

割れ目を対象とした原位置トレーサ試験結果に対する1次元モデルの適用性に関する検討

大成建設(株) 正会員 ○苗村 由美, 井尻 裕二
(独)日本原子力研究開発機構 正会員 澤田 淳, 非会員 國丸 貴紀, 太田 久仁雄

1. はじめに

放射性廃棄物地層処分の安全評価に際して重要なパラメータの一つである岩盤中の割れ目を対象とした核種移行データを取得するために, スウェーデンÄspöやスイスGrimselでは原位置において種々のトレーサ試験が実施され, その試験結果の評価には割れ目を1次元平行平板で近似したモデルが用いられてきた^{1,2)}. しかしながら, トレーサを注入するボーリング孔と回収するボーリング孔間の2次元的な流れに対して1次元モデルを用いることにより分散長などの値を過大または過小に評価する可能性がある. そこで, 本論では, コンピュータ上で数値的に作成した2次元割れ目モデルを対象にトレーサ試験のシミュレーションを実施し, 得られた濃度破過曲線に対して1次元および2次元モデルを用いた逆解析を適用することで移流分散に関連するパラメータの値を推定し, 均質および不均質場における1次元モデルの適用性について検討した結果について報告する.

2. 均質場における検討結果

割れ目を対象とした均質場におけるトレーサ試験シミュレーション結果に対して, 1次元モデルにより分散長および実流速を同定する. トレーサ試験シミュレーションに用いた割れ目モデルは, 図1に示すように境界条件の影響が及ばないように孔間距離5mに対して十分に大きい50m×50mの領域とし, 数値拡散を低減するために領域中心部20m×20mの領域を1辺0.1mの格子状に離散化し, その外側は0.1~2.5mで離散化した. 境界条件は, 解析領域外周は水頭固定, トレーサ回収孔は揚水流量200ml/min, 注入孔は濃度固定 $C=1.0$ とし, 全領域の初期水頭は500m, 初期濃度は0.0とした. また, 割れ目の透水量係数 T は $1.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ とし, 三乗則($b = \sqrt[3]{12\nu T/g}$, ν : 動粘性係数, g : 重力加速度)が成立すると仮定して開口幅 b は0.05mmとした. 縦方向分散長 α_L は0.1m, 横方向分散長は0.05mとし, 縦方向分散長0.5mのケースも実施した.

図2にシミュレーション結果(○●)と1次元モデルによる逆解析結果(実線)を示す. ここで, 2次元モデルによるシミュレーション結果では, 揚水孔周辺からの水の流入により濃度が希釈されるため, 濃度最大値で正規化し, 逆解析では最小二乗法を用いた. 縦方向分散長0.1mのケースでは, 1次元モデルにより良好なフィッティングができており, 得られた分散長の同定値は0.15mで, 設定値の1.5倍となっている. これは, 横方向の分散に起因した孔間の放射状流れの影響が1次元モデルでは縦方向分散長に包含されるためである. 縦方向分散長0.5mのケースにおいても, 分散長の同定値は0.68mで, 設定値の1.36倍となっている. 0.1mのケースよりも小さいのは, 横方向分散長が縦方向分散長に対して相対的に小さくなっているためと考えられる.

3. 不均質場における検討結果

透水量係数が不均質に分布する割れ目モデルを対象としたトレーサ試験シミュレーション結果に対して1次元および2次元モデルを用いて分散長, 実流速および希釈率を同定する.

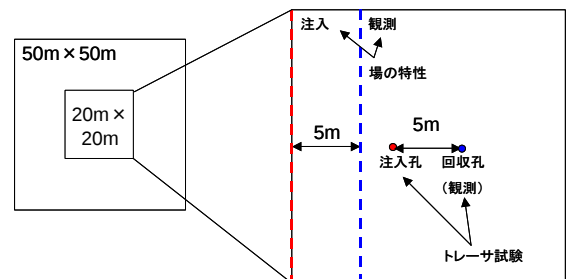


図1 解析モデル

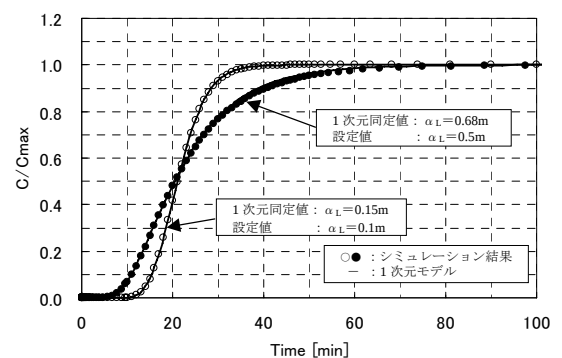


図2 均質場の結果

キーワード 原位置トレーサ試験, 分散長, 1次元モデル

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)原子力本部原燃サイクル部 TEL 03-5381-5315

解析に用いる領域とメッシュは、均質場と同じとし、領域中心部 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 領域に地球統計学的手法³⁾を用いて透水量係数の不均質場を確率論的に発生させた。透水量係数は対数正規分布に従うものとして幾何平均 $1.0 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 、常用対数標準偏差 0.7 とし、バリオグラムには球型モデルを採用し、相関長 3m とし、30 リアライゼーションの場を発生させた（発生例：図 3 参照）。なお、外周部の透水量係数は $1.0 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ とし、均質場と同様、開口幅は局所的に三乗則が成立すると仮定し、縦方向分散長は 0.1m、横方向分散長は 0.05m とした。

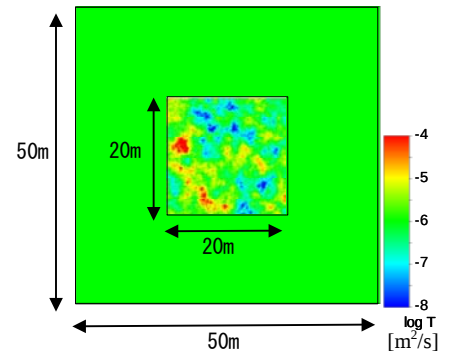


図 3 不均質場の一例

図 4 にシミュレーション結果と 1 次元および 2 次元モデルの逆解析結果を示す。ここで、2 次元モデルによる逆解析は、パラメータ（実流速、分散長、希釈率）が互いに独立ではないため、あらかじめ作成した標準曲線を用いたフィッティングによりパラメータ値を同定した。30 リアライゼーションから得られた 2 次元モデルによる分散長の同定値は平均 0.12m で、設定値の 1.2 倍となっている。これは、不均質場の影響により機械的な分散効果が増大したためと考えられる。また、1 次元モデルによる分散長の同定値は平均 0.17m で、設定値の 1.7 倍、2 次元モデル同定値の 1.4 倍となっている。これは、均質場と同様、横方向分散に起因した放射状流の影響である。

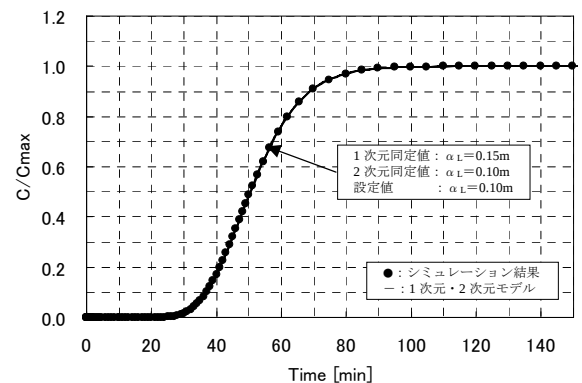


図 4 不均質場の結果の一例（トレーサ試験）

また、トレーサ試験から得られた局所的な分散長と対比するために、不均質場の巨視的な分散長の評価を実施する。図 3 の中心部 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 領域を取り出し、一定動水勾配 1.0 の下で、その上流端(図 1 の赤破線)で濃度固定境界 $C=1.0$ を設定し、下流側 5m(図 1 の青破線)を通過する濃度破過曲線に対して、1 次元モデルを用いて不均質場の巨視的な分散長を求めた(図 5 参照)。その結果、30 リアライゼーションから得られた 1 次元モデルによる分散長の同定値は平均 0.84m で、トレーサ試験より得られた分散長よりも大きい。これは、トレーサ試験では孔間距離 5m に対して不均質場の相関長が 3m と相対的に大きく、孔間での局所的な機械的な分散の影響のみを評価しているのに対して、場の分散長は $5\text{m} \times 20\text{m}$ 領域の巨視的な機械的な分散の影響を評価しているためである。

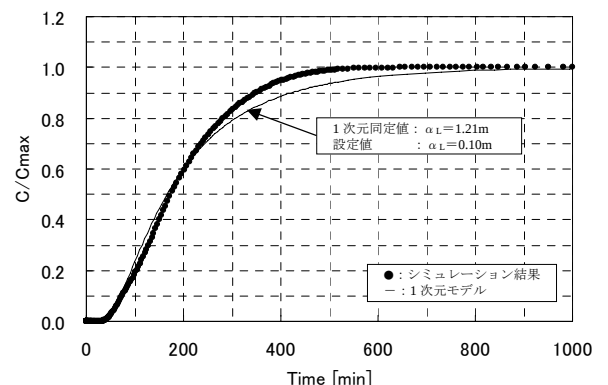


図 5 不均質場の結果の一例（巨視的な分散）

4. おわりに

均質および不均質な割れ目内におけるトレーサ試験シミュレーションの結果に対して、1 次元モデルを適用した場合には、同定された分散長は過大評価されることが確認できた。この理由としては、割れ目内の孔間では、横方向分散の影響によりトレーサが放射状に流れ、かつ流速も一様でないのに対し、1 次元モデルでは流速が一様でかつ横方向分散の影響を考慮することができないためと考えられる。よって、孔間トレーサ試験データの評価には 2 次元モデルの適用が有効であることがわかった。

本論では、2 次元モデルを用いた逆解析にあたって標準曲線を用いたが、今後は、原位置の様々な試験条件下におけるデータへの適用を考えて逆解析のアルゴリズムの開発が必要と考える。また、地球統計学的手法の相関長や地球統計学的手法以外の場など不均質場の特性が試験結果に及ぼす影響などについて検討を行っていく予定である。

参考文献 1)Winberg et al.(2000) : TR-00-07, SKB, 2)Smith et al.(2001) : TR-00-09, NAGRA, 3)Deutsch et al.(1998) : GSLIB: Geostatistical Software Library, 2nd edition, New York, Oxford University Pr.