

地盤の浸透破壊に対する限界水頭差

—基準類算定式に含まれる安全率、設計安全率及び実質的な安全率の関係—

Critical hydraulic head differences for seepage failure of soil

—Safety factors included in standards, design and real safety factors—

田中 勉・○宋 爽・平尾拓也・井上一哉

Tanaka Tsutomu, Song Shuang, Hirao Takuya and Inoue Kazuya

1. 序論

地下水位の高い地点における締切り工事では地盤の浸透破壊が問題となる。また、締切り地盤は、その平面形状に伴う流れの条件(二次元、二次元集中、三次元、軸対称流)¹⁾によって、浸透破壊安定性が大きく影響される。ここでは、地盤の浸透破壊に対して実際に用いられる基準類¹⁾²⁾³⁾⁴⁾による限界水頭差 H_c が、二次元及び二次元集中地盤の場合に妥当な値を与えるかどうかについて検討する。

2. 浸透破壊安全率

(1) 基準類算定式に含まれる安全率 F_s (Formula) 各種基準類においては、式を簡易化するとき安全側の考慮がなされ、算定式には 1.0 より大きな安全率 F_s (Formula) が含まれる。

(2) 設計安全率 F_s (Design) 実際の施工は、安全のために設計安全率の設定の下に行われる。例えば、道路協会の基準(1999年)⁴⁾によると、 F_s (Design)=1.2 (道路協会)である。

(3) 実質的な安全率 F_s (True) 「実質的な安全率 F_s (True)」は、「基準類算定式に含まれる安全率」と「設計安全率」を掛け合わせたもの、 F_s (True)= F_s (Formula)× F_s (Design)となる。

3. 基準類算定式、実験結果、Prismatic failure concept による限界水頭差 H_c の関係

ここでは、流れの条件として二次元地盤(Fig.1)と二次元集中流地盤(Fig.2)について考える。 T, D, B は地盤の層厚、矢板の根入れ深さ、複列矢板の半幅である。道路協会による算定式の、時代(改訂)に伴う変遷は Table 1 のようにまとめられる¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

(1) 二次元地盤(掘削なし) 二次元地盤の場合について、 H_c の無次元化量 $H_c\gamma_w/T\gamma'$ と矢板の根入れ比 D/T の関係を、実験結果、Prismatic failure concept, 基準類算定式(Method 1-1 及び Method 1-2)によるものについて示すと Fig.3 となる。ここに、 γ_w は水の単位体積重量、 γ' は地盤の水中単位体積重量である。また、Method 2-1 及び Method 2-2 は Method 1-2 と同じ直線関係となる。また、実験結果による

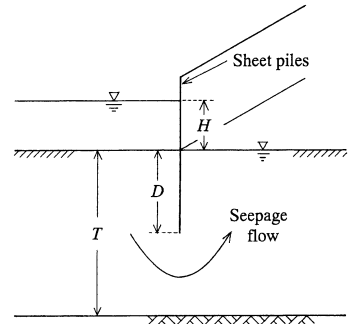


Fig.1 二次元地盤

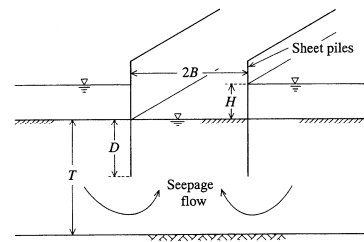


Fig.2 二次元集中流

Table 1 基準類による H_c の算定式(道路協会の方法)

| ボーリングの検討 | |
|--|-------------------------------|
| (1) Terzaghi の方法によるもの | |
| (1)-1 法(1999) | (1)-2 法(1987) |
| $H_c=1.27\gamma'(2D)/\gamma_w$ | $H_c=1.0\gamma'(2D)/\gamma_w$ |
| (2) 限界動水勾配によるもの | |
| (2)-1 法(1977) | (2)-2 法 |
| $H_c=(2D+d)\gamma'/\gamma_w$ | $H_c=2D\gamma'/\gamma_w$ |
| (4) 道路協会の方法(1999)によるもの | |
| $H_c=\lambda_1 2.7\gamma'(2D)/\gamma_w$ (λ : 形状係数) | |
| (4)-1a 法 (二次元) | |
| $\lambda = 1.0$ | |
| (4)-1b 法 (矩形) | |
| $\lambda = \lambda_1 \lambda_2$ (λ_1 : 掘削幅に関する係数, λ_2 : 平面形状に関する係数) | |
| $\lambda_1=1.30+0.7(B/D)^{-0.45}$ (ただし, $\lambda_1 < 1.5$ のときは $\lambda_1=1.5$) | |
| $\lambda_2=0.95+0.09\{(L/B)+0.37\}^{-2}$ | |
| (4)-1c 法 (円形) | |
| $\lambda=0.2+2.2(2R/D)^{-0.2}$ (ただし, $\lambda < 1.6$ のときは $\lambda=1.6$) | |

H_y の値は変形開始時水頭差を表す。Fig.3から、実験結果は、Prismatic failureの考え方によって精度良く算定できることがわかる。基準類算定式によるものと、実験結果(または Prismatic failure concept)によるものの差は、算定式に含まれる安全率の大きさを相対的に表すことになる。設計安全率を F_s (design)=1.2 とすると、実質的安全率は F_s (True)=1.3 - 1.6 (Method 1-1), 1.65 - 2.6 (Method 1-2)となる。

道路協会の算定式では、Method 1-1 は1999年版, Method 1-2は1987年版, 2-1は1977年版によるものであり、時代(改訂)とともに実質的安全率が小さくなっていることがわかる。また、Method 1-1によると、場合によっては、浸透破壊に関して危険な状態になる可能性がある。

(2) 二次元集中流地盤(掘削なし) 二次元集中流地盤の場合について、 H_c の無次元量 $H_c\gamma_w/T\gamma'$ と矢板の根入れ比 D/T の関係を、実験結果, Prismatic failure concept, 基準類算定式(Method 1-1 及び Method 1-2)及び道路協会の方法(1999年版(Method 4-1b))によるものについて示すと Fig.4 となる。ここで、Method 2-1 及び Method 2-2 は Method 1-2 と同じ直線関係となる。また、実験結果による H_y の値は変形開始時水頭差を表す。Fig.4から、実験結果は、Prismatic failureの考え方によって精度良く算定できることがわかる。設計安全率を F_s (design)=1.2 とすると、実質的安全率は F_s (True)=0.89 - 1.15 (Method 1-1), 1.12 - 1.46 (Method 1-2), 1.61 - 1.79 (Method 4-1b)となる。

二次元集中流の場合には、Method 1-1, 1-2 は不合理な結果を与えるので、安定解析法として用いない方がよい。道路協会(1999年版(Method 4-1b))の方法は合理的な結果を与えるものの、透水係数の異方性や掘削地盤表面の乱れが予想される場合には、浸透破壊安定性に関してぎりぎりの状態または限界を超えた状態になる可能性があるので注意が必要である。

4. 結論

二次元及び二次元集中流地盤について、基準類で算出される地盤浸透破壊に対する限界水頭差を考察し、次の結論を得た。(1) 道路協会の算定式では、時代(改訂)とともに実質的安全率が小さくなっている。(2) 二次元集中流では不合理な結果が生じる。(3) 道路協会(1999年版)の方法は合理的な結果を与えるものの、地盤条件によっては浸透破壊安定性に関して危険な可能性がある。

参考文献

- 1) 廣瀬哲夫, 田中勉(2007) : 鋼矢板土留め壁掘削地盤の浸透破壊に関する事例解析, 農土論集 75(2), pp.145~156.
- 2) 日本道路協会編 (1977) : 道路土工 - 擁壁・カルバート・仮設構造物工指針, 日本道路協会, pp.205~207.
- 3) 日本道路協会編 (1987) : 道路土工 - 擁壁・カルバート・仮設構造物工指針, 日本道路協会, pp.240~242.
- 4) 日本道路協会編 (1999) : 道路土工 - 仮設構造物工指針, 日本道路協会, pp.76~82.

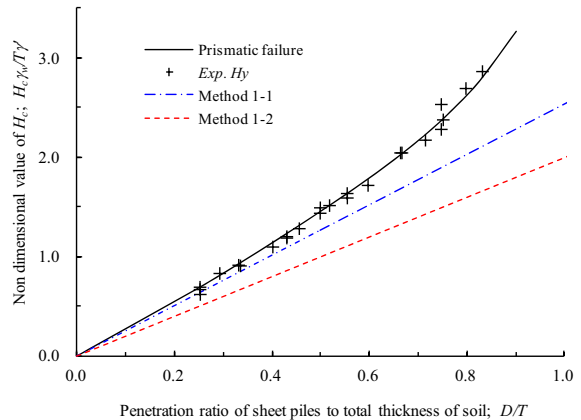


Fig.3 $H_c\gamma_w/T\gamma'$ と D/T の関係(二次元地盤)

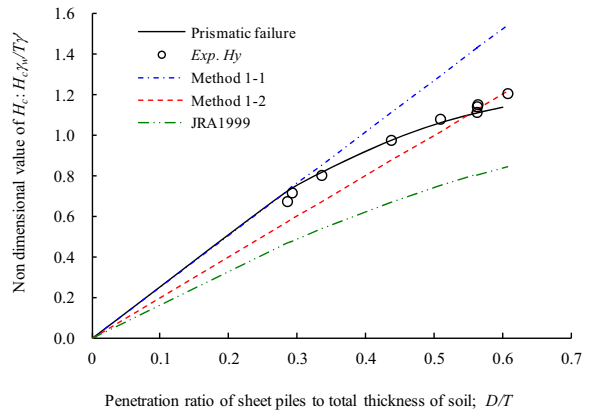


Fig.4 $H_c\gamma_w/T\gamma'$ と D/T の関係(二次元集中流地盤)