

16. レジンを用いた岩盤中割れ目の可視化

Visualization of Fractures in Rock Mass using the Resin injection method

○深堀大介（電力中央研究所（現ニュージェック））、宮川公雄、田中靖治、木方建造（電力中央研究所）

Daisuke Fukahori, Kimio Miyakawa, Yasuharu Tanaka, Kenzo Kiho

1. はじめに

岩盤中の割れ目の幅や空間分布は、割れ目を有する岩盤中の物質移行特性に大きく影響を与えるため、精度よく評価することが求められる。岩盤中の割れ目の幅や空間分布を直接的に評価する方法として、原位置レジン（樹脂）注入試験がある。原位置レジン注入試験は、トレーサ試験を実施したボーリング孔からレジン（樹脂）を注入し、固化後に新たな孔を掘削して割れ目を物理的擾乱なく回収する手法である。

筆者らは、スイスのグリムゼル試験場において原位置レジン注入試験を実施するとともに、回収したボーリングコア中の割れ目を可視化する手法について検討を行ってきた。本報では、グリムゼル試験場でレジン（樹脂）を充填させた岩石コアに対して、医療用 X 線 CT スキャナによる可視化と連続研削と撮影による可視化を試みたので、その結果を報告する。なお、本研究は電力中央研究所が経済産業省資源エネルギー庁からの委託研究として実施した「岩盤中物質移行特性評価技術高度化調査」の平成 24 年度の成果および「岩盤中物質移行特性評価技術の確証」の平成 25・26 年度の成果の一部である。

2. 原位置レジン注入試験の概要

原位置レジン注入試験は 2011 年度にスイスのグリムゼル試験場で実施された。事前の調査で確認された 2 条の割れ目（FZ1 および FZ2）に対して、フルオレseinナトリウムを添加したレジン（1 次レジン）を注入し、固化後にボーリングコアを計 8 本採取している（図-1）。

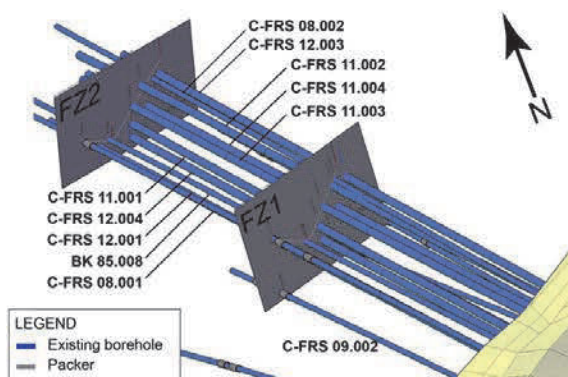


図-1 FZ1 および FZ2 とボーリング配置

また、ハンドリングによって開口した人工的な割れ目と掘削以前から開口していた割れ目を区別する目的で、コア採取後にはナフチオン酸ナトリウムを添加したレジン（2 次レジン）を注入している。なお、レジンの充填を確認するために、薄片試料を用いた顕微鏡観察や、掘削孔内の高精度ボアホール TV 調査も行われている。詳細は文献¹⁾²⁾を参照されたい。

3. X 線 CT による割れ目の可視化

(1) 割れ目の 3 次元可視化

割れ目に充填されているレジン（樹脂）は水とほぼ同じ密度であることから岩石基質部と比較して密度が小さい。そのため、割れ目に充填されたレジンのみを X 線 CT 画像から抽出することは比較的容易である。図-2 にレジンの充填状況を 3 次元的に表示した結果を示す。画像中でレジンが充填されていない箇所のほとんどはガウジやカタクラサイトなどの充填物が存在しており、割れ目内の流れ場が充填物に支配されていることが確認できた。

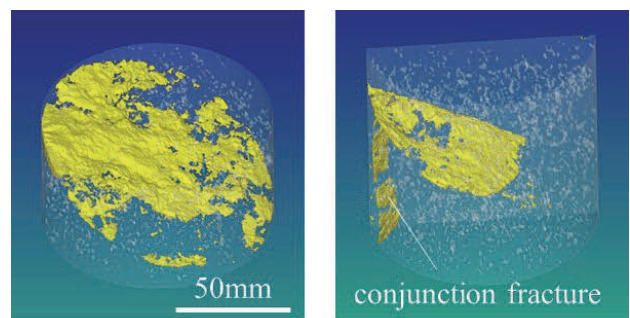


図-2 割れ目の 3 次元可視化画像（FZ1）

(2) X 線 CT 画像の展開表示

X 線 CT は撮影断面とは異なる方向の任意の断面を観察（可視化）することができるが、各断面のコア軸中心から同心円上に位置する CT 値を抽出し、それらを繋ぎ合わせることで展開画像を作成することも可能である。図-3 にその結果を示す。左側の画像はボアホール TV で撮影した孔壁展開画像である。X 線 CT 画像から作成した展開画像は、割れ目の領域がその他の領域に比べて密度が低いことや、密度差が小さい石英と長石が区別できないことにより、割れ目の判別が孔壁展開画像に比べて容易である。X 線 CT 画像の展開表示は、孔壁展開画像で割れ目の位置や分布を判読し

づらい場合などに有効であり、より正確な走向・傾斜の判定が可能になるものと考えられる。また、逆に孔壁展開画像から判定された走向・傾斜の情報から、コアの方位の修正も可能である。

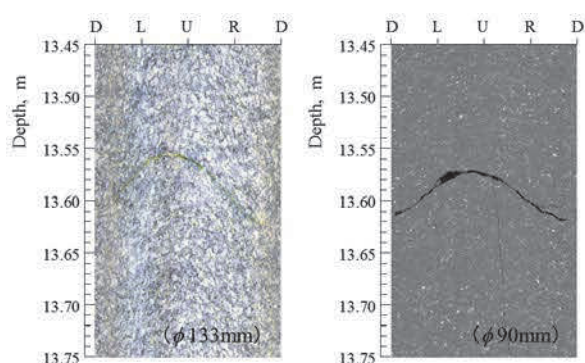


図-3 孔壁展開画像と X 線 CT 画像の展開表示

(3) 割れ目面構造の可視化

X 線 CT 画像の 3 次元データをレジンと岩石基質部との境界付近の CT 値で二値化し、掘削方向から観察すると、図-4 のようなステップ状の構造が確認された。この構造がスリッケンステップであると解釈すると、画像の左下から右上への方向が透水卓越方向であると考えられる。実際にこの方向は、Kriging による透水量係数場の推定結果やボアホール TV などによるレジンの幅の分布と調和的であった。

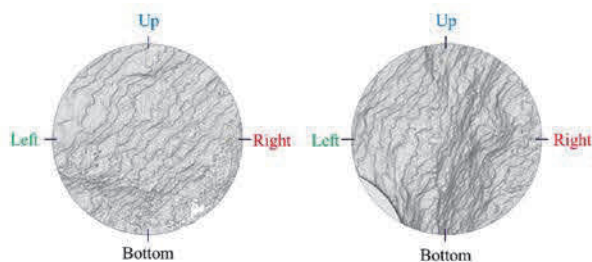


図-4 割れ目面構造の可視化 (左: FZ1, 右: FZ2)

4. 連続研削・撮影による割れ目の可視化

X 線 CT 画像からレジンの充填幅、すなわち割れ目幅を評価することは、X 線 CT 特有の偽像などの影響もあって容易ではない。一方、割れ目の幅を直接観察して測定する方法は時間や費用の面で欠点はあるものの信頼性の高いデータを取得することができる³⁾。そこで、割れ目の分布を取得しつつ、幅の定量も可能にするために、レジンが充填された岩石コアを一定間隔(1mm)で平面研削していき、その研削面の撮影を繰り返すことによって岩石コア内部の割れ目間隙の可視化を行った。なお、研削時間の短縮を図るため、岩石コアは一次レジンが充填された箇所を中心に適当な長

さにカットした。図-5 は連続研削で得た全ての画像を用いて作成した MPR 画像である。黄色の矢印で示した主経路 (FZ2) と多数の割れ目から構成されていることが確認できる。また、連続研削で得た全ての画像を用いて FZ2 の開口した部分の幅のみを測定した所、その平均値は 0.93mm であった。この値は、各種割れ目探査技術で評価した割れ目幅に近い値であった。計測したコアが一つであることや、主経路である FZ2 のみを計測した結果であるので、手法間の比較を議論することはできないが、本手法を用いることにより各種割れ目探査技術で評価した割れ目幅の結果を検証することが可能であると考えられる。今後の課題としたい。

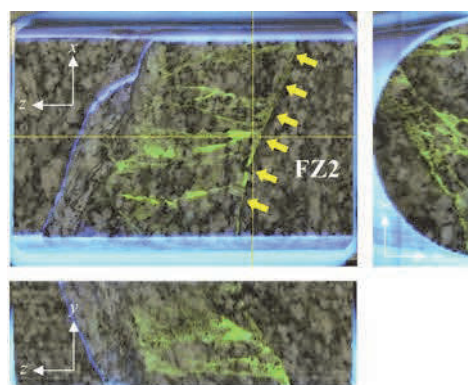


図-5 研削面画像から作成した MPR 画像

5. 国内サイトで取得した岩石コアへの適用と課題

瑞浪超深地層研究所の坑道内で取得した岩石に対して、室内でレジンを注入し、割れ目の幅を測定した。その結果、割れ目幅の平均値が 0.14mm と評価され、これまで使用してきた空間分解能が低い医療用 X 線 CT スキャナでは割れ目の分布を正確に捉えることができないことが分かった。さらに、225kV の μ CT ではコアの寸法(直径 7cm~10cm)が大きすぎるため偽像が生じやすく、明瞭な可視化結果が得られないことなども分かった。これら課題に対しては、450kV 高出力 μ CT での撮影を検討している。

文献

- 1) 宮川ほか (2013) : トレーサー試験評価のためのレジン注入による割れ目間隙マッピング, 研究発表会講演論文集, 日本応用地質学会。
- 2) Tanaka et al. (2014) : Survey of Flow Channels in Rock Mass Fractures by Resin Injection, 8th Asian Rock Mechanics Symposium.
- 3) 澤田ほか (2011) : 50cm スケールの岩石試料の亀裂開口幅測定データに基づく亀裂の透水特性評価, 第 40 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 土木学会。