

III-72 次元を考慮した透水係数算定手法についての一考察

ハザマ 正会員 千々松正和
岩手大学 正会員 小林 晃

1. まえがき

亀裂性岩盤の透水性を評価する目的で、原位置において単一孔透水、透気試験及び孔間透水、透気試験を行なった^{1) 2)}。本論では、孔間透水試験の結果を用い次元を考慮した透水係数の算定を行ない、流れの経路の次元と透水性の関係について検討を行なう。

2. 試験の概要及び透水係数の算定手法

試験場は日鉄鉱業保有の釜石鉱山の坑道である。本坑道は土被り約500m、岩質は花崗閃緑岩である。透水試験は15m離れて掘削された長さ30m、傾斜角60°の試験孔A、Bを使用し実施した。孔間試験は試験孔Bから注入を行ない、試験孔Aで圧力応答を観測した。試験区間を図1に示す。試験孔Bの2.80～7.93m区間からの注入により試験孔Aの2区間で明確な圧力応答が観測された。ここでは、試験孔Bの注入区間2.80～7.93mについて検討を行なう。

単一孔透水試験より、Hvorslev式により透水係数 k が算出される。

$$k = \frac{Q}{2\pi L h} \ln\left(\frac{L}{r_w}\right) \quad (1)$$

ここで、 Q は注入流量、 L は透水区間長、 h は注入水頭、 r_w は孔径である。

孔間試験結果からは以下に示す3通りの方法で透水係数を算出する。

- ① 注入点と観測点の距離 L を(1)式の $\ln(L/r_w)$ の L に代入し、測定圧力差を h に用いて、(1)式から透水係数を求める。
- ② Barkerの実数次元 n の放射状流れのモデルを参考に³⁾、定常状態を仮定した方程式を解き、異なる距離で透水係数のばら付きが最も小さくなる次元を求める。

この場合、透水係数は次式から求められる。

$$k = \frac{Q}{(n-2)b^{3-n}\alpha_n r_w^{n-2} h} \left\{ -\left(\frac{r_w}{L}\right)^{n-2} + 1 \right\} \quad (2)$$

ここで、 $\alpha_n = 2\pi^{n/2}/\Gamma(n/2)$ 、 Γ はガンマ関数、 b は透水区間長、 L は注入点と観測点の距離、 h は測定圧力差である。これより、 n 次元での透水係数を求めることができる。 $n=2$ の時は(1)式となる。

- ③ Barkerの実数次元の理論式を用い、定量注入試験のタイプカーブより、透水係数を算出する。Barkerにより理論式は次式のように得られている。

$$h = \frac{Q L^{2\nu}}{4\pi^{1-\nu} k b^{3-n}} \Gamma(-\nu, u) \quad (3)$$

ここで、 $\nu = 1 - \frac{n}{2}$ 、 $u = \frac{S_s L^2}{4kt}$ 、 S_s は比貯留係数、 b は透水区間長、 L は注入点と観測点の距離、 h は測定圧力差である。この式は $n=2$ の時はTheisの式となる。

3. 考察

単一孔透水試験結果から求められた透水係数、及び、上記の3つの方法を用い孔間試験結果から求められた透水係数を表1に示す。単一孔試験の結果は孔間試験注入区間に相当する区間の値を示している。図2

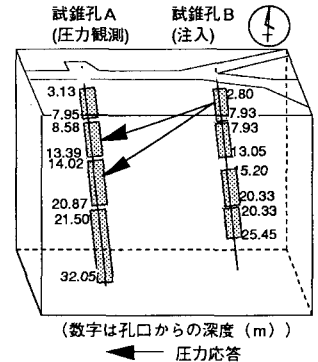


図1 孔間試験結果

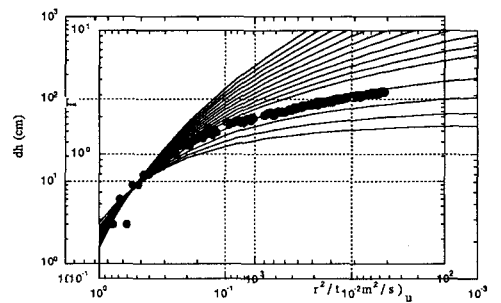


図2 フィッティング結果

には観測区間14.02～20.87で観測された圧力の算定手法③におけるフィッティング結果を示す。

今回の試験では試錐孔Bの4区間から注入を行なったにも関わらず、明確な圧力応答が観測されたのは1区間からだけであった。図3に示すように注入区間における注入圧力の経時変化を見てみると、圧力応答のあった注入区間（2.80～7.93）の経時変化は算定手法③のタイプカーブに乗っているが、圧力応答が見られなかったその他の注入区間の経時変化は急激な圧力上昇カーブとなるためタイプカーブにフィッティングさせることは難しい。

これは、③以外の様相の流れ方であるか、地盤に十分に注入されていないかであると思われる。

タイプカーブに乗った注入区間2.80～7.93の結果を見てみると、注入圧力の経時変化は図3に示すように $n=3$ のタイプカーブにフィッティングされた。また観測区間の経時変化は図2及び表1に示すように2区間とも2.25次元でフィッティングされた（算定手法③）。定常と影響半径を仮定した場合（算定手法②）は両区間とも1.6次元であった。注入点での次元が $n=3$ で、観測点では $n=2.25$ ということから不均一な場であることが推定できる。したがって、Karasakiの様に不均一を考慮したタイプカーブを用いる必要があると思われる⁴⁾、今までのような均一、2次元というタイプカーブでは亀裂性岩盤におけるデータを十分に評価できない可能性があると思われる。また、算定手法③では大体同様の距離の、異なる2地点で同じ次元が得られている。これより次元がその距離を表す指標になり得ることを示しているものと思われる。

4. 終わりに

今回、孔間透水試験のデータを用いて、次元を考慮して透水係数の算定を行なった。今後はさらに多くの原位置データを用いて透水性と次元の関係について検討を行なう必要があると思われる。

参考文献

- 1) 千々松他：亀裂性岩盤における透水及び透気試験結果について、土木学会第48回年次学術講演概要集、pp.1368～1369、1993。
- 2) 千々松他：亀裂性岩盤における透水性試験に関する一考察、第29回土質工学研究発表会投稿中、1994。
- 3) Barker, J.A. : A generalized radial flow model for hydraulic tests in fractured rock, Water Resources Research, Vol.24, No.10, pp.1976～1804, 1988。
- 4) Karasaki, K. : Well test analysis in fractured media, Ph.D.Thesis, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, 1987。

表1 各算定手法により求められた透水係数の比較

単一孔試験	注入区間		透水係数(cm/s)		
	2.8～5.3		1.12×10^{-4}		
	4.0～6.5		1.96×10^{-4}		
	6.5～9.0		5.86×10^{-5}		
孔間試験	注入区間	算定手法	観測区間	次元	透水係数(cm/s)
	2.80～7.93 5.11 l/min 0.78 kgf/cm ²	①	8.58～13.39	2.0	2.69×10^{-4}
			14.02～20.87	2.0	2.83×10^{-4}
		②	8.58～13.39	1.6	2.46×10^{-4}
			14.02～20.87	1.6	2.46×10^{-4}
		③	8.58～13.39	2.25	8.87×10^{-5}
			14.02～20.87	2.25	1.69×10^{-4}

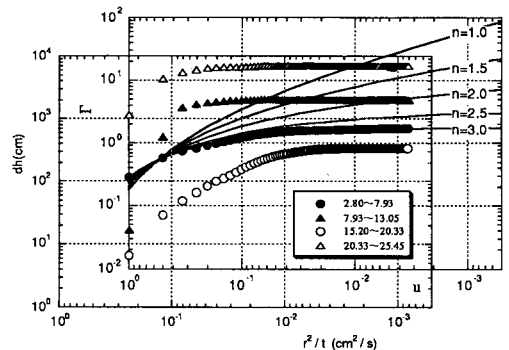


図3 注入圧力の経時変化