

割れ目を対象とした原位置トレーサー試験結果に対する 1次元モデルの適用性に関する検討(2)

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

割れ目を対象とした原位置トレーサー試験結果に対する1次元モデルの適用性に着目し, 昨年度¹⁾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注入圧のない放射状揚水トレーサー試験のシミュレーションを実施した. その結果, 1次元モデルにより同定された分散長は, トレーサー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次元な流れの影響により過大評価されるという結果を報告した. そこで本論では, 注入圧のあるダイポール試験および不均質場の特性の影響について検討した結果を報告する.

2. 均質場におけるダイポール試験の影響

均質な割れ目を対象としたトレーサー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. トレーサー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, トレーサー回収孔は揚水流量200ml/min, 注入孔は注水流量0, 20および40ml/min, 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 $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 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0.12mmとした. 縦方向分散長 α_L は0.1m, 横方向分散長は0.05mとしたケースを示す.

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. 注入流量0ml/minのケースにおいて分散長の同定値 α_L は0.15m(設定値の1.5倍), 注入流量20ml/minのケースにおいては0.24m(設定値の2.4倍), 注入流量40ml/minのケースにおいては平均0.49m(設定値の4.9倍)となった. ダイポール比(揚水流量/注入流量)が大きいほど, 濃度破過曲線に見られる分散現象が大きくなり, 分散長が過大評価されている. これは, 孔間の流れの影響および横方向への分散の影響がダイポール比に応じて大きくなり, 1次元モデルでは縦方向分散長にその影響が包含されるためであると考えられる.

3. 不均質場の特性の影響

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ー試験シミュレーション結果に対して1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. 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20m×20m領域に地球統計学的手法²⁾を用いて透水量係数の不均質場を確率的に発生させた. 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

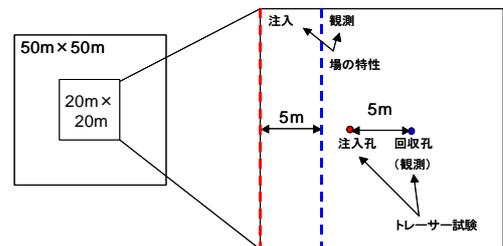


図1 解析モデル

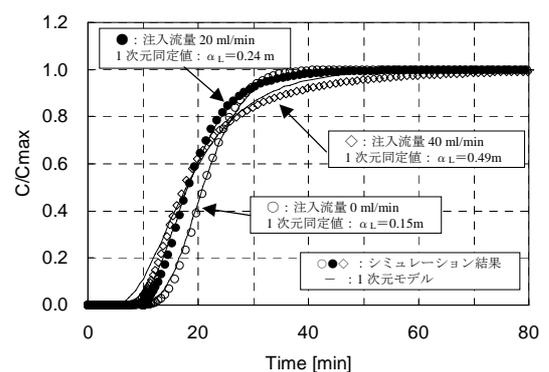


図2 均質場の結果

キーワード 原位置トレーサー試験, 分散長, 1次元モデル

連絡先 〒163-6009 東京都新宿区西新宿 6-8-1 大成建設(株)原子力本部原燃サイクル部 TEL03-5381-5315

デルを採用し、透水量係数は対数正規分布に従うものとして相関長 0.1 m (メッシュサイズ) として、10 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 0.1 m, 横方向分散長は 0.05 m とした。また、トレーサー回収孔は揚水流量 200 ml/min, 注入孔は注水流量 0, 20 および 40 ml/min とした。

図 4 にシミュレーション結果 (○●◇) と 1 次元モデルの逆解析結果 (実線) を示す。注入流量 0 ml/min のケースにおいて分散長の同定値は平均 0.15 m (設定値の 1.5 倍), 注入流量 20 ml/min のケースにおいては平均 0.22 m (設定値の 2.2 倍), 注入流量 40 ml/min のケースにおいては平均 0.41 m (設定値の 4.1 倍) となった。

また、トレーサー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 m × 20 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 5 m (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。その結果、10 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 0.13 m となった。

①相関長の影響: 不均質場の巨視的な分散長 (自然動水勾配下) および放射状揚水トレーサー試験における分散長は昨年度の相関長 3 m の実施結果 (表 1) と比較すると、ともに小さくなっている。これは移行距離 5 m に対して相関長が 0.1 m と小さく、流れ場が均質とみなせるためと考えられる。また、自然動水勾配下では上流端全体で濃度固定としており、横方向への分散の影響が小さくなるため、本年度の不均質場の巨視的な分散長はトレーサー試験における分散長よりも小さい評価値となっている。

②ダイポール試験の影響: 均質場と同様にダイポール比が大きくなるほど、縦方向分散長は過大評価されている。また、均質場と比較すると、若干小さく評価されている。これは、場の不均質性の影響を受けて、不均質な流れ場となるものの、物質移行の拡がりには制限されてしまうため、分散長が小さく評価されていると考えられる。

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ー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て得られた分散長の同定値のまとめを表 1 に示す。同定された分散長はいずれも設定値 (0.1 m) と比べて過大評価されていることが確認できる。ダイポールの影響については、均質場および不均質場ともにダイポール比が大きくなるほど、流れ場による分散効果が大きくなり、1 次元モデルを適用した場合に得られる分散長はさらに過大評価されることが確認できた。また、不均質場における相関長の影響については、移行距離に対する相関長が小さくなると流れ場が均質に近づき、均質場とみなせるため、分散効果が小さくなり、相関長が大きい場よりも、1 次元モデルを適用した場合の過大評価の割合は小さくなることが確認できた。今後は、ダイポール比、不均質場、孔間距離などの影響についてさらに検討する必要があると考えられる。

参考文献 1) 苗村他 (2008) : 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, 第 63 回土木学会年次学術講演会, p.251-p.252, 2) Deutsch et al.(1998) : GSLIB: Geostatistical Software Library, 2nd edition, New York, Oxford University Pr.

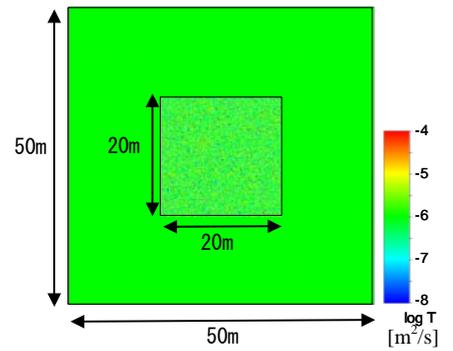


図 3 不均質場の一例

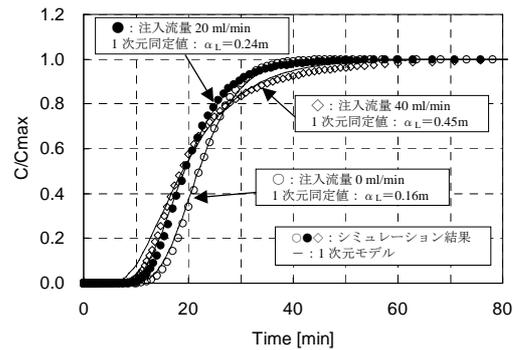


図 4 不均質場の結果の一例 (トレーサー試験)

表 1 分散長の同定値のまとめ

		均質場	不均質場 (相関長)	
			0.1 m	3 m
トレーサー試験 (注入流量)	0 ml/min	0.15 m	0.15 m	0.17 m*
	20 ml/min	0.24 m	0.22 m	
	40 ml/min	0.49 m	0.41 m	
自然動水勾配下		(0.1 m)	0.13 m	0.84 m*
備考			各 10 ケースの平均	各 30 ケースの平均

ここで、設定値は 0.1m, *: 昨年度実施結果