

FEM 浸透流解析による砂地盤のボーリングの検討

(株) 大林組 フェロー 〇杉江 茂彦 正会員 中道 洋平
同 上 正会員 鈴木 和明

1. はじめに

掘削工事や河川等の締切工事では、砂地盤が水に流されて崩壊することがある。これによる工事の手戻りは多く、労働災害や公衆損害の事例もある。著者らは止水壁周りで生じる砂地盤のボーリングについて、2次元場と3次元場の模型実験を行い、FEM 解析による同現象の再現結果を報告した^{1),2)}。本研究では2次元場で生じるボーリングについて、Terzaghi による方法と FEM 浸透流解析で検討したので報告する。

2. 模型実験とボーリング検討式の発生状況

写真-1 に実験の状況を示す。模型地盤は6号珪砂を空中落下させて15cmの厚さに敷設し、緩速で水張した。止水壁の根入れは5cmとした。投入した珪砂の重量と撒出し体積より、水中単位体積重量は 1.06g/cm^3 、間隙比は0.55と算定された。水槽右側の壁面に排水孔を設け、毎分約1cmの速さで止水壁右側の水位を低下させた。ボーリングによる砂の流出は水位差 $h_w=15\text{cm}$ で生じた。

3. Terzaghi のボーリング検討式と算定結果

道路・鉄道等の企業体で慣用されている Terzaghi による検討法^{3),4)}の概要を図-1に示す。安全率 F_s の算定式は下式の通りである。止水壁の壁付近($l_d/2$ の範囲)の平均的な動水勾配 $\bar{i}$ と限界動水勾配 $i_c = \gamma' / \gamma_w$ の大小関係の比較の式であることがわかる。

$$F_s = \frac{w}{u} = \frac{\gamma' \cdot l_d}{(1 + 0.57)(h_w \gamma_w / 2) / 2} \Rightarrow \frac{\gamma'}{\gamma_w \cdot 0.3925 \cdot h_w / l_d} = \frac{\gamma'}{\gamma_w \cdot \bar{i}} \quad (1)$$

模型実験でボーリングが生じた水位差 $h_w=15\text{cm}$ の時点、ならびにその手前の $h_w=10\text{cm}$ 時点(式(1)で壁際の動水勾配が i_c に到達)における F_s の算定結果を図-2に示す。ここでは次章の FEM 浸透流解析で得られた止水壁の根入れ深度の過剰間隙水圧値から算定した安全率の分布も併示している。

壁際ならびに壁から $l_d/2$ 離れた両位置での過剰間隙水圧値の比は図-1では0.57が用いられているが、FEMでは0.56とほぼ

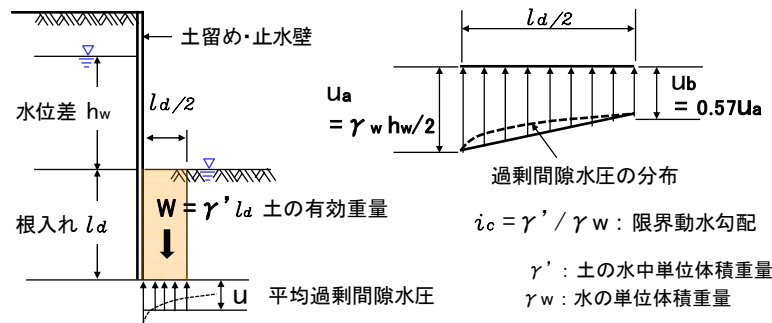
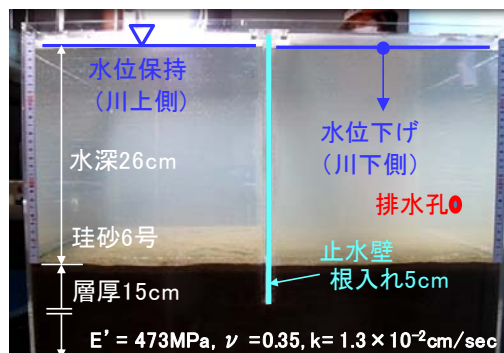
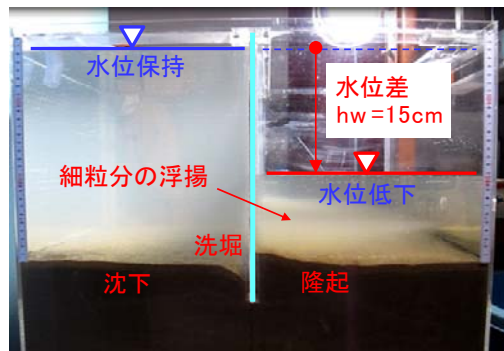


図-1 Terzaghi の検討法の概要⁴⁾ トレース・加筆修正



(a) 初期状態



(b) 浸透破壊の発生直前(3秒前)

写真-1 2次元場のボーリング実験

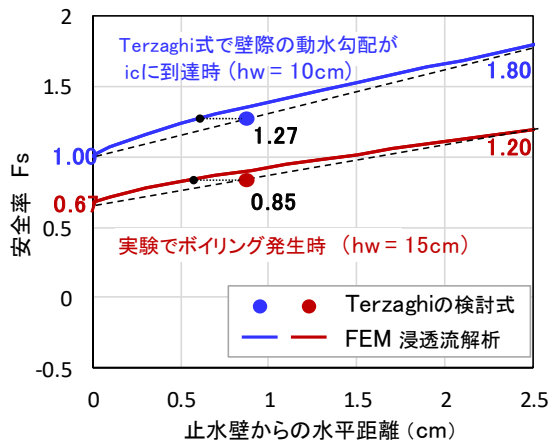


図-2 ボーリングの安全率の算定結果

キーワード ボーリング, Terzaghi の検討式, 有限要素法解析

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4丁目640 (株) 大林組 技術研究所 TEL 042-495-1097

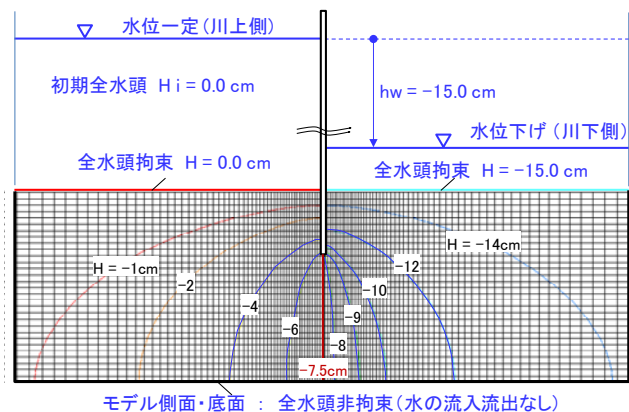


図-3 模型実験の解析モデルと全水頭計算値
hw=15cm (ボーリング発生時)

同様の値が得られた。Terzaghi の検討式 (1) では、水位差 $hw=10$ cm で $Fs1.27$, $hw=15$ cm で $Fs0.85$ と算定されたが、これらの値は模型実験の砂地盤のボーリングの発生状況とそれに至る過程で観察された地盤の安定状態と整合するものであった。また同式で算定された Fs 値は、FEM で得られた同値の分布の止水壁からの離間 0.5 cm 辺りの値に相当している。

4. 模型実験のFEM浸透流解析と解析結果

模型実験の砂地盤の解析モデルを図-3 に示す。水位差 $hw=15$ cm の水理境界条件で算定された全水頭の分布を併示している。

ボーリングの予測へのFEM浸透流解析の援用を念頭に、 $hw=10$ cm ならびに実験でボーリングが生じた $hw=15$ cm 時について、動水勾配と有効土被り圧の図-4、図-5 を設けた。ここで有効土被り圧は砂の水中単位体積重量を深度毎に動水勾配値 (FEM) で減じて、表計算で求めた。検証位置は Terzaghi が提示した図-1 中の $ld \times ld/2$ 域を用いて、止水壁からの離間の3 ケースを設けた (図中①～③)。

Terzaghi 式 (1) で壁際の動水勾配の算定値が i_c に至る時点をとらえた図-4 では、壁際の根入れ端付近で動水勾配が i_c を大きく超えるものの、有効応力を消失する領域は生じていない。実験においても砂地盤に顕著な変動は観察されなかった。図-5 では、動水勾配 (上向きの透水力) のさらなる増加にともない、有効応力の消失 (液状化) が生じており、実験でボーリングが生じた状況と整合している。有効応力の負値の量的な情報は、ローディッド・フィルター等のボーリング回避対策の設計・計画に役立つものと考えらる。

5. おわりに

2次元場の止水壁周りのボーリングについて、模型実験と Terzaghi の方法、FEM 浸透流解析の結果を比較検討した。ボーリングの予測評価にFEM浸透流解析を援用することの意義を確認した。

参考文献

- 1) 杉江・中道・高橋・鈴木：浸透破壊の模型実験のFEM解析検証，第72回土木学会年次学術講演会，2017
- 2) 杉江・中道・高橋・鈴木：砂地盤の浸透破壊の模型実験とFEM解析検証，第73回土木学会年次学術講演会，2018
- 3) Terzaghi, K. and P.B. Peck: Soil Mechanics in Engineering Practice, 1st edition, John Wiley and Sons, Newyork, pp. 502-503, pp. 510-512, 1948
- 4) トンネル標準方書 開削工法・同解説，土木学会，2016 年版

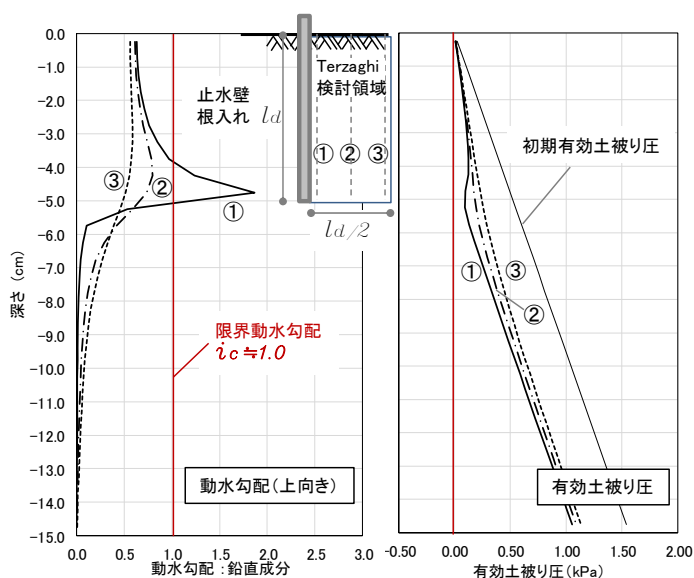


図-4 FEM 計算値 $hw=10$ cm 時 止水壁内側
(Terzaghi 式での限界動水勾配到達時)

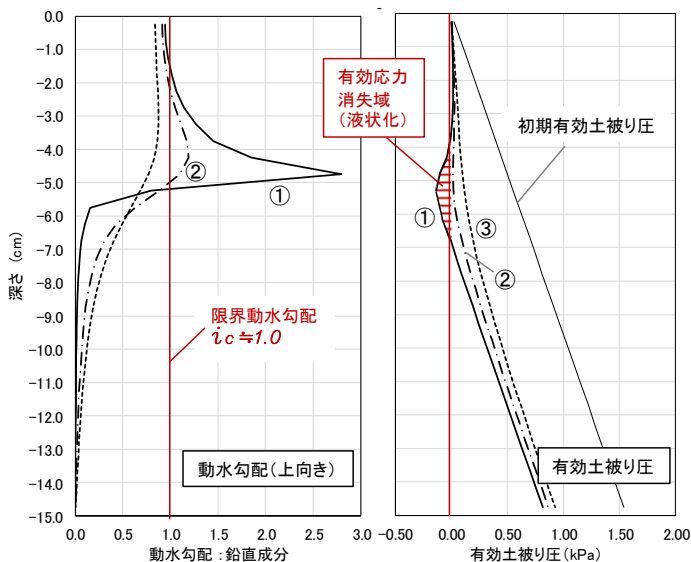


図-5 FEM 計算値 $hw=15$ cm 時 止水壁内側
(模型実験でのボーリング発生時)