

不飽和地盤の定常浸透状態における飽和透水性の評価

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 ○池澤市郎

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、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⁾のような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のは難しい。また、定常流量が得られた場合でも、重力流の影響により地下水面下の飽和帯におけるポテンシャル流とは異なる流量になると考えられる。

本研究では、非定常の飽和-不飽和浸透流解析により有効注入圧力を1段階とした透水試験について、地下水位を変化させて数ケースを実施し、不飽和帯における重力流が定常流量に与える影響について定量的に検討した。また、非定常の浸透流解析結果に基づき、実務的な時間内における透水試験により、不飽和地盤における定常流量を推定する方法について議論した。

2. 飽和-不飽和浸透流解析

2.1 解析条件

飽和-不飽和浸透流解析に用いる解析モデルは、図-1に示す軸対称モデルとした。境界条件は、軸対称モデルの中心軸から15mの位置にある遠方側面の地下水位以下を水位固定境界、地下水位以上を浸出点境界、その他を不透水境界に設定した。解析モデルは、試験区間を地表から-10.0m~-12.5mの区間に設けるとともに、試験区間長を2.5m、試験孔半径を0.033mとした。試験区間に作用する有効注入圧力は一圧力として0.136MPa(圧力水頭13.85m相当)とした。解析に用いる物性値は、10Lu程度の多孔質媒体とみなせる地盤を想定して、飽和透水係数を 1.3×10^{-4} cm/secで等方と設定するとともに、比透水係数 K_r および負の圧力水頭 ψ と体積含有率 θ の関係である不飽和浸透特性などは、表-1および図-2に示すように設定した³⁾。

表-1 浸透流解析の入力物性値

間隙率	n	0.2
最小含水量	θ_r	0.0
有効体積含有率	θ_e	0.2
比貯留係数	S_s (cm ⁻¹)	1.0×10^{-7}

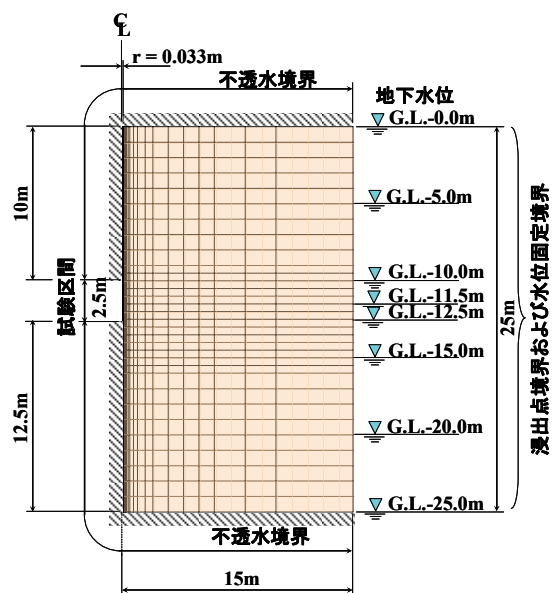


図-1 解析モデル

2.2 解析ケース

解析ケースは、試験区間が地下水位より深い状態でCASE1 (GL.-0.0m)とCASE2 (GL.-5.0m)、試験区間上端に地下水位がある状態でCASE3 (GL.-10.0m)、試験区間内に地下水位がある状態でCASE4 (GL.-11.5m)、試験区間下端に地下水位がある状態でCASE5 (GL.-12.5m)、試験区間が地下水位より浅い状態でCASE6 (GL.-15.0m)とCASE7 (GL.-20.0m)とCASE8 (GL.-25.0m)の8ケースとした。解析における注水時間は、流量が十分に定常状態に達すると考えられる長時間を想定して 1×10^6 秒(約12日)とした。

2.3 流量の経時変化

飽和-不飽和浸透流解析より得られた各解析ケースにおける流量の経時変化について比較を行い、試験区間と地下水位との位置関係による非定常浸透の影響や定常流量の違いについて検証した。流量の経時変化は、図-3に示すように、飽和帯における注入であるCASE1とCASE2では、注入初期の流量は 1×10^6 秒時の流量より若干大きく、これは注入時の水圧による地盤変形に起因する地盤内貯留による非定常浸透の影響と考えられる。CASE3では、徐々に地下水面上の不飽和領域に水が浸透していくことで、CASE1やCASE2より若干不飽

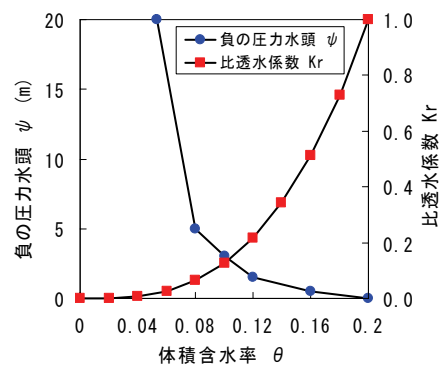


図-2 不飽和浸透特性

キーワード 不飽和地盤、非定常浸透、重力流、飽和-不飽和浸透流解析、定常流量

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 独立行政法人土木研究所 TEL029-879-6781 E-mail : yamaguti@pwri.go.jp

和浸透の影響を受け、相対的に強い非定常浸透の傾向があらわれたものと考えられる。CASE4～CASE7では、注入初期から流量の経時変化が大きく、地下水位が低いほどその差が大きい状況が確認できる。これは、不飽和領域による非定常浸透の影響に加え、地下水位が試験区間より低いほど、重力流の影響によって流量が増加したことが原因と考えられる。

3. 地下水位と安定流量の関係

各解析ケースにおける流量の経時変化より最終時刻値 (1×10^6 秒) を安定流量 Q_L とし、この Q_L をモデル地盤が完全に飽和帯で、透水試験における透水係数算出式の仮定となることが多い半無限地盤でのポテンシャル流に最も近いと考えられる CASE1 の安定流量 Q_{L1} で除した比率 (Q_L/Q_{L1}) を図-4 に示す。

この結果、同一有効注入圧力における今回の解析条件下において安定流量の比率は、地下水位が試験区間上端より浅い場合と試験区間内に位置する場合は、注水により地下水面が上昇する影響を受けるため、試験区間に近づくに従ってやや減少傾向を示した。また、地下水位が試験区間下端より深い場合は、地盤中に注水した水の流れがポテンシャル流ではなく重力流が主流になることにより安定流量は増加傾向を示すとともに、ある程度で収束する傾向が認められた。最も比率の大きなケースは地下水位が最も低い CASE8 で 15%程度 ($Q_L/Q_{L1}=1.15$) 過大に評価された。なお、飽和帯での試験実施を前提とした透水係数算出式を用いる場合、図-4 に示した安定流量の比率で流量を割り戻すことにより、飽和帯で試験を実施した場合の透水係数に補正できることを意味する。

4. 浸透流解析による定常流量の推定方法

3 章では地下水位と安定流量の関係を考察したが、浸透流解析結果より明らかなように、透水試験において定常(安定)流量を得るまでにはかなりの長時間を要することが想定される。そのため、実務的な時間の透水試験結果から定常流量を推定する方法について検討する必要がある。ここでは、浸透流解析を用いた推定方法の概要を述べる。

浸透流解析による定常流量の推定方法は、はじめに透水試験の実測値(流量の時刻歴データ)を再現することを目的とした浸透流解析による同定解析を実施する。なお、同定解析を実施する際には、透水試験の仕様や基礎地盤状況などを十分把握する必要がある。そして、実測値を再現した解析により得られた同定の物性値等を用いて、注水時間を長時間に設定した定常浸透状態までの浸透流解析を実施することで定常流量を推定する方法が考えられる。しかし、この方法は、実測データを再現する浸透流解析の精度の問題や不飽和地盤の全ての透水試験結果について浸透流解析を行うことは、多大な時間やコストがともなうなど実用化に向けての課題は少なくない。

5. おわりに

本研究では、非定常の飽和-不飽和浸透流解析により有効注入圧力を1段階とした透水試験について、地下水位を変化させた8ケースを実施し、不飽和帯における重力流が定常流量に与える影響について定量的に検討した。その結果、各解析ケースの安定流量の比率 (Q_L/Q_{L1}) による比較では、地下水位が試験区間上端より浅い場合と試験区間内に位置する場合は試験区間に近づくに従って安定流量は減少傾向を示し、地下水位が試験区間下端より深い場合は安定流量は増加傾向を示した。この比率 (Q_L/Q_{L1}) で透水試験における透水係数算出式による流量を割り戻すことにより、飽和帯で試験を実施した場合の透水係数に補正することができる。また、透水試験において定常(安定)流量を得るまでにはかなりの長時間を要することが想定されるため、実務的な時間の透水試験結果から定常流量を推定する方法について検討する必要があるが、今回は浸透流解析による定常流量の推定方法について概要を示した。今後は、透水試験の実測データを用いて浸透流解析による同定解析を実施することで、具体的な課題の抽出と、その対応策について検討を行うことで、浸透流解析による定常流量の推定方法について実用化に向けた研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) (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.
- 2) 山口嘉一，安仁屋勉，池澤市郎，赤松利之：不飽和軟岩地盤における長時間透水試験，第42回地盤工学研究発表会，2007.7.
- 3) 松本徳久，山口嘉一，弘末文紀：ルジオンテストの各種境界条件下での精度と結果の解釈，建設省土木研究所資料，第2518号，1987.11.

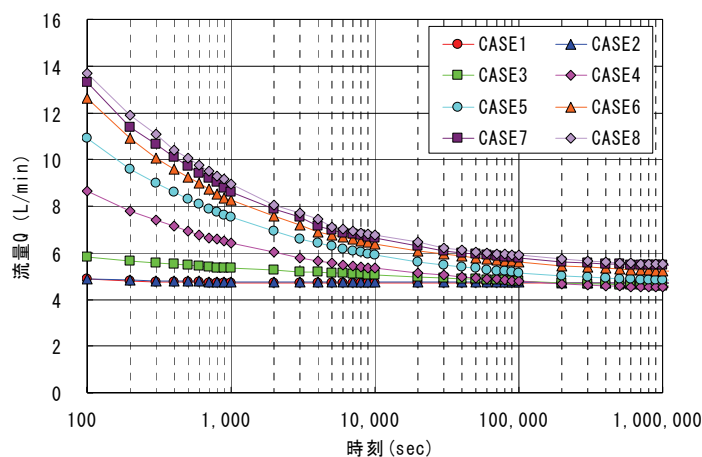


図-3 流量の経時変化

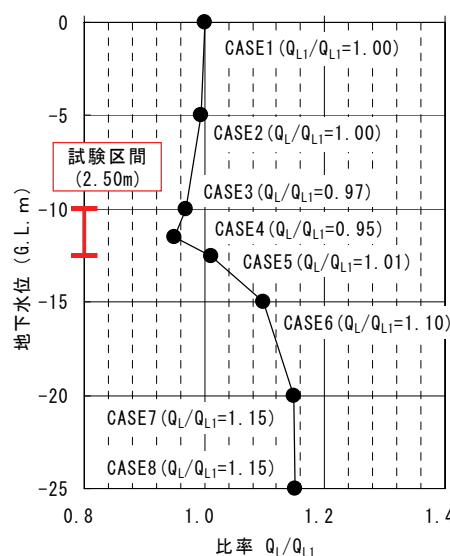


図-4 安定流量の比率 Q_L/Q_{L1}