

Ⅲ - 116

亀裂性岩盤の透水係数と間隙率の測定方法に関する研究

岡山大学環境理工学部 正会員 西垣 誠
 東京電力（株） 正会員 玉井 猛
 岡山大学大学院 学生会員 吉岡 進

1. はじめに

地下水面より上部の不飽和状態での透水性の良い亀裂性岩盤の浸透特性を明確にし、その結果より、止水のためのグラウトの設計をする必要が数々の土木工事で遭遇している。

本研究では、不飽和状態の地盤に定流量注水試験を実施し、その時の注入圧の経時変化より地盤の透水係数と間隙率を測定する方法を提案する。

2. 地盤の浸透特性の測定法

図-1に示すように注入孔より Q なる一定流量で注入したときの r だけ離れたところの注入流量は、

$$Q = 2\pi rLv = -2\pi rLk \frac{\partial h}{\partial r} \quad (1)$$

ここで、 L は図-1に示す。 k は透水係数で、 h は全水頭である。注入孔の上下からルイ・メナールの方法と同じように注入すると、中央の浸透は水平流となると仮定できる。したがって、流入総量(Qt)は、次式の関係を得る。

$$Qt = \pi R^2 Ln_e - \pi r_0^2 L \quad (2)$$

ここで、 R は浸潤前線までの半径、 r_0 は注水井の半径、 n_e は地盤内の有効間隙率である。

式(1)を積分して、 $r=r_0$ で $h=h_0$ 、 $r=R$ で $h=h_c$ なる境界条件を用いると、次式を得る。ここで h_c は地盤内の水頭である。

$$h_0 = \frac{Q}{2\pi kL} (\ln R - \ln r_0) + h_c \quad (3)$$

式(2)より R は次のように表される。

$$R = \left(\frac{Qt}{\pi Ln_e} + \frac{r_0^2}{n_e} \right)^{1/2} \quad (4)$$

ここで、 t が大きい場合($t > 100s$)では、右辺の第2行は無視できる。

したがって、注入孔内の水頭の上昇は、次式になる。

$$h_0 \div \frac{2.30Q}{4\pi kL} (\log t + \log \frac{Q}{\pi Ln_e r_0^2}) + h_c \quad (5)$$

式(5)より、近傍の2本の試験孔で注入流量を Q_1 、 Q_2 と変えた試験を行い、それぞれの水頭の上昇と時間の関係を $h_0 - \log t$ グラフに整理する。このグラフの直線部分の勾配 m_1 とある時間 t における水頭の値 h_1 より飽和透水係数 k_s 及び有効間隙率 n_e 、地盤内の初期の水頭 h_c は、次式により算定できる。

$$\text{飽和透水係数 } k_s = \frac{1}{2} \left(\frac{2.30Q_1}{4\pi Lm_1} + \frac{2.30Q_2}{4\pi Lm_2} \right) \quad (6)$$

$$\text{有効間隙率 } n_e = 10^x \quad x = \frac{(h_1 - h_2) - (\alpha_1 - \alpha_2)}{(m_2 - m_1)} \quad (7)$$

$$\alpha_i = m_i \log t + m_i \log \frac{Q_i}{\pi L r_0^2} \quad (i=1, 2)$$

$$\text{地盤の初期水頭 } h_c = h_1 - \alpha_1 + m_1 \log n_e \quad (8)$$

3. 不飽和地盤の定流量注入解析

3.1 解析方法

今回用いた解析モデルを図-3に示す。このモデルを用いて、定流量注入試験を行い得られた結果より飽和透水係数と有効間隙率を2.において述べた理論に基づいて算定するものである。注入流量は、 $Q_1=30(\text{cm}^3/\text{sec}/\text{m})$ および $Q_2=40(\text{cm}^3/\text{sec}/\text{m})$ と設定し、地盤の飽和透水係数は、鉛直方向、水平方向ともに $k_s=1.0 \times 10^{-4}(\text{cm}/\text{sec})$ と入力

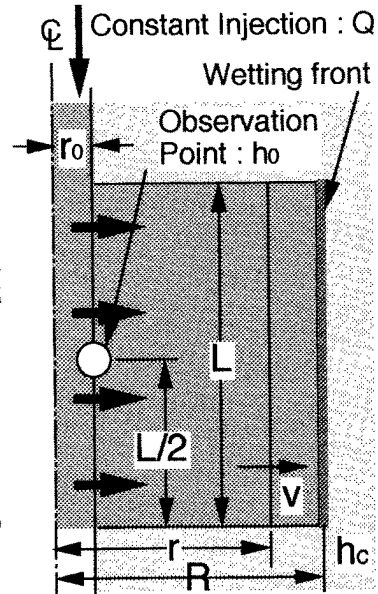


図-1 試験の概念図

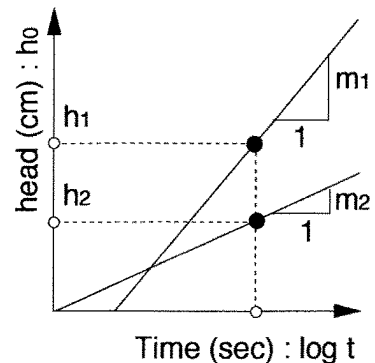


図-2 浸透特性の測定法

し、地盤の圧力水頭を-400(cm)と入力することにより地盤の有効間隙率は0.151である。

3.2 浸潤前線の拡張

今回用いた方法の利点は、中央の試験区間からの流体の浸透は、上下に構成されている補助の注入区間の浸透によって、水平な平行流となって円筒状流になると考えられる。この効果を確かめるために、補助の注入区間を設けない方法と今回用いた方法の両方を用いて定流量注入試験($Q=30(\text{cm}^3/\text{sec}/\text{m})$)を行い不透水境界からの高さ $z=1437.5\text{cm}$ の延長上の鉛直上方の流速を時間ごとに計算し比較した。その結果より、今回用いた方法では、補助の注入区間なしに比較して、斜め方向への流れが小さいことが良く分かり2.で述べた仮定を満足していることがよくわかる。なお、初期状態では重力の影響のため透水係数分だけ流速が鉛直下方を向いている。また、浸潤面の広がり時間変化については、解析結果と理論解を図-6において比較したが、FEM解析解の方が若干浸潤スピードが速いものと思われるが、これにより本方法で地盤の浸透特性を測定できる範囲がわかる。

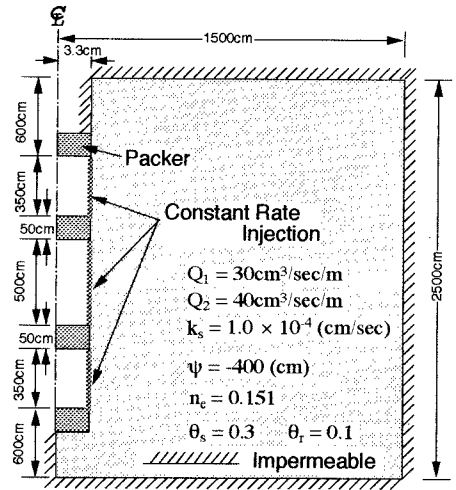


図-3 解析モデル

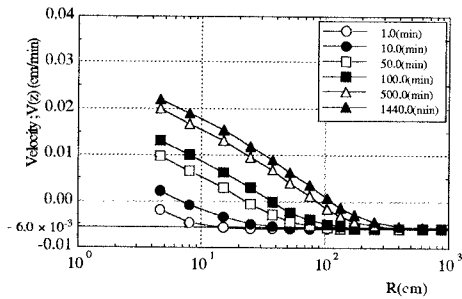


図-4 流速の経時変化（補助の注入区間なし）

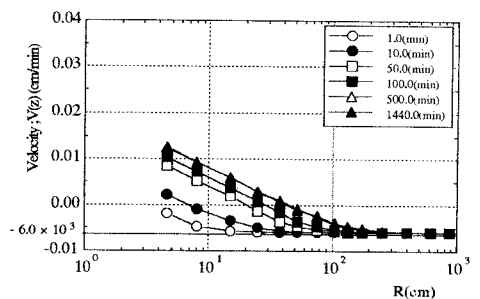


図-5 流速の経時変化（今回用いた方法）

3.3 飽和透水係数および有効間隙率の算定方法

定流量 $Q_1=30(\text{cm}^3/\text{sec}/\text{m})$ および $Q_2=40(\text{cm}^3/\text{sec}/\text{m})$ それぞれで定流量注入試験をシュミレートした結果を図-7に示す。このグラフの直線部分をとると、勾配は $m_1=556$, $m_2=747$ であり、式(6)(7),(8)に基づいて飽和透水係数、有効間隙率と地盤の初期水頭を計算すると表-1のようになった。得られた結果と入力データとを比較すると良い一致を得ている。したがって、ここで提案した方法が有用な方法であると考えられる。

表-1 算定できた地盤の飽和透水係数と有効間隙率と水頭

	飽和透水係数	有効間隙率	初期水頭
入力データ	$1.00 \times 10^{-4} (\text{cm}/\text{sec})$	0.151	-400.00 (cm)
ルイ			
メナール法	$9.83 \times 10^{-5} (\text{cm}/\text{sec})$	0.155	-389.77 (cm)

参考文献

Louis, C. : Rock Hydraulics, B. G. R. M. Report, Orleans, 1974.

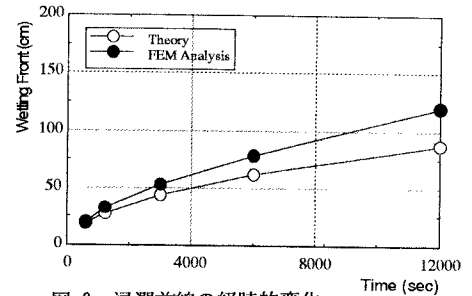


図-6 浸潤前線の経時変化

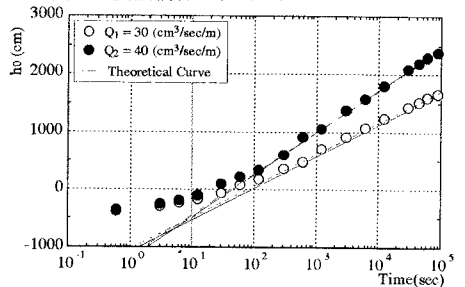


図-7 注入孔中心の水頭の経時変化