

地盤の浸透破壊現象の無次元化表示に関する研究

Non dimensional formulation of critical hydraulic head difference for seepage failure of soil

田中 勉・柴田宗治・橋本和樹・○芝 優大・井上一哉

Tanaka Tsutomu, Shibata Shuji, Hashimoto Kazuki, Shiba Yuki and Inoue Kazuya

1. 序論

地下水位の高い地点では、基礎地盤中の浸透流が問題となる。対応を誤ると地盤が浸透破壊を起こし、経済的に甚大な被害を及ぼす。浸透破壊に対する限界水頭差を個々の問題について解析することは可能であるが、解析結果を汎用化するためには無次元化を行う必要がある。ここでは、浸透破壊に対する限界水頭差の無次元化の方法について考察する。

2. 地盤の浸透破壊安定性

(1) Terzaghi の考え方 Terzaghiら(1948)は、モデル実験などから、Fig.1 のように、破壊は矢板壁に接した幅 $D/2$ 、深さ D_0 ($0 \leq D_0 \leq D$)の角柱土塊について、底面に働く過剰間隙水圧の合力 U_e が角柱の水中重量 W' より大きくなったときに起こると考えた。ここに、 D は矢板の根入れ深さである。均質な地盤の場合には、浸透破壊に対する安全率は破壊プリズムの下端が矢板の下端と一致したときに最小値となる。このとき、浸透破壊に対する安全率 F_s は、

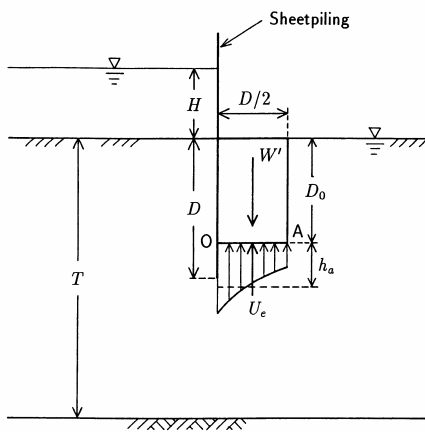


Fig.1 Terzaghi の方法

$$F_s = \frac{W'}{U_e} = \frac{\gamma' D}{h_a \gamma_w} = \frac{\gamma' D}{C_0 H \gamma_w} \quad (1)$$

となる。ここに、

H : 矢板の前後にかかる水頭差

γ' : 土の水中単位体積重量

γ_w : 水の単位体積重量

$h_a (=C_0 H)$: 角柱底面に働く平均過剰間隙水頭

C_0 : 水理・地盤条件によって決まる定数である。Terzaghi による限界水頭差 H_c は、 $F_s=1.0$ とおいたときの H の値として与えられ、

$$H_c = \frac{\gamma' D}{C_0 \gamma_w} \quad (2)$$

となる。

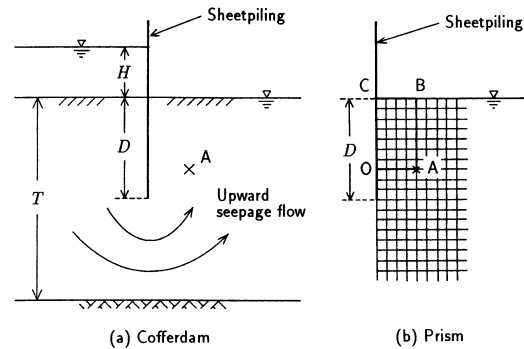


Fig.2 Prismatic failure の考え方

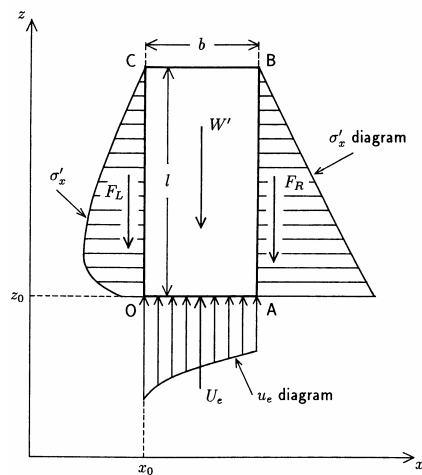


Fig.3 プリズムに作用する力

(2) Prismatic failure の考え方

Prismatic failure の考え方(田中, 1996)では、矢板壁に接した任意の幅、任意の深さのプリズムを考えそのプリズムの力の釣合いについて考える。Fig.2 に示すような均質地盤において、例えば矢板に接したプリズム OABC を考える。このプリズムに

は, Fig.3 に示すように, 水中重量 W' , 左右側面において摩擦力 F_L , F_R , 及び, 下端面において過剰間隙水圧の合力 U_e が作用する。このとき, プリズムの上昇破壊に対する安全率 F_s は,

$$F_s = \frac{W' + F_L + F_R}{U_e} \quad (3)$$

と定義される。矢板の前後にかかる水頭差を徐々に増加させていったときに, すべてのプリズムについて上昇破壊に対する安全率 F_s を計算し, その最小値 $F_{s \min}$ がちょうど 1.0 になったときのプリズムを限界プリズムと呼ぶ。そして, 水頭差が限界水頭差を越えて増加したとき限界プリズムが上昇し地盤が破壊するものとする。

3. モデル地盤と実地盤における諸量の関係

モデル地盤は, 実地盤を縦横同じ割合で縮尺するものとする。物理的な縮尺を l_r として,

$$L_{\text{mod}} = l_r L_{\text{pro}} \quad (4)$$

とする。 L は両地盤について対応する, ある長さを表す。下添え字 **mod** はモデル地盤, **pro** は実地盤を表す。次に, 安全率の算定式について考える。まず, 対応するプリズムについて水中重量 W' は,

$$W'_{\text{mod}} = l_r^2 W'_{\text{pro}} \quad (5)$$

と表される。次に, 摩擦抵抗力 F_R , F_L は考えるプリズムの側壁面に沿って, $\tan \delta \cdot \sigma_x'$ を積分したものである (σ_x' : 側方有効応力), モデル地盤と実地盤において, 壁面と砂または砂と砂の間の摩擦角 δ_1 , δ_2 が同一であるとすると,

$$F_{R \text{ mod}} = l_r^2 F_{R \text{ pro}} \quad (6)$$

$$F_{L \text{ mod}} = l_r^2 F_{L \text{ pro}} \quad (7)$$

となる。次に, プリズム底面に働く過剰間隙水圧の合力 U_e は過剰間隙水圧 u_e をプリズム底面に沿って積分した値であり,

$$U_{e \text{ mod}} = l_r^2 U_{e \text{ pro}} \quad (8)$$

となる。したがって, 対応するプリズムについて, 浸透破壊に対する安全率 F_s は,

$$\begin{aligned} F_{s \text{ mod}} &= \frac{W'_{\text{mod}} + F_{L \text{ mod}} + F_{R \text{ mod}}}{U_{e \text{ mod}}} \\ &= \frac{l_r^2 (W'_{\text{pro}} + F_{L \text{ pro}} + F_{R \text{ pro}})}{l_r^2 U_{e \text{ pro}}} = F_{s \text{ pro}} \end{aligned} \quad (9)$$

となる。このように, 対応するプリズムの安全率 F_s は, 相似な実地盤とモデル地盤について同

一となり, F_s が最小となるプリズムすなわち限界プリズムは同一となる。したがって, 両地盤について算出される限界水頭差 H_c についても,

$$H_{c \text{ mod}} = l_r H_{c \text{ pro}} \quad (10)$$

となる。

4. 浸透破壊に対する限界水頭差の無次元化

ここでは, 浸透破壊に対する限界水頭差の無次元化の方法を考える。半無限地盤の場合, Terzaghi によって与えられた(2)式の両辺に $\gamma_w/D\gamma'$ を掛け合わせることで,

$$\frac{H_c \gamma_w}{D \gamma'} = \frac{1}{C_0} \quad (\text{半無限地盤の場合}) \quad (11)$$

が得られる。 $1/C_0$ は境界条件によって決まる定数であり, 半無限地盤の場合, 相似な地盤において, 限界水頭差の無次元量 $H_c \gamma_w/D\gamma'$ は唯一の値となる。浅い不透水性境界の場合には, (2)式の両辺に $\gamma_w/T\gamma'$ を掛け合わせることで,

$$\frac{H_c \gamma_w}{T \gamma'} = \frac{1}{C_0} \frac{D}{T} \quad (\text{浅い不透水性境界の場合}) \quad (12)$$

が得られる。この場合には, 矢板の根入れ比 D/T と $H_c \gamma_w/T\gamma'$ と無次元するのが妥当である。

ここでは, 掘削のない二次元地盤, 二次元集中流地盤, 軸対称流地盤に関して, 実験地盤(モデル地盤)に対して 2.5 倍及び 50 倍した領域(同一の土質材料からなる場合)について浸透破壊安定解析を行った。(1)半無限地盤の場合, 及び, (2)浅い不透水性境界の場合について, 相似な形状の 3 つの地盤に対して, それぞれ, $H_c \gamma_w/D\gamma'$, 及び, $H_c \gamma_w/T\gamma'$ が同一になることを確認した。このように, 限界水頭差に関する無次元化表示として, $H_c \gamma_w/D\gamma'$, 及び, $H_c \gamma_w/T\gamma'$ が数値解析的にも妥当であることがわかる。

5. 結論

浸透破壊に対する限界水頭差の無次元化の方法について理論的, 数値解析的に考察し, (1) 半無限地盤の場合, $H_c \gamma_w/D\gamma'$, (2) 浅い不透水性境界の場合, 矢板根入れ比 D/T と $H_c \gamma_w/T\gamma'$ と無次元化するのが妥当であることを明らかにした。

引用文献

- Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1948): Soil Mechanics in Engineering Practice, 1st ed., John Wiley and Sons, New York, pp.502-503, pp.510-512.
- 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.969~979.