

仮想割れ目モデルによる透水性変化予測手法と原位置計測の比較

清水建設 正会員 郷家光男, 正会員 石井 卓, 正会員 桜井英行
 地層科学研究所 正会員 菅原健太郎, 正会員 木下直人, 正会員 里 優

1. はじめに

岩盤中に空洞を掘削すると、それに伴って岩盤の性質が変化する領域が生じる。このような領域は掘削影響領域と呼ばれているが、透水性の変化は放射性廃棄物の地層処分の安全性を評価する上で、特に重要であると考えられている。筆者らは、応力再配分に伴う既存割れ目の開口の変化が透水性変化の要因であると考え、空洞周辺の透水性変化を予測するための手法の開発を行った¹⁾。本報告は、空洞建設に伴う周辺岩盤の透水性変化の原位置計測データと解析結果を比較、検討を行ったものである。

2. 仮想割れ目モデルによる透水性変化予測

本手法では、岩盤の透水性は仮想的な割れ目の方向分布と各割れ目の透水性により決定されると考える。また、割れ目の大きさは構造物の規模に比べて十分小さい場合を限定し、仮想的な割れ目の空間分布は一様であると仮定する。割れ目の透水係数を体積の重みをつけて平均化し、面に沿う方向の割れ目の透水係数を座標変換後に加えることによって、岩盤の透水テンソルを求める。例えば、割れ目を直径 r_f の円盤でモデル化した場合、岩盤の透水テンソル k_{ij} は、次式のようになる¹⁾。

$$k_{ij} = \rho \sum_f \frac{\pi r_f^2}{4} e_f k_f (\delta_{ij} - n_i n_j) D \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 ρ は割れ目の体積密度、 e_f は割れ目の水理的開口幅、 k_f は割れ目の透水係数、 δ_{ij} はクロネッカーのデルタ、 D は割れ目の法線ベクトル n の方向頻度を示す密度関数である。本手法では、密度関数 D にはBingham分布、割れ目の透水係数 k_f の応力依存性には多田らの実験式²⁾を用いている。割れ目の透水係数 k_f (m/s)の応力依存性式を以下に示す。

$$\log_{10} k_f = \frac{\sigma_n}{-2.44 - 0.28\sigma_n} + \log_{10} 2.2 \times 10^{-3} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 σ_n は割れ目に作用する垂直応力(MPa)である。初期応力状態での透水テンソルを式(1),(2)より算定し、これが計測された初期透水テンソルと同じ透水性を示すように、仮想割れ目群のパラメータを調整する。透水テンソルが実測されていない場合、観測された割れ目の方向分布をもとに法線ベクトルの方向頻度 D を定めて、初期応力状態での透水係数の算定を行い、これが計測された透水係数に相当するようにパラメータを調整する。

以上により、仮想割れ目群のパラメータが設定できれば、

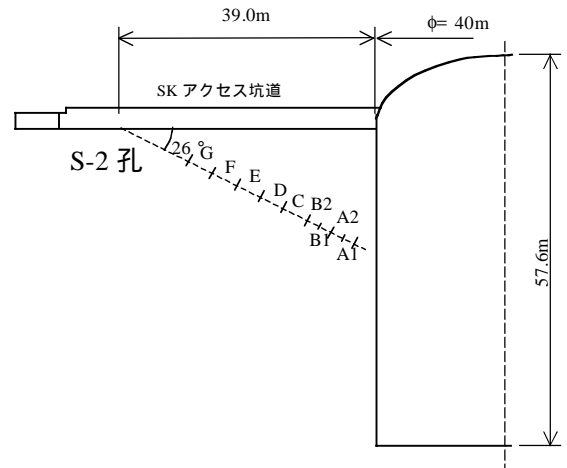


図-1 空洞と S-2 孔の配置

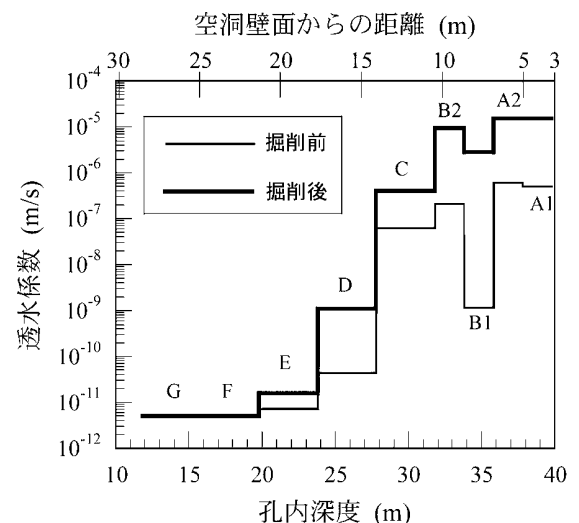


図-2 S-2 孔における透水試験結果

キーワード：透水係数, 応力依存性, 割れ目, 放射性廃棄物, 地層処分, 掘削影響領域
 連絡先：〒135-8350 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設技術研究所 Tel.03-3820-5451 Fax.03-3820-5959

空洞掘削後の応力から、空洞周辺の透水性の変化を予測することができる。

3. 神岡鉱山における計測データと解析結果の比較

岩盤内の空洞建設に伴う透水性変化の計測結果と解析結果の比較を行った。対象とした計測例は、東大宇宙線研究所が神岡鉱山内に建設した「スーパーカミオカンデ」の計測データ³⁾である。スーパーカミオカンデの空洞規模・形状は直径40m、高さ57.6mのサイロ型で、土被りは約100mである。透水試験は図-1に示すように、空洞側壁のS-2孔にて実施されている。S-2孔はA1～Gの9区間に分割され、区間ごとに掘削前と掘削完了時の透水係数が求められている。透水試験結果を図-2、不連続面調査結果を図-3（左）に示す。

仮想割れ目群の方向分布は図-3（左）をもとに設定した。解析に用いた方向分布を図-3（右）に示す。掘削解析に使用した岩盤の物性値、初期応力は文献⁴⁾より設定した。また、初期応力から初期透水テンソルを求め、これをS-2孔軸方向に変換し、孔軸に直交する2方向の成分の算術平均値と透水試験のA1～Eの対数平均値を比較することにより、割れ目の体積密度 ρ を逆算した。

掘削後の応力、割れ目体積密度、方向分布、初期透水係数により、空洞掘削に伴う透水性の変化を求めた。掘削完了時の周辺岩盤の透水性変化の倍率を図-4に示す。図-4により空洞側壁と底盤で透水性が増大していることがわかる。

S-2孔における試験区間ごとの透水性変化の計測値と解析値の比較を図-5に示す。

図-5より、透水性変化の計測値と解析値は、区間B1、B2、Dを除く6区間で、ほぼ一致している。また、計測値によると、壁面から離れるにしたがって透水性の変化量は小さくなる傾向があるが、解析値もその傾向を示していることがわかる。

4. まとめ

神岡鉱山での透水試験計測データと仮想割れ目モデルによる解析結果について比較を行った。解析結果は計測結果と同様に空洞周囲での透水性の増加を示し、変化の傾向も整合的であり、妥当な結果を得ることができた。

今後の課題として以下の2点が挙げられる。(1)本手法は、割れ目のせん断変形・成長を考慮していない。(2)本手法は基質部の透水性を無視しているが、堆積岩に適用する際には、基質部の透水性を考慮する必要がある。今後は、せん断の影響や基質部の透水性も考慮できるモデルの構築を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 石井ほか：土木学会第55回年次学術講演会,CS-169,2000
- 2) 多田ほか：第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集,pp.139-144,1994
- 3) 木下ほか：第27回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集,pp.206-210,1996
- 4) 鶴見ほか：資源と素材,No.6,pp.381-386,1995

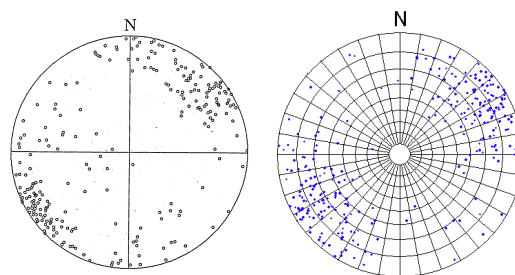


図-3 観測された割れ目分布（左）と解析に用いた仮想割れ目群（右）

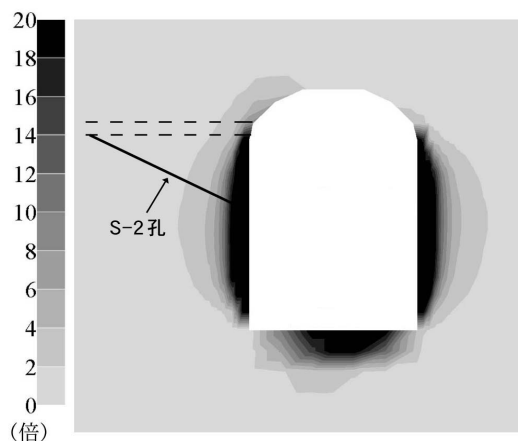


図-4 空洞周辺の透水性の変化（掘削完了時と掘削前の比）

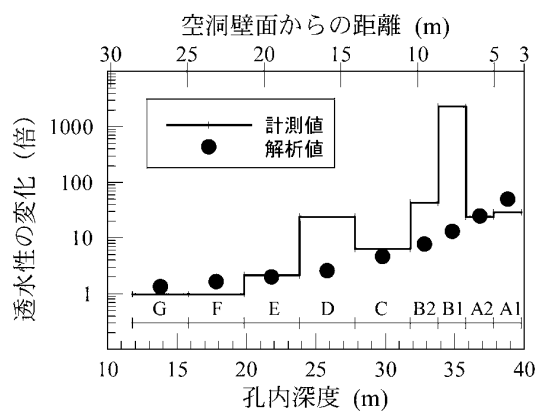


図-5 掘削完了時の透水性変化