

岩盤割れ目を対象とした透水試験における交差割れ目の影響解析

電力中央研究所 正会員 ○田中 靖治
電力中央研究所 岡本 駿一

1. はじめに

透水試験の結果から岩盤割れ目の透水量係数を算出する理論式は、一般に単一の割れ目を対象として導かれている。しかし、結晶質岩では割れ目が単独で存在することはなく、複数の割れ目が互いに交差している。そこで、交差割れ目が透水試験結果に与える影響を明らかにするために、試験対象割れ目に多数の割れ目が交差するモデルで、数値シミュレーションによる検討を行った。

2. 解析方法

解析領域は一辺の長さ 100 m の立方体とし、試験対象割れ目として半径 15 m の水平な割れ目を解析領域の中心に設定した。そして、実際の花崗岩の割れ目統計量（石橋 他、2014）を参考にして表 1 に示す統計量を設定し、解析領域に確率論的に割れ目を発生させた。続いて、割れ目の確率場を乱さないために、発生させた割れ目の中から試験対象割れ目と同様な半径、方向の割れ目を一条削除した。さらに、発生した割れ目のうちで試験対象割れ目とは水理的に連続していない割れ目は、透水試験のシミュレーションに影響を及ぼさないため削除した。割れ目群は 10 通り作成した。割れ目群の例を図 1 に、試験対象割れ目面上の他の割れ目との交線の分布の例を図 2 に示す。試験対象割れ目の中心には直径 86 mm の揚水孔を設定し、さらに揚水孔から 2.5 m および 5 m の距離に 90° ピッチで計 8 個の水位観測点を設定した。発生した各割れ目の透水量係数 T は、スウェーデンの Äspö 地下研究施設の花崗岩割れ目に対して推定された次式により設定した（Dershowitz, et al., 2003）。

$$T = 5 \times 10^{-10} \times (2r)^{1.386} \tag{1}$$

ここで、 r は割れ目の半径である。試験対象割れ目の透水量係数は、この式により $5.6 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{sec}$ に設定したことになる。

上記の解析モデルに対し、当所が開発した地下水流動・溶質移行解析コード Fegm³を用いて、透水試験の数値シミュレーションを実施した。揚水流量は 0.1 L/min とし、解析領域の周囲境界の全水頭は 0 m に固定した。解析は、試験対象割れ目の透水量係数を一様としたケースに加えて、ボーリング孔近傍のスキン効果を考慮して揚水孔、水位観測点から半径 0.3 m の円内の透水量係数を 1/10 に低減したケースについても実施した。

3. 解析結果

10 通りの割れ目群に対する数値シミュレーションにより得
キーワード 透水試験, 透水量係数, 岩盤, 割れ目, 数値解析

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財) 電力中央研究所 TEL 04-7182-1181

表 1 割れ目発生統計量

		群1	群2	群3
三次元亀裂密度 $P_{32}(\text{m}^2/\text{m}^3)$		0.159	0.159	0.159
方向分布	Fisher分布 κ	10	10	10
	主走向	0°	90°	-
	主傾斜	90°	90°	0°
	主法線 x, y, z	1,0,0	0,1,0	0,0,1
半径分布	べき乗分布	$k_r=4.0, x_{min}=1.25$		
割れ目の透水量係数		$T=5.0 \times 10^{-10} \times (2r)^{1.386}$		
割れ目の厚さ		$b=2 \times T^{0.5}$		

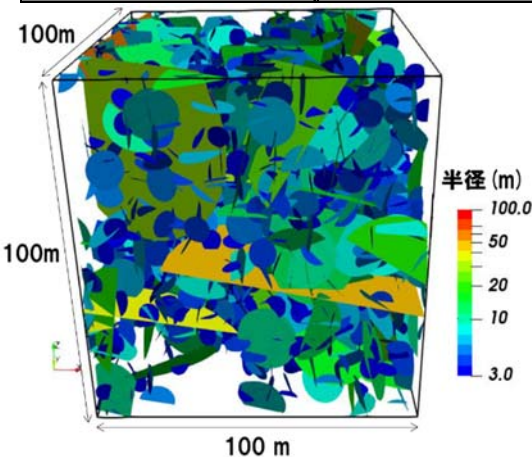


図 1 作成した割れ目群の例

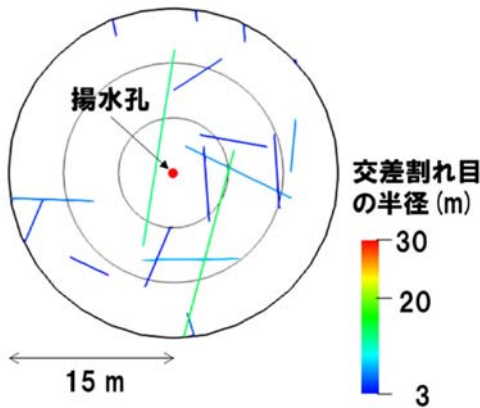


図 2 対象割れ目と他の割れ目との交線

られた揚水孔や水位観測点での水位低下量から、試験対象割れ目の透水量係数を算出した。数値シミュレーションは定常解析、非定常解析の両方を実施したが、非定常解析による水位の時間微分プロットが一定時間水平となることは無かった。そこで、以下に示す定常状態の揚水試験の理論解により透水量係数を算出した。

$$T = \frac{2.3Q}{2\pi(h_1 - h_2)} \log_{10}(r_1/r_2) \quad (2)$$

ここで、 T は割れ目の透水量係数、 Q は揚水流量、 h_i は揚水孔からの距離 r_i 離れた観測孔における水位である。

試験対象割れ目の透水量係数を一様に設定したケースの結果を図3に、スキン効果を考慮したケースの結果を図4に示す。これらの図より、透水試験から算出される透水量係数に交差割れ目が影響を与えていることがわかる。

対象割れ目の透水量係数を一様としたケースでは、揚水孔と境界（距離 50 m）の水位差から算出した透水量係数の平均値と中央値は透水量係数の設定値にほぼ等しいが、ばらつきがやや大きい。2.5 m 位置や 5 m 位置の観測孔と境界の水位差からの場合、中央値は設定値に近いが、平均値は設定値の 2.0 倍、4.7 倍と大きく、大幅な過大評価となるケースも多い。2.5 m 位置と 5 m 位置の観測孔の水位差からの場合、中央値は設定値の 1.2 倍、平均値は 1.5 倍とやや過大評価となる。揚水孔と 2.5 m 位置あるいは 5 m 位置の観測孔の水位差からの場合、1 つの割れ目群に対する結果を除いてばらつきは小さくほぼ設定値通りの透水量係数が算出された。

一方、スキン効果を考慮したケースでは、揚水孔との組み合わせでは境界、2.5 m 位置、5 m 位置の観測孔のいずれも大幅な過小評価となった。2.5 m 位置あるいは 5 m 位置の観測孔と境界の水位差からの場合、中央値は設定値にほぼ等しいが、平均値は設定値の 2.0 倍、4.8 倍と大きく、大幅な過大評価となるケースも多い。2.5 m 位置と 5 m 位置の観測孔の水位差からの場合、中央値は設定値の 1.1 倍、平均値は 1.4 倍の過大評価にとどまり、ばらつきも小さい。

4. まとめ

透水試験結果から算定される試験対象割れ目の透水量係数は、対象割れ目に交差する割れ目の影響を受ける。ボーリング孔近傍の透水量係数がスキン効果により割れ目本来の透水量係数と異なる可能性を考慮すると、揚水孔以外の観測孔の組の水位低下量から透水量係数を算定するのが、大きな誤差を回避するのに適していると考えられる。

参考文献

- 1) 石橋正祐紀 他 (2014) : 地下坑道での調査データに基づく坑道周辺領域における水理地質構造モデルの構築 (その 1)、第 42 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集、pp.101-106.
- 2) Dershowitz, W., et al. (2003): Äspö Task Force on modelling of groundwater flow and transport of solutes Task 6c -A semi-synthetic model of block scale conductive structures at the Äspö HRL-, SKB IPR-03-13.
- 3) 河西基 他 (1994) : 高レベル廃棄物処分の天然バリア性能評価手法の開発 (その 1) -割れ目系岩盤中の地下水流動解析手法-、電力中央研究所 研究報告 U93054.

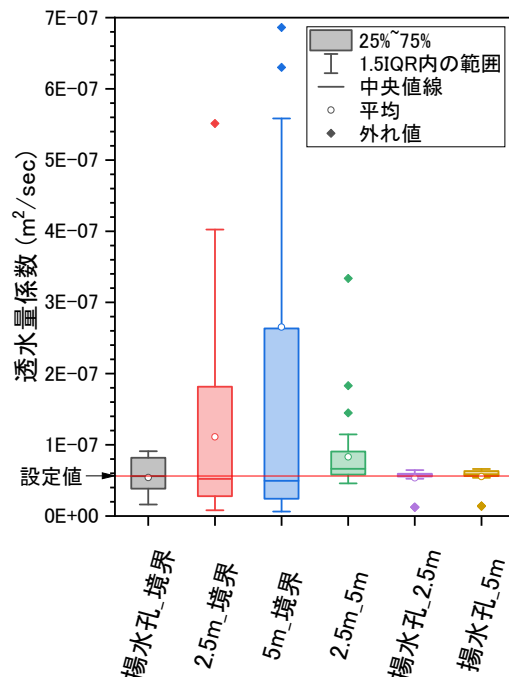


図3 透水量係数の算定値(skin 効果無)

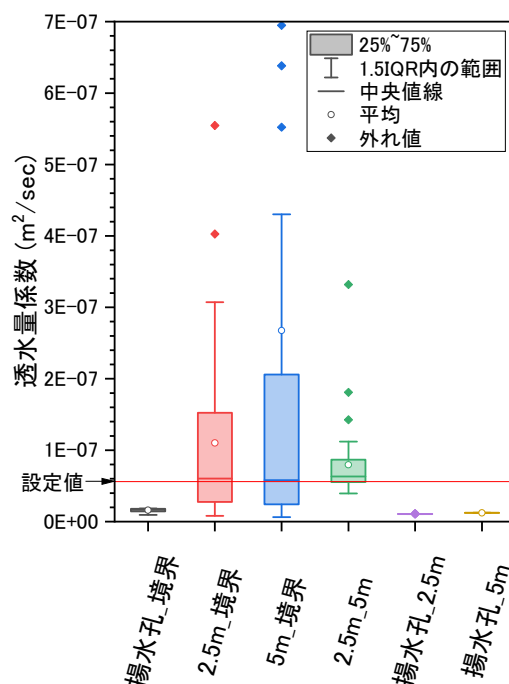


図4 透水量係数の算定値(skin 効果有)