

亀裂頻度分布における不確実性の定量化 (その 2)

Quantification of Uncertainty on Fracture Intensity Distribution (Part 2)

一亀裂ネットワークモデルによる亀裂頻度分布特性の把握一

大成建設株式会社 正会員 ○本島貴之, 井尻裕二

(独)原子力安全基盤機構 正会員 鈴木俊一, 非会員 青木広臣

Golder Associates Inc. 非会員 Doo-Hyun Lim

1. 目的

放射性廃棄物処分施設の安全評価においては, 原位置での調査データに基づいて評価結果に大きな影響を及ぼす可能性のある亀裂特性を求める必要がある. その中でも亀裂の大きさの頻度分布は, 岩盤の透水性や岩盤内の放射性核種の移行時間に大きな影響を及ぼすことが指摘されており¹⁾, 安全評価上特に重要である. しかしながら, この亀裂の大きさは, フラクタル性を呈するべき乗分布に従うにも拘わらず, 露頭や調査坑道など観察断面には制約があることから, 調査データから推定される亀裂の大きさの分布には不確実性が存在する.

そこで著者らは, 本稿前編のその 1²⁾において限られた情報量から得られる 2 次元亀裂頻度 P_{20} の不確実性を理論式により導出した. この 2 次元亀裂頻度 P_{20} は, 単位面積あたりの亀裂本数を表し, ある亀裂の大きさ分布のもとでは一定値を示すことから, 施設建設時に容易に確認できる利点がある.

本編では, 不連続亀裂ネットワークモデル (以下DFNモデルという) を用いて数値解析を実施し, 前編で導出した理論式との整合性を検証した結果について報告する.

2. DFNモデルによる算定方法

DFNモデルは, 1 辺 300mの立方体領域内に FracMan³⁾により表 1 に示すパラメータ値を用いて亀裂を発生させて作成した. 亀裂の方向分布にはFisher分布³⁾を用い, Fisher係数は 6.3, 亀裂の卓越方向の走向角および傾斜角にはそれぞれ 336° および 4.7° を用いた. 円盤状の亀裂を仮定し, モデル化する亀裂の形状は円盤と等価な面積を有する 6 角形とし, 亀裂の中心点位置は, 3 次元空間上にランダムに発生させた³⁾. 亀裂の半径分布は, べき乗数 3.0 のべき乗分布とし, 最大半径は無有限大, 最小半径は 3mとした. また, 亀裂の 3 次元密度は 1.0, 0.30, 0.07m²/m³の 3 つのケースを設定した. それぞれ 1 次元密度 0.84, 0.25, 0.06/mに相当する. DFNモデルは, モンテカルロシミュレーションにより 100 個のリアライゼーションを発生し, 各モデル内で観測面積100m²から 10,000m²に応じた断面で 2 次元亀裂頻度 P_{20} を求め, 全 100 個のモデルから得られた P_{20} の値から期待値および標準偏差を算出した.

表 1 パラメーター一覧

パラメータ	設定値
方向分布	Fisher 分布 ³⁾ (Fisher 係数 6.3, 走向角 336°, 傾斜角 4.7°)
形状	6 角形
中心点空間分布	ポアソン分布(Baecherモデル ³⁾)
半径分布	べき乗分布(べき乗数 3.0, 最大半径 ∞ , 最小半径 3m) ケース 1 : 3 次元密度 1.0 m ² /m ³ ケース 2 : 3 次元密度 0.30 m ² /m ³ ケース 3 : 3 次元密度 0.07 m ² /m ³

3. 理論式による算定方法

前編²⁾より 2 次元亀裂頻度 P_{20} [1/m]の期待値および標準偏差は, 式 1 および式 2 の理論式から算定される.

$$P_{20} = \frac{P_{21}}{E(l)} = P_{10} \cdot C_{21} \cdot [\pi \cdot k \cdot r_{\max} \cdot \{2(k-1)\}^{-1}]^{-1} \quad (\text{式 1})$$

$$\sigma_{P_{20}} = \sqrt{\frac{P_{21} \cdot A}{E(l)}} \cdot A^{-1} = (P_{10} \cdot C_{21})^{0.5} \cdot [A \cdot \pi \cdot k \cdot r_{\max} \cdot \{2(k-1)\}^{-1}]^{-0.5} \quad (\text{式 2})$$

ここに, P_{21} は 2 次元亀裂密度[m/m²], P_{10} は 1 次元亀裂頻度[1/m], $E(l)$ はトレース長 l [m]の期待値[m], C_{21} ⁴⁾は 2 次元密度と 1 次元頻度の変換係数, k はべき乗数, $\sigma_{P_{20}}$ は P_{20} の標準偏差, A は観測面積[m²]を表す.

キーワード 不連続亀裂ネットワークモデル, 亀裂頻度, べき乗分布

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿SCB 大成建設 (株) 原子力本部 TEL:03-5381-5315

3. 検討結果

各ケースにおける2次元亀裂頻度の算定結果を図1～3に示す。これらの結果より、理論式および数値解析とともに、亀裂密度が小さいほど、同じ観測面積でのばらつきを示す標準偏差が大きくなる傾向がわかる。このことから、亀裂密度が小さい岩盤ほど、2次元亀裂頻度の不確実性を低減するためには、より大きな観測面積でのデータを取得する必要があると言える。また、数値解析結果からは、観測面積が小さいほど、期待値が大きくなる傾向がわかる。これは、観測面積が小さいほど、観測面積に対する観測面の周辺長の割合が大きくなり、観測面の周辺端部と交差する亀裂の本数が増えるためである。そこで、この観測面端部での影響を除いて、数値解析により得られた標準偏差と理論式から得られた標準偏差を比較した。その結果、図4に示すように数値解析により得られた2次元亀裂頻度の標準偏差は、理論式とほぼ一致することから、数値解析の結果と理論式の整合性を確認した。

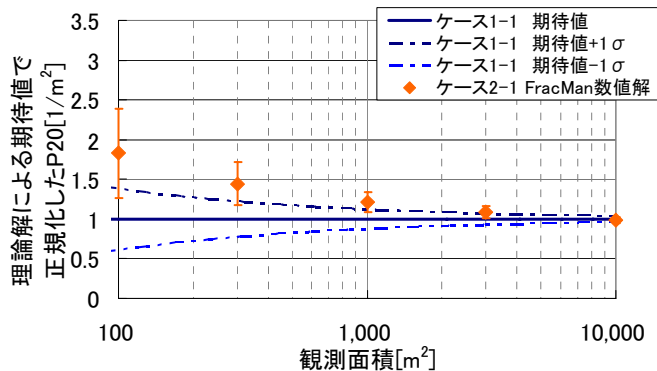


図1 理論解と数値解の比較(ケース1)

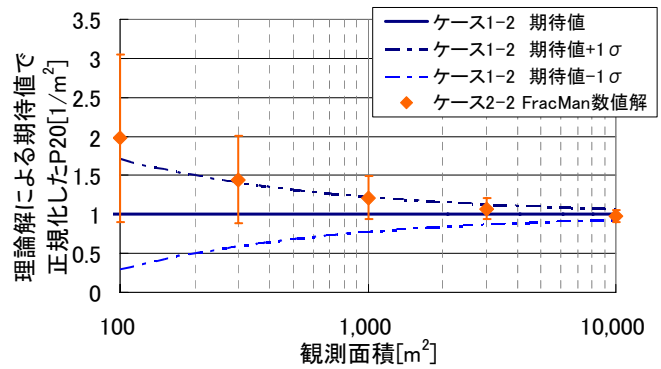


図2 理論解と数値解の比較(ケース2)

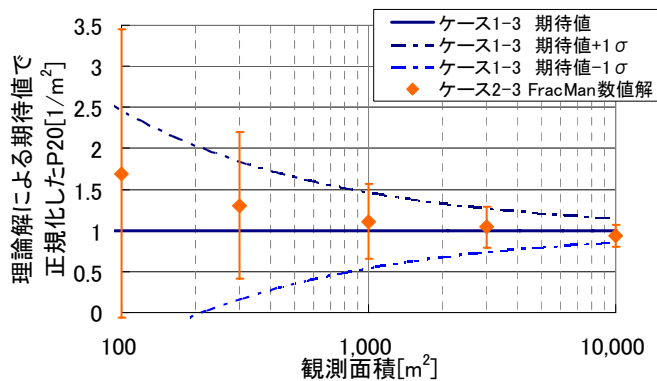


図3 理論解と数値解の比較(ケース3)

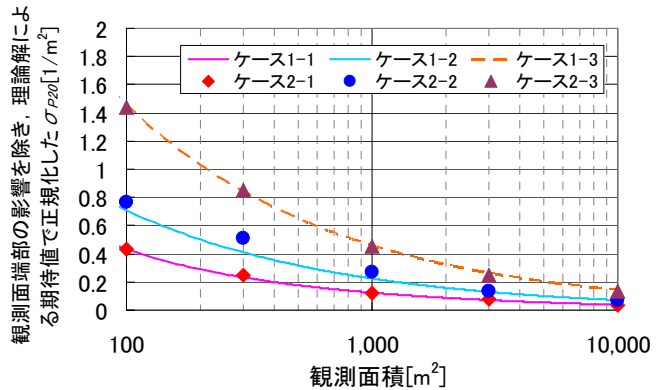


図4 σ_{P20} の理論解と数値解の比較

4. まとめ

本編では、DFNモデルによる数値シミュレーションを実施し、前編その1²⁾で導出した亀裂頻度の不確実性を表す理論式との整合性を確認するとともに、不確実性を低減するためにはある程度の観測面積が必要であることを示した。また、亀裂が少ない岩盤ほど、不確実性を低減するためには、より大きな観測面積でデータを取得する必要があることがわかった。さらに、原位置での亀裂観察において、観察断面外周と交差する亀裂の本数を数えることによって2次元亀裂頻度を過大に評価する可能性があり、亀裂頻度が大きいほどその傾向が強くなることがわかった。したがって、不確実性を低減するために原位置で亀裂の観測面積を増やす場合には、亀裂本数を過大に見積もらないように、隣り合う連続した観測断面を設けることが重要と考えられる。今後は、より精度の高い原位置での亀裂頻度の観測方法について検討していく予定である。

参考文献 1) 澤田ほか, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN8400 99-093, 1999. 2) 鈴木ほか: 亀裂頻度分布における不確実性の定量化(その1), 土木学会第62回年次学術講演会, 2007. 3) Golder Associates Inc.: FracWorksXP Discrete Feature Simulator User Documentation ver.4.0, 2004. 4) Wang, X.: Stereological interpretation of rock fracture traces on borehole walls and other cylindrical surfaces, Ph.D. thesis, Virginia Polytechnic Institute and State Univ., 2005.