

III-78

単一亀裂性岩盤における浸透特性に関する研究

岡山大学工学部 正会員 西垣 誠
東京電力(株) 正会員 荻原 義孝
広島県庁 正会員○正田 武

1. はじめに

従来の亀裂性岩盤の透水性の評価手法¹⁾は、巨視的に捉えた時に平均流速が小さいならばダルシー則が成り立つとしてルジオン試験結果を以下の式で評価する。

$$k = \frac{Q}{2\pi Lh_0} \ln(L/r_0) \quad (1)$$

ここで、 h_0 :ボーリング孔水頭(cm)、 L :試験区間長(cm) (ただし、 $L \geq 10r_0$) r_0 :ボーリング孔径(cm)

しかし、実際の岩盤内の流況は割れ目部分の水みちが卓越し、割れ目部分で乱流が発生する。一方、ダム湛水後に岩盤に発生する動水勾配は小さく、層流状態で流れていると考えられる。そのため、式(1)で求めた透水係数は層流状態の透水係数より乱流損失の分過小評価してしまう。

本研究はルジオン試験結果から乱流を考慮した透水性を評価する解析手法を提案し、ルジオン試験をモデル化した軸対称モデルの室内透水実験結果からその妥当性を検証する。

2. 乱流を考慮した理論式

ルジオン試験を実施した際の乱流領域($r_0 \leq r < r_c$)および層流領域($r_c \leq r \leq L$)を図-1のように仮定し、各領域の流れ形態の基本式を示す。

(乱流域)

乱流状態での抵抗則としては、以下の式が一般的に知られている。²⁾

$$i = Cv^n \quad (2)$$

ここで、 i :動水勾配、 v :流速(cm/sec)、

C, n :乱流の抵抗則を示す定数

乱流から層流に移行する半径(r_c)の流速を v_c とすると式(1)とダルシー則より

$$i_c = Cv_c^n \quad (3)$$

$$i_c = \frac{v_c}{k} \quad (4)$$

ここで、 $i_c: r_c$ での動水勾配

また、連続式より

$$v_c = \frac{Q}{2\pi Lr_c} \quad (5)$$

式(3)、(4)、(5)より乱流抵抗則 $C(Q)$ は次のように定義できる。

$$C(Q) = \frac{1}{k} \cdot \left(\frac{Q}{2\pi Lr_c} \right)^{1-n} \quad (6)$$

次に式(6)と連続式から

$$i = \frac{\partial h}{\partial r} = C(Q) \left(\frac{Q}{2\pi Lr} \right)^n \quad (7)$$

式(7)の微分方程式を $r: r_0 \rightarrow r_c, h: h_0 \rightarrow h_c$ で解くと

$$h_0 - h_c = \left(\frac{Q}{2\pi L} \right)^n \frac{C(Q)}{1-n} (r_c^{1-n} - r_0^{1-n}) \quad (8)$$

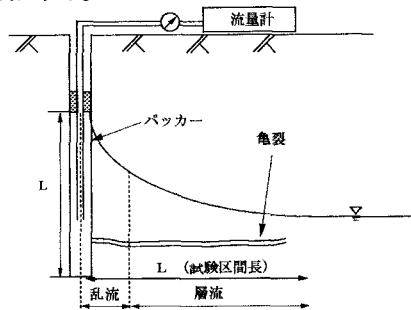


図-1 ルジオン試験時の地盤内流況
(層流域)

層流時の運動方程式は次のようである。

$$i = \frac{v}{k} \quad (9)$$

ここで、 k :層流時の透水係数

層流域については式(9)と連続式より

$$i = \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{1}{k} \cdot \left(\frac{Q}{2\pi Lr} \right) \quad (10)$$

式(11)の微分方程式を $r: r_c \rightarrow L, h: h_c \rightarrow 0$ で解くと次のように定義できる。

$$h_c = \frac{Q}{2\pi Lk} \ln(L/r_c) \quad (11)$$

乱層流状態の流れ形態は式(8)、(11)を合成すると

$$h_0 = \frac{Q}{2\pi Lk} \ln(L/r_c) + \left(\frac{Q}{2\pi L} \right)^n \frac{C(Q)}{1-n} (r_c^{1-n} - r_0^{1-n}) = \alpha Q + \beta Q^n \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{1}{2\pi Lk} \ln(L/r_c) \quad (13)$$

$$\beta = \left(\frac{1}{2\pi L} \right)^n \frac{C(Q)}{1-n} (r_c^{1-n} - r_0^{1-n}) \quad (14)$$

解析手順はルジオン試験によって得られた注入圧力($h_0=h_1, h_2, h_3, \dots$)に対する注入流量値($Q=Q_1, Q_2, Q_3, \dots$)を両対数紙上にプロットし、乱流の発生を確認する。そして乱流の発生したデータを少なくとも3点以上採取する。そのデータを式(11)に代入することで n, α, β を決定する。そして決定した n, α, β を式(12)、(13)に代入して、その流量に対する r_c, k が決定する。

3. 軸対称モデルの室内透水実験

ルジオン試験をモデルにした平行平板の軸対称透水実験の結果を用いて乱流を考慮した理論式の妥当性を検証する。

(1) 実験装置および方法

図-2に示す軸対称形状の間隙幅0.03(cm)、試験区間長(15 r_e)の平行平板モデルを作成した。実験方法は注入孔に一定の水圧をかけ、亀裂内流量が定常状態になった時の流量と亀裂内の水頭分布をマノメータで測定した。

(2) 実験結果

マノメータで計測した損失水頭値から換算したレイノルズ数分布を図-3に示す。この結果から逐次減少型の要因はボーリング孔近傍に発生する乱流損失が大きく作用していると考えられる。また層流域から換算した透水係数(k)と乱層流域境界半径(r_e)の結果を表-1に示す。

表-1 実験結果

h_o (cm)	Q (cm ³ /sec)	r_e (cm)	k (cm/sec)
255.5	108.13	4.3	7.44
297.3	121.87	5.3	7.41
338.0	134.69	6.3	7.75

(3) 乱流を考慮した理論式の検証

ボーリング孔内の水頭と流量の関係を両対数紙上にプロットした図を図-4に示す。この図から流量が逐次減少している部分を確認する。ここでは h_o :255.5cm, 297.3cm, 338.0cmであるため、このデータを式(12)に代入して n 、 α 、 β を決定した。その結果、 $n=1.8$ 、 $\alpha=1.6$ 、 $\beta=0.018$ となった。得られた n 、 α 、 β から式(12)、(13)を用いて、各流量値から提案式より換算した透水係数および乱層流域境界半径の算定結果を表-2に示す。

表-2 乱流を考慮した理論式から換算した結果

h_o (cm)	Q (cm ³ /sec)	r_e (cm)	k (cm/sec)
255.5	108.13	6.7	6.66
297.3	121.87	6.9	6.52
338.0	134.69	7.2	6.40

表-1と表-2の結果を比較すると算定した乱層流域境界半径が実験値より若干大きい値になったため、透水係数も少し低い値になったが、実験値から得られた透水係数の10%減程度であるので十分誤差範囲であると考えられる。したがって、乱流を考慮した理論式は層流状態の透水係数を算定するのに有効である。

4. おわりに

今回提案した乱流を考慮した理論式は乱流の発生した平行平板モデルで層流時の透水係数を算定することができた。また室内透水実験の結果からボーリング孔近傍において乱流が発生することが判明した。そのことからルジオン試験の場合もボーリング孔近傍の亀裂部分で乱流損失が実際の透水係数を過小評価していることが推察できる。

(参考文献)

- 財団法人国土開発技術研究センター：軟岩地盤の遮水工法、pp6-10、1984。
- 建設省土木研究所：ルジオンテストの各種境界条件での精度と結果の解釈、ルジオンテストにおける乱流影響、土木研究所報告第2518号、pp222、1987.11。

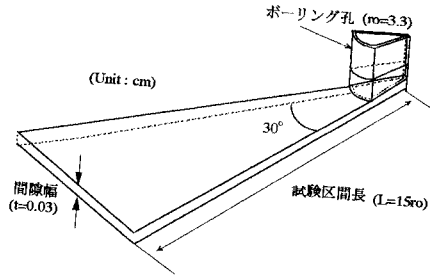


図-2 平行平板モデル

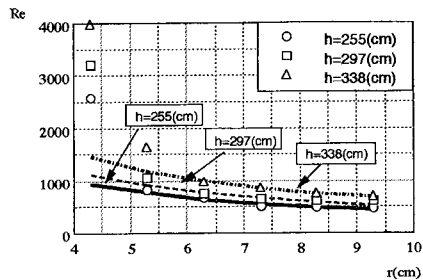


図-3 レイノルズ数分布

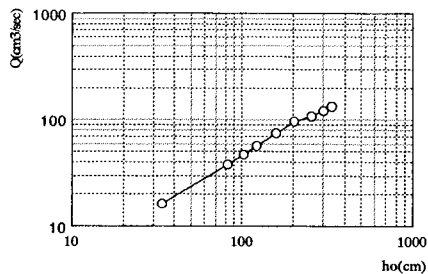


図-4 h_o - Q 曲線図