

地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 6） -結晶質岩サイトにおける割れ目モデルの構築-

(株)大林組 正会員 ○田中 達也, 鑑 顕正, Patrick Bruines
(独)日本原子力研究開発機構 正会員 葛葉 有史, 岸 裕和

1. はじめに

日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）は、スイスのグリムゼル岩盤試験場（以下、GTS）において、グラウト浸透モデル（等価多孔質媒体モデル）を用いた事前解析(その 8)*に基づくグラウト注入試験（以下、原位置試験）を予定している。結晶質岩等の硬岩を対象としたグラウティングでは、グラウトは水みちとなる割れ目を浸透経路とすることから、グラウトの注入、浸透範囲を確認するための原位置試験計画の立案や、グラウト浸透モデルの構築には、割れ目の地質学的特性や透水性に起因する水理学的な不均質性を理解し、それらの情報を適切な形で反映させる必要がある。

本報告では、主にボーリング調査により得られたデータを用いて、原位置試験計画の立案支援や別途構築するグラウト浸透モデルに反映するパラメータの導出を目的として、試験エリアの割れ目モデルを構築した結果について報告する。

2. 割れ目モデル構築の方針

本報で示す割れ目モデルとは、試験エリア内に分布する複数の割れ目を 3 次元的に可視化するネットワークモデルである。個々の割れ目は、幾何特性として、割れ目の中心座標、方位（走向・傾斜）、割れ目の長さの 3 つの特性値を、透水特性として透水量係数値を有する。

割れ目ネットワークの構築には、その幾何学特性、透水特性を確率密度関数で定義することで統計的に割れ目を再現する確率論的アプローチと、個々の割れ目のパラメータを特定して再現する決定論的なアプローチがある。本検討では、モデル構築の上記目的を反映し、モデル化に利用する情報（ボーリング利用した調査数量等）の増加に対応し、決定論的に再現する割れ目を可能な限り考慮する方法を採用した。

3. 割れ目モデルの構築方法

3.1 幾何特性の設定

原位置試験の試験エリアに対して 09-01 孔、09-02 孔、10-01 孔の 3 本のボーリング孔を平行に掘削することで、孔間距離 6.8m 程度で平面的な情報を利用した (図-1)。各孔のボアホールテレビ観察で確認された割れ目の位置と方位を特定し、モデル内に決定論的に再現するとともに、観察はされないが調査孔の割れ目密度より孔間に存在すると推定される割れ目は確率論的に再現した。ここで、決定論的な割れ目の連続性と長さについては、直接的な情報の取得が困難であるため、①割れ目の連続性を方位の数学的解釈と割れ目の地質学的解釈に基づき判断すること、および②割れ目の長さを確率密度関数に基づき設定すること、の 2 つのアプローチで決定した。

孔間の割れ目の連続性は、両孔で確認した割れ目を延長し、その交差角度が 10 度程度以内を目安として連続性の有無を判断し、決定論的な割れ目モデルに反映した (図-2)。この結果、地質調査

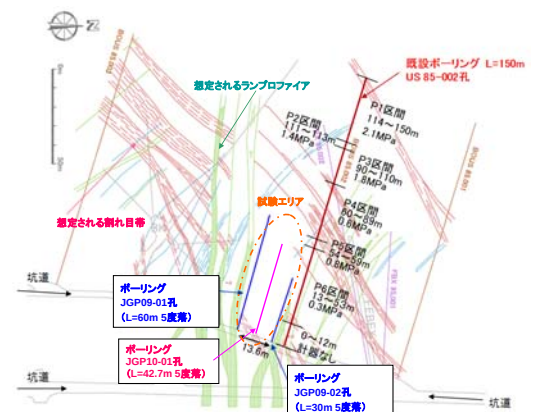


図-1 試験エリアとボーリング配置

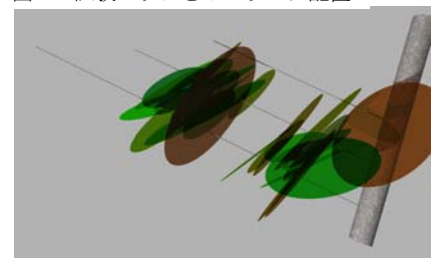


図-2 孔・孔間で連続する割れ目の解釈結果
(交差角度 10 度モデル)

キーワード：割れ目ネットワークモデル、結晶質岩、地質構造評価、ボーリング調査

連絡先：〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組東京本社原子力本部原子力環境技術部 TEL03-5769-1309

結果により判明したせん断割れ目卓越帯や断層岩の分布と当モデルが整合性することが確認された(その 5)*. また、割れ目の長さは、GTS の地表露頭で観察した割れ目スケッチの情報¹⁾に基づいたべき乗分布の確率密度関数を設定することにより統計的に再現した。

3.2 透水特性の設定

割れ目の透水特性の設定には水理的開口幅、或いは透水量係数を規定する方法がある。3 孔では試験区間長 2.5m で合計 30 区間の透水試験結果が得られている(その 4)*. 各試験区間で確認された割れ目の幾何的開口幅 (BTV 観察, 0.5mm~2.0mm) の総和と透水係数を比較した結果、両者に明瞭な相関が確認できないことから、決定論的な割れ目の透水特性には試験区間の透水量係数を配分して設定することとした。一方、確率論的な割れ目の透水量係数は、決定論的な割れ目に設定した透水量係数分布を対数正規分布の確率密度関数に近似することで統計的に再現した。

4. 割れ目モデルの構築結果とグラウト浸透モデルへの利用

4.1 割れ目モデルの構築結果

上述の割れ目モデルの幾何特性および透水特性を設定し、3 次元的な割れ目ネットワークモデルを構築した(図-3 上)。モデル化対象領域 20m×20m×35m (縦・横・奥行き) 内で全割れ目の 10% 程度の割れ目については、それらの位置、方位、孔間の連続性および透水量係数を決定論的に、その他の割れ目の分布や透水量係数を統計的にモデル化した。構築した割れ目モデルの妥当性については、透水試験結果を集約した透水係数の頻度との比較、孔間の通水試験結果(その 4)*に対するシミュレーションにより確認した。

4.2 グラウト浸透モデルへの利用

グラウト浸透モデルは等価多孔質媒体モデルであり、このモデルには割れ目モデルを変換して利用した。幾何特性および透水特性を設定した割れ目ネットワークをアップスケール²⁾することにより、0.5m 立方の岩体を評価単位とした巨視的な透水係数(透水テンソル)を算定し、透水係数の不均質性を考慮した水理地質構造の数値モデルを構築した(図-3 下)。この等価均質媒体モデルをグラウト注入に関する事前解析に適用した(その 8)*。

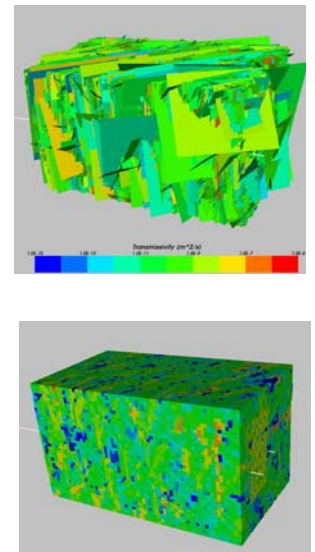


図-3 割れ目ネットワークモデル(上)と水理地質構造モデル(下)

5. おわりに

結晶質岩を対象としたグラウト注入の原位置試験への適用を目的とし、段階的に得られる地質情報を利用し、割れ目モデルを構築、更新していく事例を紹介した。割れ目モデルを構築し、複雑で理解が難しい 3 次元的な情報を効果的に可視化することで、個別の試験仕様の検討や実施上の留意点の抽出にも有用であった。

次年度の原位置試験において、グラウト注入孔や観測孔の追加により、新規情報の取得が期待できる。グラウト浸透範囲のモデルおよび試験レイアウトの設定には、水みちとなる割れ目の特性や分布を的確に反映することが重要である。割れ目モデルの更新を継続し、原位置試験の目的の達成に活用していく。

なお、本研究は経済産業省資源エネルギー庁の「平成 22 度地層処分技術調査等委託費(高レベル放射性廃棄物処分関連: 地下坑道施工技術高度化開発)」の一部として実施したものである。

() *: シリーズ発表の表題中の () を示す。詳細は該当の予稿を参照されたい。

参考文献: 1) H. R. Keusen, J. Ganguin, P. Schuler, M. Buletta (1989): GRIMSEL TEST SITE -GEOLOGY. Nagra Technical Report 87-14E, 91p.

2) 田中達也, 安藤賢一, 橋本秀爾, 三枝博光, 竹内真司, 天野健治 (2007): 岩盤中の透水構造分布に着目した水理地質構造モデルの構築手法の検討, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 論文番号 49.