

割れ目ネットワークモデルのアップスケーリングが解析結果に及ぼす影響について

鹿島建設(株) 正会員 ○石橋正祐紀 三好貴子 升元一彦
日本原子力研究開発機構 尾上博則
(株)地層科学研究所 川原秀二 関野真登

1. 背景と目的

花崗岩などの硬岩では、割れ目が地下水の主要な移行経路となることから、地下水流動の評価に際しては、割れ目分布の不均質性を再現できる割れ目ネットワーク (DFN) モデルが用いられることが多い。しかし、DFN モデルはモデル化する割れ目の数に応じて複雑なモデルとなり、大規模化に際して解析時間の増加や解析結果の収束性が低下し、場合によっては、解析ができないなどの問題が生じる可能性がある。そこで、大規模なモデルを構築する場合は、DFN モデルから任意のメッシュサイズの等価な透水性や空隙率を算出した連続体モデル (等価不均質連続体 (ECPM) モデル) が適用されることがある。一方、DFN モデルから ECPM モデルに変換することで、解析結果が DFN モデルと異なるなどの影響が懸念される。そこで、本報では DFN モデルから ECPM モデルに変換する際のメッシュサイズの違いが解析結果に及ぼす影響について検討する。

2. 実施内容

本報では、別報¹⁾で示す、日本原子力研究開発機構の瑞浪超深地層研究所 (地下 500m) で取得されたデータから推定した割れ目分布や透水性に関するパラメータセットを用いて DFN モデル (確率的不均質性を考慮し、20 リアライゼーション) を構築した。その後、構築した DFN モデルに対し 1.0m, 2.5m, 5.0m のメッシュサイズの ECPM モデルを構築した。ECPM モデルは、メッシュ毎の定常浸透流解析により等価なパラメータを推定することで構築した。そして、構築した DFN モデルと ECPM モデルを用いて、坑道掘削を模した解析 (仮想坑道掘削解析) と粒子追跡線解析を実施し、その結果を比較した。各種解析内容の詳細や境界領域については、表-1、図-1 に示す。

3. DFN モデルと ECPM モデルを用いた解析結果の比較

3.1 仮想坑道掘削解析の比較

仮想坑道掘削解析では、仮想坑道周辺の水圧分布を比較した (図-2)。その結果、DFN モデルと ECPM モデル共にモデル化領域の北西方向への水圧低下が認められた。一方、DFN モデルで確認される局所的な変化 (例えば、図-2 の黒破線矢印で示した、数 m 程度の範囲の不均質な水頭値の変化) に着目すると、メッシュサイズが大きくなると共に不均質な変化が滑らかになり、ECPM モデルによる再現性が低下する傾向がある。このことから、DFN モデルと比較して ECPM モデルでは数 m 程度の局所的な水圧分布の再現性は低下するが、数十 m 規模以上の水圧分布の不均質性については ECPM モデルでも十分な再現性を有すると考えられる。

表-1 DFN・ECPM モデルで実施した定常浸透流解析

	仮想坑道掘削解析	粒子追跡線解析
解析内容	モデル中心に仮想坑道 (40m 分; 5m 間隔で 8 ステップ) を設置し、坑道掘削による影響 (水圧分布、湧水量変化) を定常浸透流解析により算出	モデルの東側に配置した側線から、10,000 粒子を流速の比例配分で設置し、粒子の移行経路を推定すると共に破過曲線を算出
モデル領域	100m×100m×100m	100m×100m×100m
モデル化内容	仮想坑道 ○位置: モデル中心 ○方位: N10°W ○傾斜: 下向き 0° ○長さ: 40m	粒子出発側線 ○位置: モデル東面 ○方位: 南北 ○傾斜: 下向き 0° ○長さ: 25m
境界条件	外側: 全水頭 400m 内側: 全水頭 0m	東側面: 全水頭 1m 西側面: 全水頭 0m

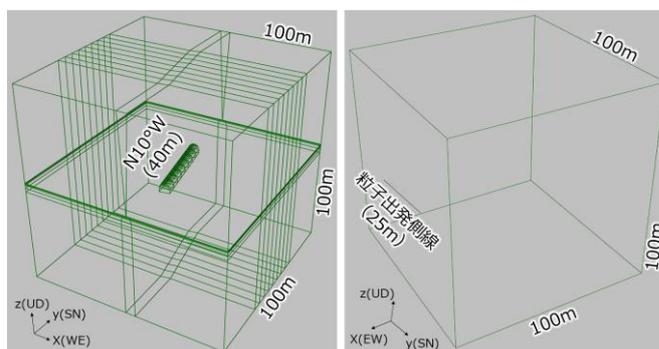


図-1 解析領域

キーワード 割れ目ネットワークモデル, DFN モデル, ECPM モデル, 地下水流動解析

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6647

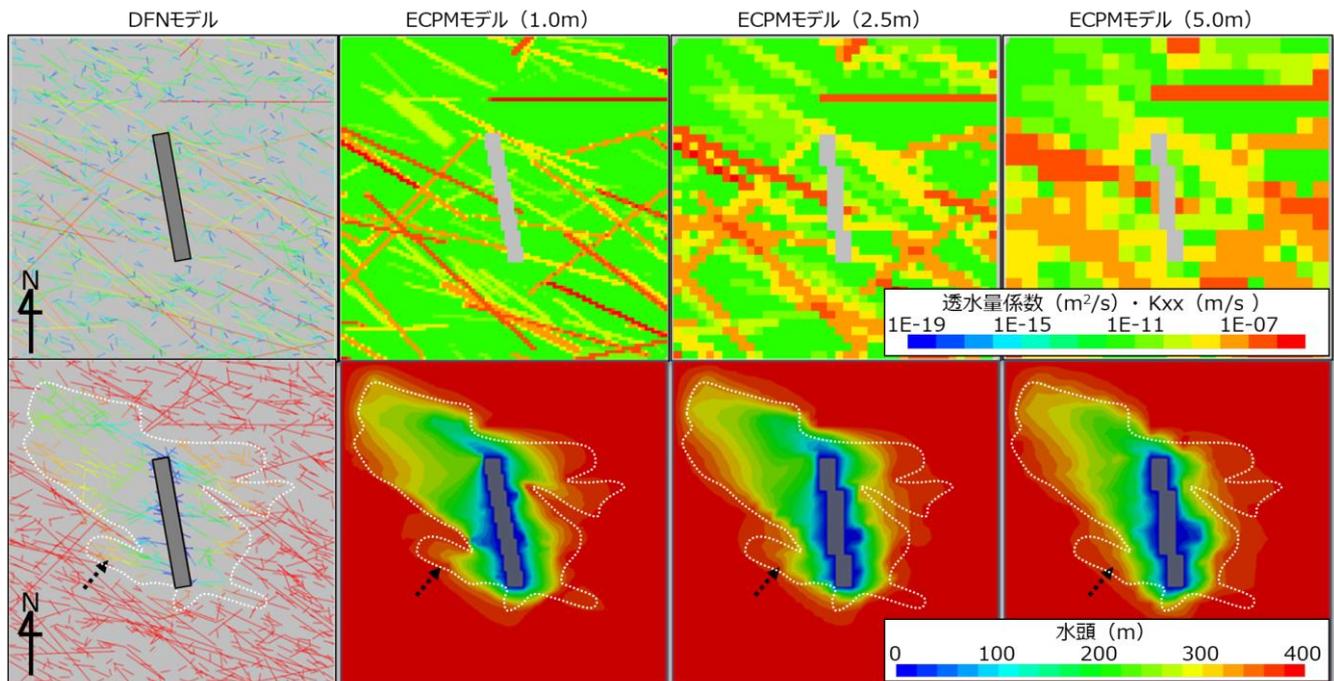


図-2 各モデル断面（上）と仮想坑道掘削解析結果（下；水頭分布（白点線はDFNモデルの水頭低下範囲）

3.2 粒子追跡線解析結果の比較

図-3にDFNモデルでの解析結果を基準とした移行時間（相対値）を示す。ECPMモデルでは、DFNモデルに比較して移行時間が長い傾向があり、メッシュサイズが大きくなるに伴い、DFNモデルの移行時間に近づく傾向も確認できる。ECPMモデルの各メッシュの透水係数に着目すると、1.0mメッシュでは割れ目のない低透水性のメッシュが生成されるが、5.0mメッシュでは透水係数が平均化されるため、生成される低透水性のメッシュの数が少なくなることが確認できる。メッシュサイズが小さいほど、解析結果がDFNモデルと乖離している理由として、低透水性のメッシュが生成されることで移行時間の遅延が生じた可能性が推察できる。このことから、移行時間に注目する上では、DFNモデルからECPMモデルへの変換時のメッシュサイズの設定が重要になる。

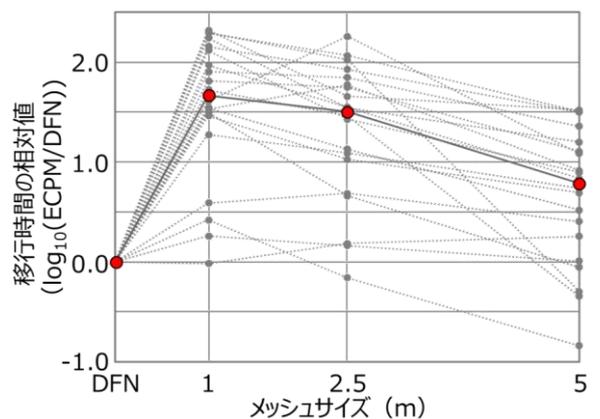


図-3 サイズごとの移行時間（相対値）
（灰色点線：各リアルイゼーションにおけるDFNモデルの解析結果との相対値，赤丸・黒点線：全リアルイゼーションの中央値）

4. まとめ

日本原子力研究開発機構の瑞浪超深地層研究所（地下500m）で取得されたデータを事例とし、DFNモデルと複数のメッシュサイズが異なるECPMモデルを構築し、仮想坑道掘削解析や粒子追跡線解析の結果を比較した。その結果、DFNモデルとECPMモデルによる水圧分布の再現性の違いに基づき、局所的な不均質性評価の場合はDFNモデルを、より規模の大きな不均質性評価の場合はECPMモデルを適用するといった評価対象となる不均質性の空間スケールに応じた解析モデルの使い分けが可能であることが確認できた。一方、粒子の移行時間については、ECPMモデルの構築方法（最適なメッシュサイズの検討など）を検討する必要性が確認された。なお、本件は経済産業省資源エネルギー庁の委託事業「令和2年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業－岩盤中地下水流動評価技術高度化開発－」の一部である。

参考文献

- 1) 石橋ほか，DFNモデルの水理学的パラメータ推定手法－説明性の向上に向けた試行－，令和3年度土木学会全国大会 第76回年次学術講演会，2021（投稿中）。