

原位置調査データを用いた DFN モデルのコンディショニングに関する検討（その 1）

鹿島建設(株) 正会員 ○江崎太一 石橋正祐紀 田川陽一 並川 正 羽根幸司 升元一彦
原子力発電環境整備機構 尾上博則 三枝博光 石田圭輔 藤崎 淳
日本原子力研究開発機構 澤田 淳

1. 背景・目的

割れ目分布の不均質性を統計的に表現可能な割れ目ネットワーク（DFN）モデルは、割れ目が主な地下水移行経路となる岩盤の地下水流動特性の評価に適用される。DFN モデルは一般に、割れ目の幾何学および水理学的特性分布を推定した統計パラメータに基づいて構築される。DFN モデルは確率論的に割れ目を発生させるモデルであるため、原位置調査結果に合うように割れ目の幾何学的情報や岩盤の水理特性などの実測値に基づいて、DFN モデルの校正（コンディショニング）を行う取り組みがなされている¹⁾。これは、ボーリング孔などの測線でのデータを対象としたもの¹⁾で、坑道壁面で観測された割れ目トレスマップなどのより詳細な幾何情報を考慮したコンディショニングの例は少ない。本報では、瑞浪超深地層研究所で取得された割れ目の詳細な観測情報に基づいて、DFN モデルのコンディショニングを実施した結果を報告する。

2. 実施内容

表-1に示すパラメータセットを用いて、瑞浪超深地層研究所の深度 500m に位置する冠水坑道²⁾ 周辺岩盤（土岐花崗岩下部割れ目低密度帯）の DFN モデルを構築した。割れ目の幾何学的特性は既報³⁾ に基づき、水理学的特性は透水量係数と割れ目半径との相関性を仮定し、原位置透水試験結果の再現性が高い変数の組み合わせを仮想水理試験解析⁴⁾ により推定して設定した。DFN モデルは、図-1 に示す領域を対象として構築し、斜坑および水平坑道、ボーリング孔 2 本をモデル化した。

構築した DFN モデルに対し、坑道壁面観察記録およびボーリング孔の BTV データ（図-2 参照）を活用してコンディショニングを実施した。坑道壁面観察記録には割れ目の走向傾斜、湧水、地質学的特徴、トレース長および開口性に関する情報があり、ボーリング孔の BTV データには割れ目の分類（明瞭割れ目、ヘアークラック、鉱物脈等）や位置、走向傾斜、開口幅等の情報がある。本検討では、長さ 2m 以上の割れ目をモデル化の対象としていることを考慮し、観測情報のうち坑道割れ目としてはトレース長 2m 以上のもの、ボーリング孔割れ目としては主に明瞭割れ目を抽出し、コンディショニングの対象とした。さらに、コンディショニング対象の割れ目のうち、坑道とボーリング孔で同一のものと解釈される割れ目を 1 枚の割れ目でモデル化した。この際、湧水が観測された坑道割れ目とボーリング孔割れ目との相対的な位置や走向傾斜、地質学的な類似性を考慮した。また、コンディショニングした割れ目は、いずれかの割れ目を通じてモデル外側境界まで連結して水みちになるよう設定した。以上の条件に基づき、解析コード ConnectFlow(ver12.3)⁵⁾を用いて 50 リアライゼーションの DFN モデルのコンディショニングを実施した。

表-1 DFN モデルのパラメータセット

卓越方位 セット	傾斜方位／ 傾斜* [deg.]	Fisher 定数 [-]	最小割れ目長さ/ べき指数 [-]	割れ目密度 [m ² /m ³]	透水量係数分 布(logμ, σ, C)
Set1	202.9 / 87.8	18.5	2.0 / 3.1	0.43	log μ :-17.2 [log(m ² /s)], σ :1.8[m ² /s], C:6.6[-]
Set2	150.6 / 89.6	17.8	2.0 / 3.4	0.13	
Set3	80.7 / 86.2	15.3	2.0 / 4.7	0.05	
Set4	210.7 / 30.3	12.1	2.0 / 3.3	0.08	

※傾斜方位は北方向を 0° とした時計回りの角度を示し、傾斜は水平面下向きの角度を示す

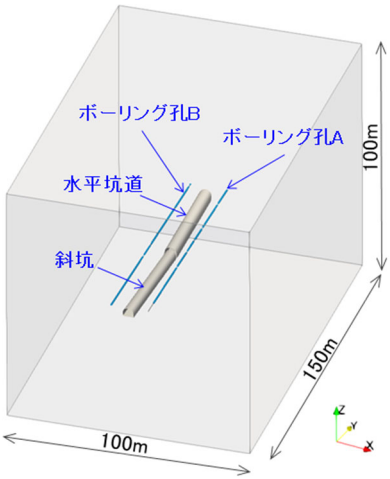


図-1 解析モデル

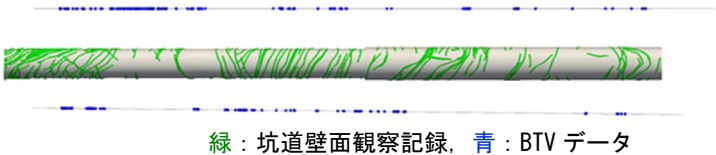


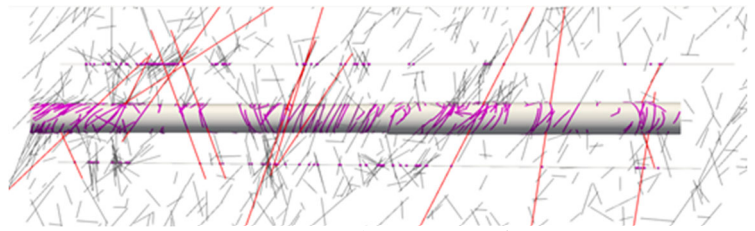
図-2 坑道壁面観察および BTV で取得された割れ目データ

キーワード 地層処分、地下水流動、DFN モデル、コンディショニング

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株) 土木設計本部 TEL 03-5544-1111

3. 解析結果

コンディショニング実施後の DFN モデルにおける坑道周辺の割れ目分布の例を図-3に示す。これより、図-2に示す坑道壁面およびボーリング孔で観測された割れ目の位置や分布が概ね再現されていること、同一のものと解釈された割れ目が坑道とボーリング孔間を連結する1枚の割れ目でモデル化できていることが確認できる。また、コンディショニングの前後における坑道割れ目のトレース長分布の比較(図-4)より、コンディショニングによって坑道に遭遇する割れ目数およびトレース長分布の解析値と実測値が整合的なものとなっていることが分かる。さらに、ボーリング孔割れ目の一次元頻度分布(図-5)より、コンディショニング実施前のボーリング孔割れ目は、観測された割れ目分布の不均質性を再現できていないが、コンディショニング実施後は、不均質な割れ目密度分布の再現性が向上していることが分かる。



ピンク：コンディショニング後の割れ目

赤：坑道とボーリング孔間を1枚の割れ目で連結

図-3 割れ目分布のコンディショニング結果(例)

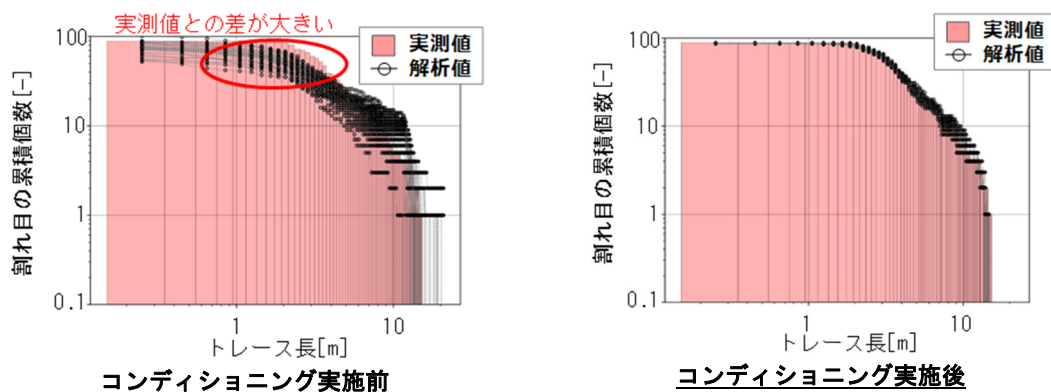


図-4 坑道割れ目のトレース長分布の実測値と解析値の比較 (50 リアライゼーション)

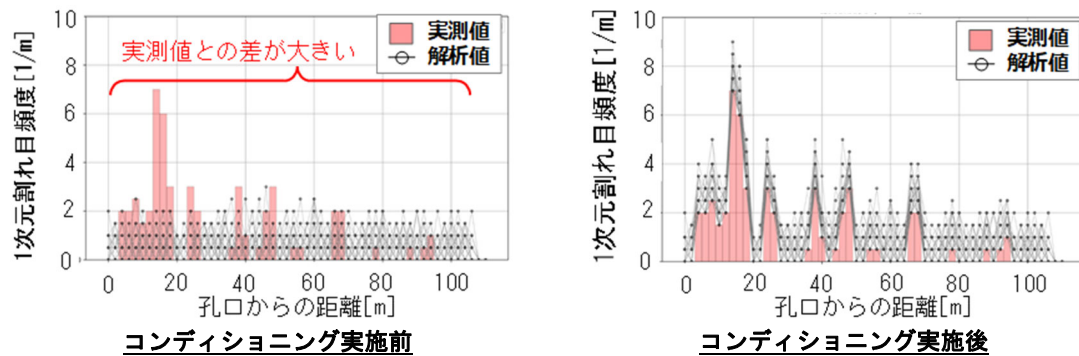


図-5 ボーリング孔割れ目の一次元頻度分布の実測値と解析値の比較 (50 リアライゼーション)

4. まとめ

瑞浪超深地層研究所における坑道および坑道近傍のボーリング孔で取得された割れ目の観測情報に基づいて、DFN モデルのコンディショニングを実施した。その結果、DFN モデルにおける割れ目の分布傾向が実測データと整合的となり、コンディショニングが観測された割れ目の分布を再現するための有効な手法であることが確認できた。コンディショニングが地下水流動解析結果に与える影響については次報(その2)で報告する。今後はさらに、コンディショニングの条件の違いによる地下水流動解析結果への影響等についても検討結果を報告する予定である。

参考文献

- 1) 例えば, Hironori Onoe, et al (2021) : Development of modeling methodology for hydrogeological heterogeneity of the deep fractured granite in Japan, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 114, 104737
- 2) 長谷川ほか: 深度 500m 研究アクセス北坑道におけるボーリング調査報告書(13MI38 号孔~13MI44 号孔), JAEA-Technology 2015-011, 2015
- 3) 石橋ほか: 日本応用地質学会平成 29 年度研究発表会講演論文集, pp.65-66, 2017.
- 4) 関野ほか: 令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会, CS12-08.
- 5) Jacobs : ConnectFlow Technical Summary, https://www.connectflow.com/resources/docs/conflow_technical.pdf (2022 年 2 月閲覧)