

不飽和領域における水押し試験による透水性評価

独立行政法人土木研究所 正会員 山口嘉一, 中村洋祐, ○新家拓史

1. はじめに

近年、個々のダムサイトの地質条件が多様化するとともに、社会資本整備に対するコスト縮減への社会的要求が高まり、ダム基礎グラウチングについても、所要の止水性を確保したうえで、経済性を追求することが強く求められている。現在、ダム基礎グラウチングのコスト縮減を図るため、グラウチング施工中の透水試験である水押し試験の時間短縮に着目した無段階水押し試験の採用が検討されている¹⁾。しかし、試験区間が地下水面上の不飽和領域に位置する場合、主に非定常浸透の影響により透水性を過大に評価してしまう可能性が懸念される²⁾。本研究では、有限要素法を用いた飽和-不飽和浸透流解析により、不飽和領域における水押し試験での非定常浸透の影響を検討し、適正な透水性評価のための留意点を議論した。

2. 解析モデルと解析条件

飽和-不飽和浸透流解析には、図-1に示す軸対象モデルを用いた。対象地盤としては比較的透水性の大きい軟岩地盤を想定し、飽和時の透水係数を 1.0×10^{-4} cm/s (10Lu相当) とし、透水性は等方性と仮定した。不飽和浸透特性などの細部の入力物性については、文献2)を参考に、表-1および図-2に示すように設定した。試験区間長は実施工として一般的な5mとした。地下水位は、試験区間の孔底から-5mの位置に設定した。境界条件は図-1に示すよう

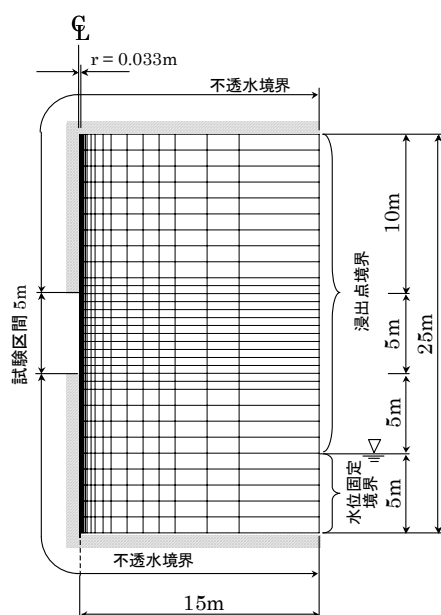


図-1 解析モデル

に、軸対象モデルの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。

段階および無段階の水押し試験の昇圧過程を図-3に示す。有効注入圧力は軟岩地盤での注入を想定し、最高有効注入圧力を0.20 MPaに設定した。段階水押し試験では、0.04 MPa、0.08 MPa、0.12 MPa、0.16 MPa、0.20 MPaの5つの圧力段階を設定したうえで、段階水押し試験の数値解析上の仮定として各圧力段階において5分間の圧力一定時間を設定した。無段階水押し試験は連続的に0.20 MPaまで昇圧した。注入圧力の圧力上昇速度は、一般的な0.10 MPa/minとした。

表-1 浸透流解析の入力物性値

間 隙 率 n	0.2
最 小 容 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}

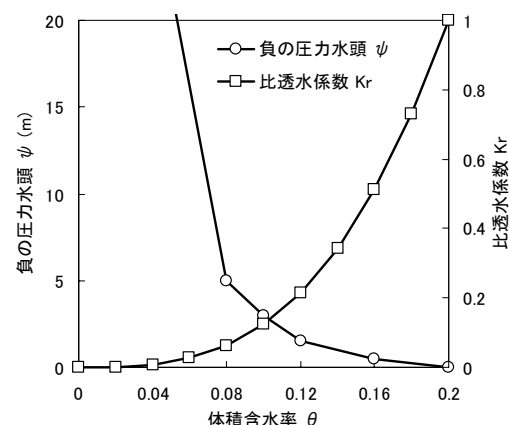


図-2 浸透流解析に用いた不飽和浸透特性

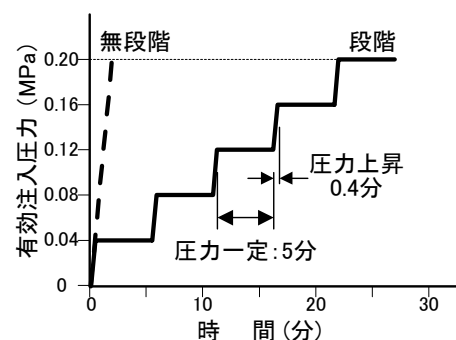


図-3 水押し試験の昇圧過程

3. 解析結果

浸透流解析の結果として得られた有効注入圧力 P と試験区間の注入量 Q の関係を表した P - Q 曲線を図-4に示す。また、段階水押し試験で設定した各有効注入圧力に対応する注入量の値の一覧を表-2に示す。ここで、段階および無段階の水押し試験の解析に加えて、設定した各有効注入圧力一定の条件下で非定常解析を行い、各圧力における注入量の収束値を検討した。図-5に各圧力での注入量の経時変化を示す。図より、各圧力ケースとも、

キーワード ダム基礎グラウチング, 無段階水押し試験, 不飽和, 非定常浸透流解析

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

解析初期に注入量が大きく減少し、注入時間が1時間で概ね定常状態に収束したと判断して、注入開始から1時間後の注入量を「不飽和定常」の注入量として採用した。また、「飽和定常」とは、地下水位をモデル上端に設定し、解析モデル

表-2 浸透流解析により得られた各有効注入圧力における注入量

有効注入圧力 (MPa)	不飽和定常 (cm ³ /s)	段階水押し試験 (cm ³ /s)	無段階水押し試験 (cm ³ /s)	飽和定常(参考) (cm ³ /s)
0.04	71.00 (1)	113.04 (1.59)	222.16 (3.13)	29.72
0.08	118.31 (1)	165.96 (1.40)	338.26 (2.86)	59.45
0.12	163.24 (1)	212.74 (1.30)	403.90 (2.47)	89.18
0.16	205.46 (1)	255.98 (1.25)	468.10 (2.28)	118.98
0.20	243.50 (1)	293.88 (1.21)	505.43 (2.08)	148.70

ルを飽和状態にして実施した定常解析での注入量で、参考値として記載した。なお、図-4 中の実線は設定した5つの圧力段階における定常値を結んだ線で、点線は非定常解析結果として得られた時々刻々のデータを示している。表-2 中の()内の数値は、不飽和定常の注入量を1とした場合の各ケースの比率を表している。

この結果、得られた注入量は、不飽和定常、段階水押し試験、無段階水押し試験の順に大きくなり、無段階水押し試験のほうが他より透水性をかなり過大に評価することがわかる。特に、注入圧力が低いほどその傾向は顕著で、有効注入圧力が0.04MPaの場合、無段階水押し試験の注入量が不飽和定常と比較して3倍程度、段階水押し試験と比較して2倍程度である。また、不飽和定常の注入量は、完全に定常状態の値ではないが、飽和定常の注入量の2倍程度の値であり、地下水面上の不飽和地盤においては、定常注入量が得られたとしても基礎地盤の透水性を大きめに評価することがわかる。

次に、表-2 に示した各圧力段階における有効注入圧力と注入量の5データを用いた直線近似によりルジオン値を算出した。各ケースのルジオン値を表-3 に示す。表より、不飽和定常と段階水押し試験のルジオン値は、各圧力段階での注入量の差にもかかわらず、ほぼ同程度の値を示す。また、無段階水押し試験のルジオン値は、段階水押し試験のルジオン値に比較し、1.54 倍(=21.48/13.92)大きく評価されることがわかる。

4. まとめ

本研究では、地下水面が試験区間より低い不飽和地盤における水押し試験時の非定常浸透の影響を定量的に把握することができた。浸透流解析の結果、軟岩地盤のように注入圧力を低めに設定しなければならない地盤の不飽和領域において、無段階水押し試験を実施すると、得られる透水性は実際よりもかなり大きくなるため、無段階水押し試験の採用にあたっては十分な検討が必要と考えられる。なお、解析の都合上、段階水押し試験を対象とした解析では、各圧力段階での圧力一定時間を一律5分間とし5分後の注入量を採用して結果の分析を実施したが、実施工においてはダムごとの判断基準によって定常状態の確認や注入量の算出を実施しており、圧力一定時間の妥当性については今後も検討が必要である。

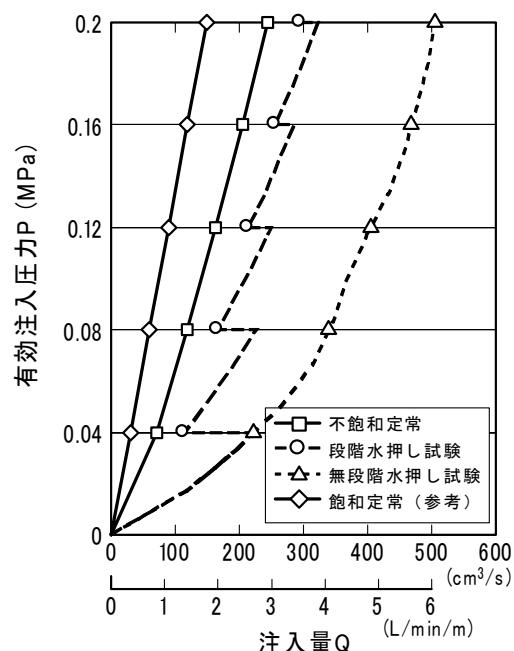


図-4 浸透流解析により得られた P-Q 曲線

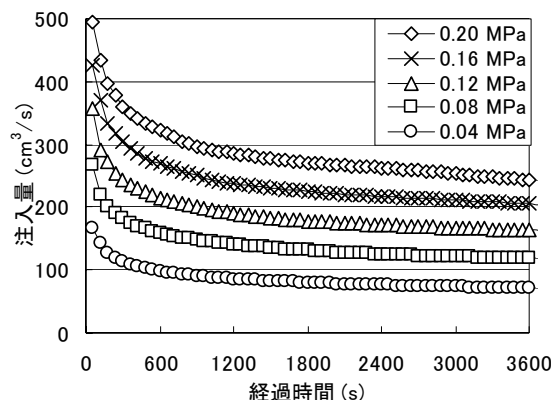


図-5 不飽和定常注入量の推定

表-3 浸透流解析結果から算出したルジオン値

試験/解析条件	ルジオン値
不飽和定常	13.44 Lu
段階水押し試験	13.92 Lu
無段階水押し試験	21.48 Lu
飽和定常(参考)	9.05 Lu

参考文献

- 1) 永山 功、吉田 等、宮内茂行、名波義昭、井川貴史：基礎岩盤グラウチングにおける水押し試験の合理化の試み、ダム技術、No. 176、pp. 3-12、2001. 5.
- 2) 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.