

浸透流解析を用いた不飽和地盤の透水性評価手法

独立行政法人土木研究所 正会員 山口嘉一
独立行政法人土木研究所 正会員 ○下山顕治

1. はじめに

ダム基礎地盤の透水性は、一般に多段階の定圧注水試験であるルジオンテストにより評価される¹⁾。しかし、地下水面上の不飽和帯では、非定常浸透の影響により、透水試験の実務的な注水時間程度では各注入圧力段階における定常流量が得られず、結果的に透水性を過大に評価してしまうおそれがある。このような地盤では、長時間透水試験²⁾のように通水時間を長くして定常流量を得る方法が考えられるが、工期やコストの観点から、この試験方法を数多く実施することは難しい。

本研究では、飽和-不飽和浸透流解析を用いて、実務的な実施時間の透水試験結果から飽和透水係数の評価に必要な安定流量を推定する方法について検討した。

2. 浸透流解析による透水試験における安定流量の推定方法の検討

浸透流解析を用いて、実務的な試験時間の透水試験における注入流量データから安定流量を推定するためには、注入流量の絶対値や、その非定常浸透状況を再現する必要がある。注入流量の絶対値やその非定常浸透状況は、地盤の透水係数に影響を受けるため、実測データのフィッティングには、最適な透水係数を設定する必要がある。しかし、透水係数を種々変化させて繰り返し浸透流解析を実施することは、計算労力が膨大となり、現実的ではない。ここでは、浸透流解析において、地盤透水係数が注入流量の絶対値やその非定常浸透状況に与える影響を検討し、その結果を受けて最適な地盤透水係数を合理的に設定する方法を検討する。

2.1 地盤透水係数が非定常浸透状況に与える影響

地盤透水係数が注入流量の絶対値やその非定常浸透状況に与える影響を検討するために、透水係数のみが異なる同一条件下の飽和-不飽和浸透流解析を実施した。表-1に解析モデル諸元を、図-1に解析モデルを示す。不飽和浸透特性は、10Lu相当の飽和透水性を有する軟岩地盤を想定し、山口、池澤²⁾の研究と同じものを用いた。解析ケースを表-2に示す。解析は、地下水位を試験区間よりも下方で2種、有効注入圧力は一定圧とした2種の組合せの4ケースとし、それぞれのケースについて地盤透水係数を $1.3 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ (1Lu相当)～ $1.3 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ (100Lu相当)の中で5種設定した。なお、ここに示す地盤透水係数は、飽和透水係数である。

図-2に、解析結果の例として、有効注入圧力 0.49MPa、地下水位 G.L.-22.5mの注入流量時系列を示す。透水係数が大きいほど注入流量は多くなり（上方に移動し）、透水係数が小さいほど注入流量が安定する時刻が遅くなる（右側に移

表-1 解析モデル諸元

モデル半径 (m)	30
モデル高さ (m)	25
試験孔径 ϕ (mm)	66
試験区間上端深さ (m)	10
試験区間長 L (m)	5
比貯留係数 S_s (1/cm)	1.0×10^{-7}
間隙率 n	0.2

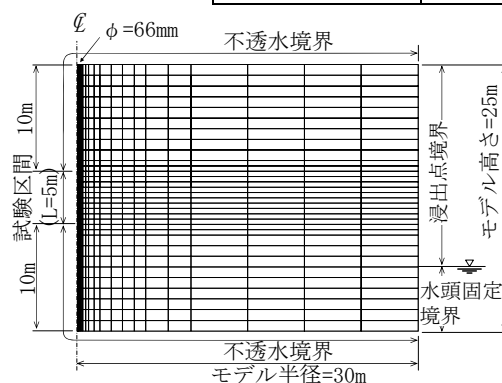


図-1 解析モデル

表-2 解析ケース

地下水位 (G.L.m)	-15, -22.5
有効注入圧力 (MPa)	0.098, 0.49
地盤透水係数 k (cm/s)	1.3×10^{-5} , 6.7×10^{-5} , 1.3×10^{-4} , 2.7×10^{-4} , 1.3×10^{-3}

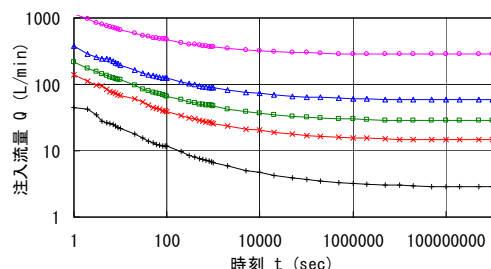


図-2 注入流量時系列(有効注入圧力 0.49MPa, 地下水位 G.L. -22.5m)

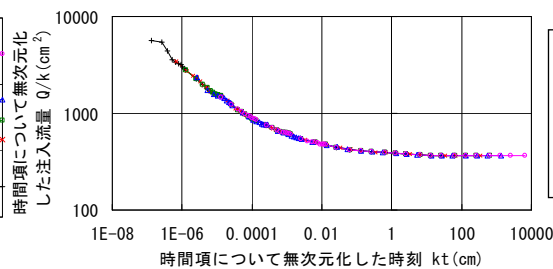


図-3 時間項について無次元化した注入流量時系列 (有効注入圧力 0.49MPa, 地下水位 G.L. -22.5m)

キーワード 不飽和地盤, 非定常浸透, 飽和 - 不飽和浸透流解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 独立行政法人土木研究所 TEL: 029-879-6781

動する)。つぎに、注入流量および時刻を、透水係数 k を用いて時間項について無次元化し、その合致の度合いを確認した。

図-3 に時間項について無次元化した注入流量時系列を示す。全ての地盤透水係数における時間項について無次元化した注入流量はほぼ一致し、一本の曲線となった。このことから、透水係数以外の条件が同一であれば、流量軸に透水係数の比、時間軸に透水係数の比の逆数を乗じることで、任意の透水係数の注入流量時系列が得られることが分かる。

2.2 浸透流解析による安定流量の推定方法の提案

2.1 の検討結果をもとに、浸透流解析を用いた安定流量の推定方法を以下のように提案する。

(1) 原位置試験により得られた注入流量を $Q_A(t)$ 、原位置試験を再現した浸透流解析結果の注入流量を $Q_B(t)$ とする。

(2) $Q_B(t)$ を、 $Q_A(t)$ と一致するように次式によりフィッティングする。得られた注入流量を $Q_{BT}(t)$ とする。

$$Q_{BT}(t) = \alpha Q_B(\alpha t) \quad (\alpha: \text{補正係数})$$

(3) $Q_{BT}(t)$ から安定流量を得る。

3. 実ダムの長時間透水試験データによる検証

本手法を実際の透水試験結果に適用し、その精度について検証した。検証に用いた実測データは、大保脇ダム左岸リム部で行われた長時間透水試験結果のうち、強い非定常の傾向が見られた 2BL,2.1St とした³⁾。解析モデルを図-3 に示す。有効注入圧力は実測データと同じ 0.136MPa とし、モデルの透水係数は $1.3 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ とした。なお、不飽和浸透特性を変化させて解析を実施しても非定常浸透状況には大きな変化が見られなかったため、不飽和浸透特性等は 2.1 で用いたものと同じとした。

検証手法は、試験初期のデータを用いて注入流量のフィッティングを行い、試験終了時の実測データと解析結果の注入流量を比較することで検証した。なお、実測データには、生データのばらつきが大きいので 10 分移動平均値を用いた。フィッティングに使用する時刻は、生データにおいて、試験開始直後に注入流量に大きな乱れが認められたため、その影響を避けるために、60～120 分のデータを用いた。検証に用いる流量は、実測データにばらつきが見られるため、試験終了直前の 1 時間(206～265 分)の平均流量とした。

図-4 にフィッティング前後の注入流量時系列を示す。フィッティング前は解析結果と実測データには大きな差が見られるが、2.2 に示した方法によるフィッティング後の両者はほぼ一致しており、実測データを精度よく再現できていることが分かる。表-3 に最終 1 時間平均流量の検証結果を示す。実測データ 0.817L/min に対して解析結果は 0.809L/min であり、試験初期のデータから最終時刻の注入流量を高精度で予測できていることがわかった。

4. おわりに

飽和-不飽和浸透流解析において、地盤透水係数が注入流量の絶対値やその非定常浸透状況に与える影響について明らかにするとともに、実務的な試験時間の透水試験データより安定流量を推定する方法を提案した。さらに、本手法を実際の長時間透水試験データに適用し、試験初期のデータから最終時刻のデータを高い精度で推定できることを確認した。今後は多数の実測データへの適用により本手法の適用性の検証を進めるとともに、原位置試験への適用方法を検討する。

参考文献

- (財)国土技術研究センター編集：ルジオンテスト技術指針・同解説，大成出版社，2006.7.
- 山口嘉一，池澤市郎：不飽和地盤の定常浸透状態における飽和透水性の評価，土木学会第 63 回年次学術講演会，2008.10.
- 山口嘉一，安仁屋勉，池澤市郎，赤松利之：風化軟岩地盤の不飽和帯における長時間透水試験，地盤工学ジャーナル，Vol.3, No.3, pp.229-242, 2008.9.

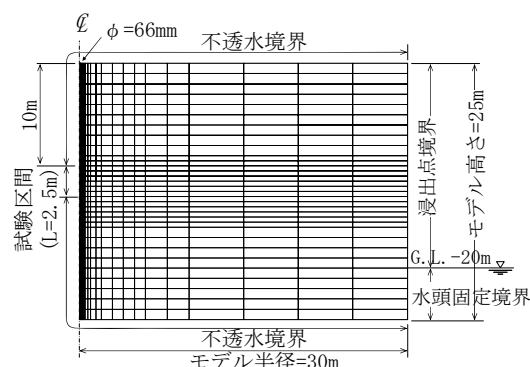


図-3 解析モデル

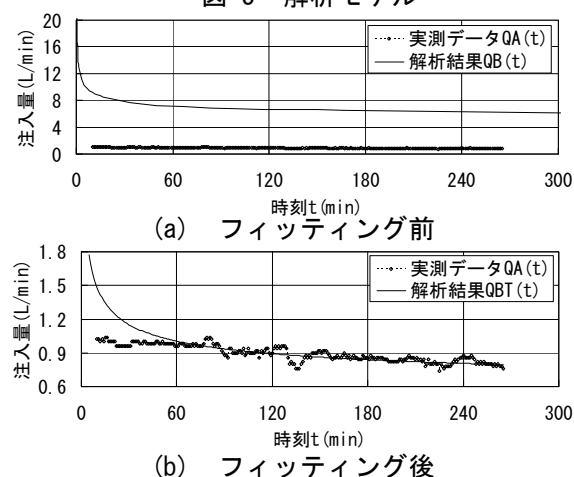


図-4 実測データと解析結果の比較

表-3 検証結果

補正係数 α	0.101
同定後の透水係数 (cm/s)	1.32×10^{-5}
最終 1 時間平均流量(解析) (L/min)	0.809
最終 1 時間平均流量(実測) (L/min)	0.817