.67$ 、均等係数 $U_c=1.40$ 、最大間隙比 $e_{max}=1.12$ 、最小間隙比 $e_{min}=0.761$ の琵琶湖砂 3 を用いた。また、Fig.2(記号の説明)において、 T_1 、 T は上下流側地盤層厚、 D_1 、 D は上下流における矢板の根入れ深さ、 d は掘削深さを表す。ここでは条件を変えた 20 種類の実験 E0301~E0320 を行った。

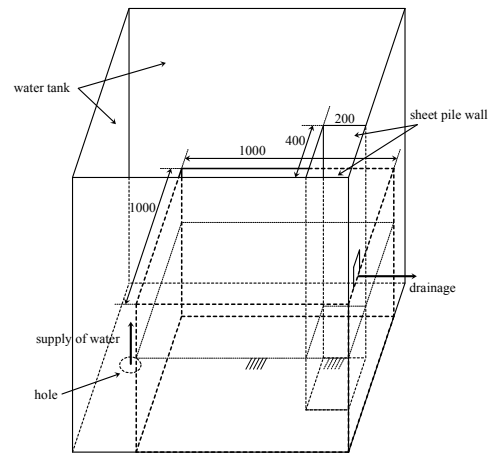


Fig.1 三次元浸透破壊実験装置の概略図

3. Prismatic failure concept 3D¹⁾

地盤の安定解析には Prismatic failure の考え方を用いた。二面の矢板を固定したプリズムを破壊土塊として考え、その深さや幅、奥行きを変化させてゆき、地盤の浸透破壊に対する安定解析を行うものである。ある一つのプリズムについてみたとき、水中重量及び側面摩擦力が下からの過剰間隙水圧の合力に抵抗すると考える。プリズムの上昇破壊に対する安全率 F_s は次式で求められる。

$$F_s = \frac{W' + F_{RL} + F_{RCR} + F_{RF} + F_{RCB}}{U_e} \quad (1)$$

ここに、 W' はプリズムの水中重量、 F_{RL} 、 F_{RCR} 、 F_{RF} 、 F_{RCB} はプリズムの左面、右面、手前面、奥面に作用する摩擦力、 U_e は過剰間隙水圧の合力である。水頭差を増加していったとき、すべてのプリズムについて求めた F_s の最小値が初めて 1.0 となる時の水頭差 $H=H_c$ を求める。ここに、 H_c を理論限界水頭差と呼ぶ。

4. 実験結果

(1) $H-Q_{15}$ 曲線 Fig.3 は、実験 E0320 における、水頭差 H と水温 15℃ のときの流量 Q_{15} との関係を示す。 H と Q_{15} の関係は、実験開始から途中まで、比例関係を示すが、途中から急激に流量が増加し、ほぼ同時に上流側地盤が沈下、下流側地盤が隆起し

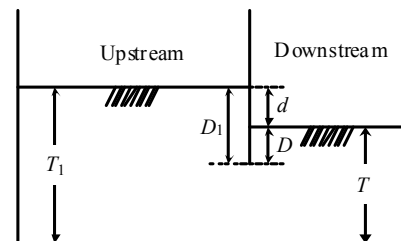


Fig.2 記号の説明

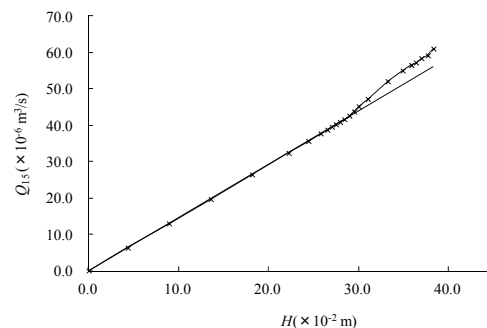


Fig.3 H と Q_{15} の関係 (実験 E0320)

始める。これらの現象が起こる時点の水頭差を、それぞれ、流量急増時水頭差 H_d 、変形開始時水頭差 H_y と定義すると、 $H_d=H_y$ の関係が成り立つ。

(2) 矢板の根入れ比と水頭差の関係 Fig.4 は掘削なし地盤について、 D/T と $H_c\gamma_w/T\gamma'$ の関係を示す。ここに、 γ_w は水の単位体積重量、 γ' は地盤の水中単体積重量である。図には実験結果 (H_f と H_y) と Prismatic failure の考え方による理論曲線を同時に示している。Fig.4 から、 H_y は理論限界水頭差 H_c とほぼ等しいことがわかる。Fig.5 は掘削あり地盤について、 $d/(D+d)$ と $H_c\gamma_w/(T+d)\gamma'$ の関係を、それぞれ、

5. 破壊時水頭差算定式の提案

(1) 掘削なし地盤 掘削なし地盤の場合、Terzaghi の浸透破壊理論¹⁾より、破壊時水頭差 H_f と理論限界水頭差 H_c の関係は次のようになる

$$H_f/H_c = f(D/T) + 1.0 \quad (2)$$

ここに、 $f(D/T)$ は矢板の根入れ比 D/T の関数を表す。実験から得られた H_f/H_c と D/T の関係を最小二乗法を用いて直線関係で表し整理すると次式となる。

$$H_f = H_c (0.82 D/T + 1.0) \quad (3)$$

Fig.4 において点線は(3)式で求めた値である。破壊時水頭差 H_f とのずれは少ない(相対誤差は約 0.027)。

(2) 掘削あり地盤 掘削あり地盤の場合、Figs.5(a), (b)より、変形開始時水頭差から破壊時水頭差までの余裕 $(H_f - H_y)\gamma_w/T\gamma'$ は、掘削比 $d/(D+d)$ の値に関わらずほぼ一定であり、 T_1 の値によることがわかる。ここでは、 $(H_f - H_y)\gamma_w/T\gamma'$ の平均値をとることで、 H_f の算定式を求めた。

$$H_f\gamma_w/T\gamma' = H_c\gamma_w/T\gamma' + 0.24 \quad (T_1=35\text{cm の場合}) \quad (4)$$

$$H_f\gamma_w/T\gamma' = H_c\gamma_w/T\gamma' + 0.31 \quad (T_1=40\text{cm の場合}) \quad (5)$$

Figs.5(a), (b)において、点線は(4), (5)式を用いて得られた関係を表す。得られた関係と破壊時水頭差 H_f とのずれは少ない(相対誤差はそれぞれ約 0.045, 約 0.024)。

6. 結論

三次元地盤の浸透破壊について、理論的、実験的に考察し次の結論を得た。(1) 流量急増時水頭差 H_d と変形開始時水頭差 H_y はほぼ等しい。(2) 三次元地盤浸透破壊において Prismatic failure concept 3D による理論解析は妥当である。(3) 変形開始時水頭差から破壊時水頭差までの余裕は、掘削なしの場合矢板の根入れ比の増加とともに大きくなるが、掘削ありの場合変化しない。(4) 掘削なし、掘削ありの場合において、理論限界水頭差 H_c から破壊時水頭差の算定式を求めることができる。

参考文献

- 1) 田中 勉 (1996): 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.77~88.

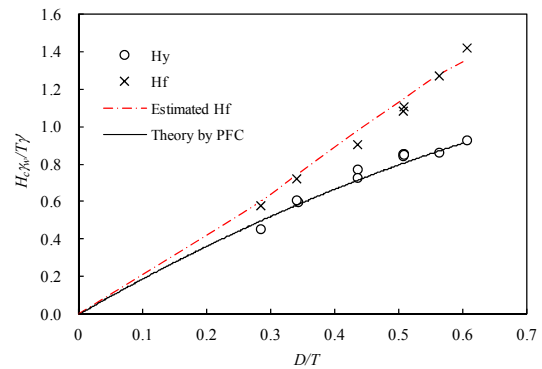
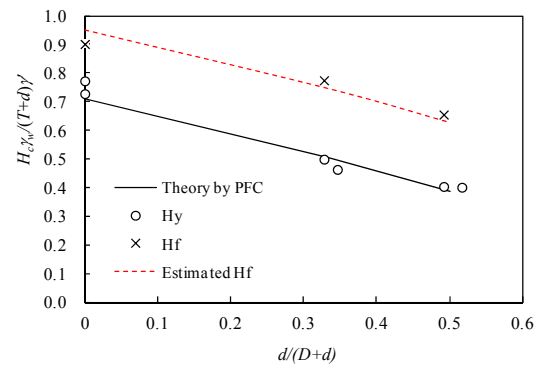
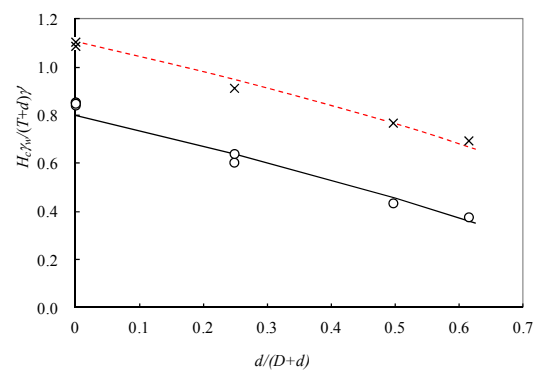


Fig.4 D/T と $H_c\gamma_w/T\gamma'$ の関係 (掘削なし)



(a) $T_1=35\text{cm}$ の場合



(b) $T_1=40$ の場合

Fig.5 $d/(D+d)$ と $H_c\gamma_w/(T+d)\gamma'$ の関係 (掘削あり)