

Ⅲ-119

亀裂性岩盤の止水工法に関する研究

岡山大学 正会員 西垣 誠
 東京電力 正会員 ○玉井 猛
 東京電力 正会員 岸 祐和
 日本道路公団 光田 剛史

1. 概説

岩盤にグラウトを施行する際にそのグラウトの注入量また岩盤の持つ有効間隙率を正確に把握できれば、現在のグラウトはより効率的なものとなる。そこで本研究は、より効率的なグラウトのボーリング孔ビッチの設計指針を作成するため、岩盤モデルを二次元的、三次元的に捉え、定流量注入試験においてその浸透状況を把握し、透水係数および有効間隙率を求めようとするものである。

2. 平行平板注入試験

実験装置をFig.1に示すようにピストンから注入孔に一定流量で亀裂内に注入する。また、注入孔内の水压を測定するために注入孔付近に間隙水压計を設置し水压を計測した。ここで、 $t=0$ とする時間は圧力が上昇始めた時間になっている。また、実験装置は表面の粗度及び注入次の変形を少なくするために、パイレックス製のガラス板を使用した。

3. 実岩盤モデル注入試験

実際の岩盤は亀裂幅が一定でないため、注入流体が浸透しやすい経路ができると思われる。そこで、実岩盤をアクリルによって複製した亀裂モデルの実験装置(Fig.2)で平行平板と同様の実験を行い、間隙分布がどのように浸透に影響するか、また提案式より求められた透水係数にどれくらい影響するかを確認する。

4. 軸対称モデル提案式

この提案式は、不飽和状態での亀裂内に一点より流量(q_0)を注入した時の注入点での圧力(h_0)の上昇より、地盤の透水係数(k)と間隙幅(b)を求めようとする方法である。軸対称の場合の提案式は、時間が経過すると次のようになる。

$$h_0 = \frac{2.30q_0}{4\pi kb} \left[\log t - \log \frac{\pi b r_0^2}{q_0} \right] + h_c = m \log t + c \quad (1)$$

また、水頭の上昇をFig.3のように h_0 と $\log t$ で整理する。

Fig.3のそれぞれのY軸の切片(c_1, c_2)と傾き(m_1, m_2)の値より亀裂の間隙幅(b)と透水係数(k)の値は次式のように求められる。

$$b = 10^{-3} \quad (2)$$

$$c_3 = \frac{c_1 - c_2 + m_2 \log \frac{q_{02}}{\pi r_{02}^2} - m_1 \log \frac{q_{01}}{\pi r_{01}^2}}{m_2 - m_1} \quad (3)$$

$$k = \frac{2.30q_0}{4\pi b m} \quad (4)$$

5. 実験結果及び考察

平行平板モデルでは、流量($q_0=9.25, 12.7, 16.9 \text{ cm}^3/\text{s}$)、粘性(53.5cp)で行った。この h_0 - $\log t$ グラフの直線部分と見られる部分を選定したグラフをFig.4に示す。提案式の手法に従って不飽和透水係数、間隙幅を算定した結果をTable1に示す。これより、間隙幅の値は計測値とほぼ一致しており、不飽和透水係数の値は、飽和透水係数の値とほぼ一致することが分かる。

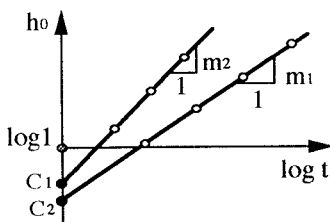
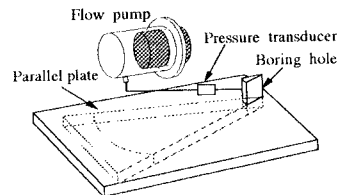
Fig.3 Relationship between h_0 and $\log t$.

Fig.1 Schematic view of parallel plate.

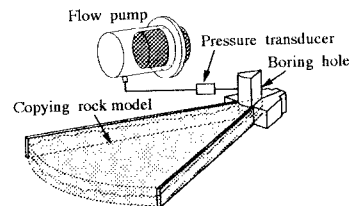
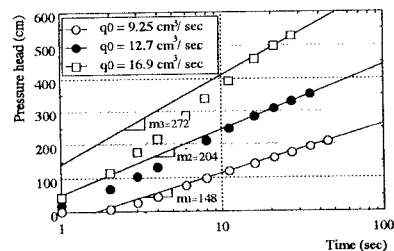


Fig.2 Schematic view of acrylic model.

Fig.4 Relationship between h_0 and $\log t$.

また、実岩盤モデルでは、粘性(142cp)、流量($q_0=23.4, 16.8 \text{ cm}^3/\text{s}$)で試験を行い、同様に整理した $h_0-\log t$ グラフをFig. 5に示す。このモデルの飽和、不飽和透水試験の結果をTable2に示し、レーザー変位計によって求めた平均間隙幅をTable3、間隙分布と浸潤の様子をFig. 6に示す。その結果、レーザー変位計と、提案式によって求めた間隙幅の値は、浸潤しにくいところがあるため若干の違いが見られた。また、透水係数は、理論値よりも若干小さくなった。しかし、飽和、不飽和透水係数の値はほぼ一致しており粘性による透水係数の過小評価は、ほとんど生じていないといえる。したがって、浸潤しにくい間隙幅が存在しても高粘性流体による透水係数への影響はほとんどなく、実岩盤亀裂に高粘性流体を注入しても問題のないことが判明した。

Table2 Result of acrylic model injection test.

粘性(cp)	間隙幅(cm)	不飽和透水係数(cm/s)	
142	9.60×10^{-2}	7.86×10^{-1}	
粘性(cp)	初期水頭(cm)	飽和透水係数(cm/s)	算定間隙幅(cm)
142	200	7.94×10^{-1}	1.17×10^{-1}
	150	7.84×10^{-1}	1.17×10^{-1}
	100	7.83×10^{-1}	1.17×10^{-1}

Table3 Calculated average void.

体積算定結果(cm^3/s)	平均間隙幅(cm)
38.9 (15° の体積)	1.19×10^{-1}

6. 三次元ロックマスモデル注入試験

二次元の提案式を発展させ、試験区間(L)を持つ地盤に対して浸潤面がボーリング孔に対して平行に進むと仮定して、透水係数と有効間隙率が求められる式は以下になる¹⁾。

$$h_0 = \frac{2.30Q}{4\pi Lk} \left(\text{Log} \frac{Q}{\pi L n_e r_0^2} + \text{Log} t \right) + h_e$$

ここで、 n_e :有効間隙率である。(5)

水頭の経時変化を二次元と同様に整理すると以下の式より透水係数と有効間隙率が求められる。

$$k = \frac{1}{2} \left(\frac{2.30Q_1}{4\pi L m_1} + \frac{2.30Q_2}{4\pi L m_2} \right) \quad (6)$$

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

7. 有効間隙率について

三次元ロックマスモデルの概念図をFig. 7に示す。モデルは木製ブロック(5×5×5cm)を水槽内に組み込むことで作成した。まず、提案式より求められる有効間隙率と漏水量を間隙体積として浸潤した全体積で除したもので求めた間隙率との比較をTable4に示す。この結果を見ても明らかに算定された有効間隙率と実際の有効間隙率はほぼ一致していると言える。さらに、提案式が多孔質媒体により定義されているため、ロックマスブロックを一辺5cmから2.5cmにして同様の試験を行った結果もTable4に示す。それより、一辺5cmにおいて求められた有効間隙率よりも2.5cmの方が精度良く求められていると言える。

8. おわりに

今回提案した地盤の浸透特性を測定する方法は、設定した透水係数及び有効間隙率がほぼ一致するため、有効な方法であると考えられる。

参考文献

- 1) 西垣 誠、吉岡 進：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。

Table1 Result of parallel plate

injection test.

流量(cm^3/s)	飽和透水係数(cm/s)	算定透水係数(cm/s)
9.25	2.71×10^{-1}	3.03×10^{-1}
12.7		2.84×10^{-1}
16.9		2.91×10^{-1}
間隙幅(cm)	算定間隙幅(cm)	
4.21×10^{-2}	0.038	
	0.040	
	0.039	

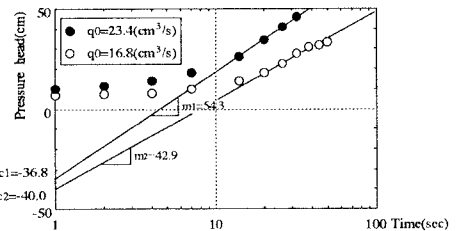


Fig.5 Relationship between h_0 and $\log t$.

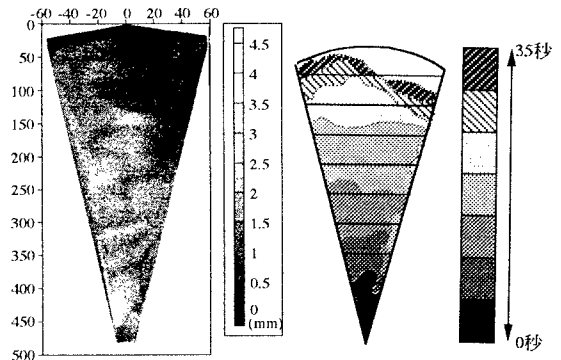


Fig.6 Distribution of void and seepage line.

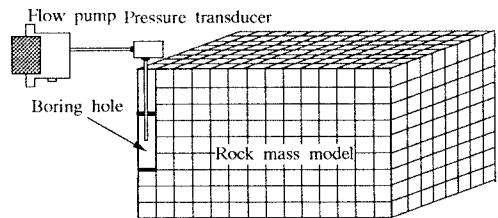


Fig.7 Schematic view of rock mass model.

Table4 Comparison between calculated effective porosity and actual porosity.

粘性(cp)	流量(cm^3/s)	算定有効間隙率	有効間隙率
142(5cm)	7.34	3.37×10^{-2}	2.03×10^{-2}
	4.72		2.01×10^{-2}
142(2.5cm)	6.85	6.64×10^{-2}	5.68×10^{-2}
	4.96		6.11×10^{-2}