

## DFN モデルの等価透水係数分布に対する最小割れ目サイズの影響

鹿島建設(株) 正会員 ○石橋正祐紀 三好貴子 升元一彦  
(国研)日本原子力研究開発機構 竹内竜史

## 1. 背景・目的

割れ目分布の不均質性を再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等の移行経路となる岩盤の地下水流動評価に適用される。DFN モデルの構築に際しては、調査で得られる情報やモデル化・解析の目的に応じてモデル化する最小割れ目サイズ (本稿では、最小割れ目長さ; 以降、 $L_{min}$  と示す.) を設定する必要がある。一方で、 $L_{min}$  の設定によって、割れ目の連結性や等価透水係数への影響が想定される。そこで、本報では、 $L_{min}$  の差異が等価透水係数の解析結果に与える影響について検討する。

## 2. 実施内容

日本原子力研究開発機構の瑞浪超深地層研究所の割れ目密度の比較的高い地質 (土岐花崗岩の上部割れ目帯) での取得データに基づくパラメータセット (表-1<sup>1)</sup>) を用いて  $L_{min} = 2m, 10m$  のケースでの DFN モデルを構築し、定常浸透流解析により、等価透水係数分布を算出した。この際、解析領域縁辺部の三次元割れ目密度低下を回避するため、200m 立方領域で DFN モデルを構築し、このモデル化領域中心から解析領域分を抽出し、定常浸透流解析を実施した。また、定常浸透流解析については、3つの解析領域 (25m 立方, 50m 立方, 100m 立方; 図-1) の X, Y, Z 方向に対して、それぞれ動水勾配 1% で実施した。モデル数は、各解析領域に対して統計的に異なる 100 リアライゼーションとした。なお、等価透水係数分布は、各リアライゼーションの X, Y, Z 方向の等価透水係数から有効透水係数 (3 方向の対数平均値) を算出して整理した。DFN モデルの構築、定常浸透流解析については、ConnectFlow12.3 を用いて実施した。

パラメータセットの内、割れ目の方位分布は Fisher 分布、割れ目長さ分布はべき分布、割れ目個々の透水量係数は、割れ目長さ<sup>2</sup>と透水量係数が準相関関係を有する分布 ( $T = \text{lognorm}(\mu, \sigma) \times r^C$ ;  $T$  は透水量係数、 $\mu$  は対数平均、 $\sigma$  は対数標準偏差、 $r$  は割れ目半径、 $C$  は定数を示す) を適用した。なお、このパラメータセットは、比較的小さい割れ目の密度が大きく (合計で  $2.65\text{m}^2/\text{m}^3$ )、割れ目個々の透水量係数は比較的高い ( $10^{-9}\text{m}^2/\text{s}$  以上) という特徴がある。

## 3. 解析結果

各解析領域における  $L_{min} = 2.0m, 10.0m$  の等価透水係数分布について、図-2~4 に示す。25m 立方, 50m 立方, 100m 立方領域全てにおいて、 $L_{min}$  変更の影響は、数倍程度であることが確認された。しかし、この影響は等価透水係数が低い程大きく、 $L_{min} = 2.0m$  で等価透水係数が高くなる傾向がある。本パラメータセットで

キーワード DFN モデル, 等価透水係数, 最小割れ目長さ

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 TEL042-485-1111

表-1 DFN モデルのパラメータセット<sup>1)</sup>

地質区分	卓越方位 Set	傾斜方位/傾斜 [deg.]	Fisher 定数 [-]	割れ目長さ (べき指数) [-]	割れ目密度 [ $\text{m}^2/\text{m}^3$ ]	透水量係数分布 ( $\mu, \sigma, C$ )
土岐花崗岩 (上部割れ目帯)	Set 1	61.0 / 86.6	12.7		1.81	-9.0,
	Set 2	312.9 / 88.3	11.0	4.0	0.38	0.0,
	Set 3	1145 / 8.1	7.6		0.46	2.4

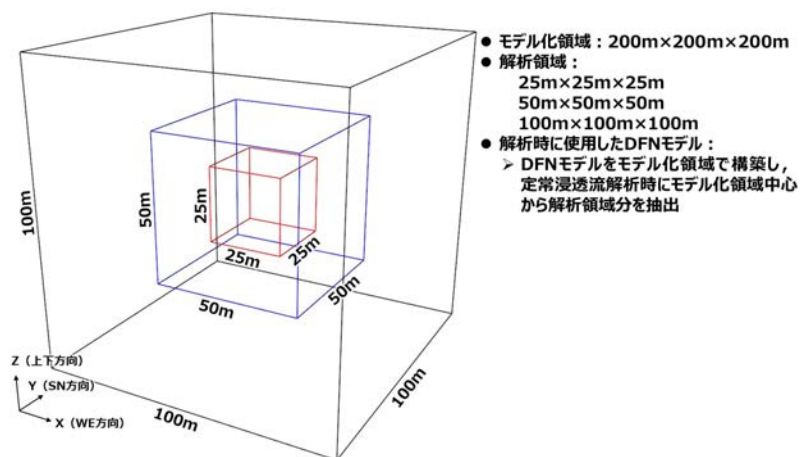


図-1 モデル・解析領域の設定

は、比較的小さな割れ目でも  $10^{-9}\text{m}^2/\text{s}$  以上の透水量係数を有するため、小さな割れ目も移行経路として機能する。この結果、割れ目長さ 2.0m~10.0m の割れ目により、解析領域全体としての有効空隙率が増加し、 $L_{\min}$  が小さい DFN モデルで等価透水係数が高くなったと推察される。

一方、等価透水係数の高い範囲では、 $L_{\min}$  の違いの影響が小さい。本パラメータセットでは、割れ目長さが大きな程、高い透水量係数を設定するため、大きな割れ目モデルを選択的に地下水が移行する。よって、大きな割れ目が分布する等価透水係数の高いリアイゼーションでは、大きな割れ目を介した流動が主体的となり、等価透水係数の高い範囲では  $L_{\min}$  の違いによる差が小さくなったと推察される。

解析領域について着目すると、等価透水係数全体については、25m 立方領域のケースでは 2 桁程のばらつきが認められるが、100m 立方で領域のケースでは 0.5 桁程度まで幅が小さくなる傾向がある。また、 $L_{\min}$  の違うケースの低等価透水係数部のばらつき幅も、25m 立方で最も大きくなる。これらについては、解析領域内の DFN モデルの割れ目長さ分布の影響が強く出た結果と考えられる。具体的には、解析領域が小さい場合には、小さな割れ目のみで構成される DFN モデルと、大きな割れ目が入る DFN モデルが明確に分かれるが、解析領域が大きい場合には、小さい割れ目から大きな割れ目までを介して水が流れることとなる。この結果として、解析領域が小さい場合には、 $L_{\min}$  の違いによる透水性への影響が大きく、解析領域が大きな場合には、この影響が小さくなったと推察される。

#### 4. まとめ

三次元割れ目密度（合計で  $2.65\text{m}^2/\text{m}^3$ ）が高く、短い割れ目が多いパラメータセットを用いて、DFN モデルにおける、最小割れ目サイズが等価透水係数に与える影響について検討した。その結果、等価透水係数の差は数倍程度であるが、高等価透水係数部と低等価透水係数部での傾向が異なり、最小割れ目サイズが小さいほど、等価透水係数が高くなる傾向が確認された。一方、これらの傾向はパラメータセットの特に割れ目個々の透水量係数分布や割れ目密度により変わる可能性が推察される。よって、最小割れ目サイズの影響については、モデル化・解析における一つの不確実性として考慮し、必要に応じた感度解析などを併用する必要があると考えられる。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3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）（JPJ007597）」の一部である。

#### 参考文献

- 1) 日本原子力研究開発機構・電力中央研究所、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—岩盤中地下水流動評価技術高度化開発—、経済産業省資源エネルギー庁、341p、2021。

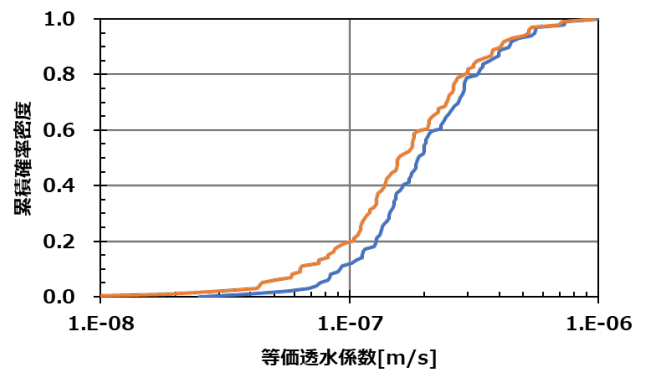


図-2 25m 立方領域における解析結果

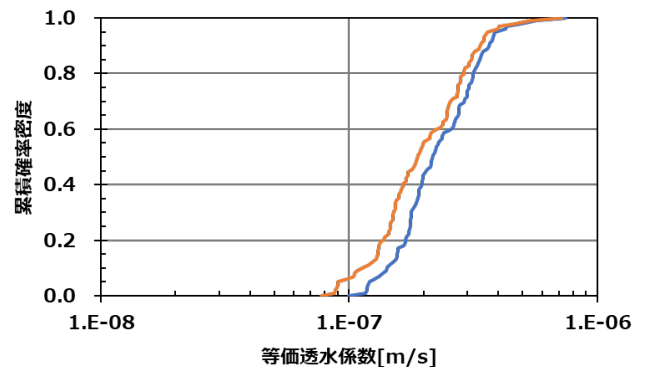


図-3 50m 立方領域における解析結果

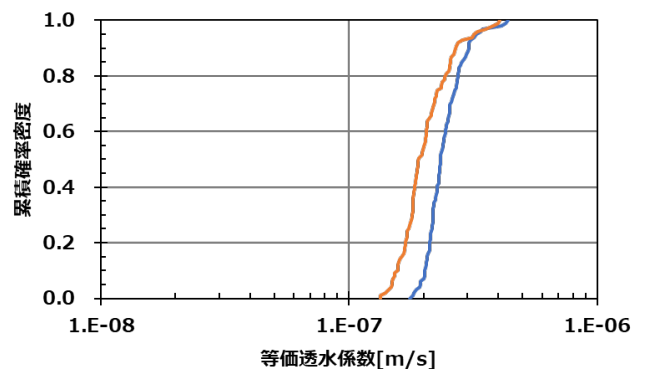


図-4 100m 立方領域における解析結果