

トレーサ試験逆解析時の初期値設定へのタグチメソッドの適用

(財)電力中央研究所 正会員 田中 靖治

1. はじめに

原位置トレーサ試験により得られる破過曲線から、逆解析により溶質移行にかかわるパラメータの値を同定することが可能である。しかし、特に割れ目を介した溶質移行には多くのパラメータが関与するとともに、パラメータの不均質性の影響もあり、逆解析結果が局所の最適解にとどまることもしばしばみられる。本研究は、システムの有する品質管理で有名なタグチメソッド(田口, 1976)による初期値選定機能の有効性について、検討を行ったものである。

2. 解析モデル

解析モデルは、平行平板で表した単一の割れ目と周辺のマトリクス部から成る仮想の3次元岩盤モデルである。割れ目の大きさは、縦20 m、横25 mの長方形とした。割れ目の開口幅は1 mmであり、割れ目の両側に厚さ1 mmのマトリクス部を考慮した。割れ目内には、表1に示す統計量を基に、2通りの透水量係数の不均質場を確率的に発生させた。その際、球型のバリオグラムを仮定した。不均質場Aの透水量係数分布を図1に示す。投入孔から非収着性トレーサであるヨウ素を投入し、5 m離れた回収孔において揚水を行った場合の回収孔における破過曲線を計算した。その際、割れ目内での縦分散長は0.001 m、横分散長は0.0001 mとし、マトリクス部内の有効拡散係数は $2\text{e-}9\text{ m}^2/\text{s}$ とした。不均質場Aについて得られた破過曲線を図2にcqblandaとして示す。

3. タグチメソッドによる初期値推定

不均質割れ目と同じ破過曲線を与える均質な割れ目の開口幅 b 、縦分散長 α_L 、横分散長 α_T を同定する。そのための初期値をタグチメソッドにより設定する。タグチメソッドの適用には混合系直交表である L_{18} を採用した。そして、トレーサの移行に関するあたり

表1 透水量係数の発生に用いた統計量

不均質場	対数平均値	対数標準偏差	相関長 (m)
A	-7.0	0.7	0.5
B	-7.0	0.7	1.0

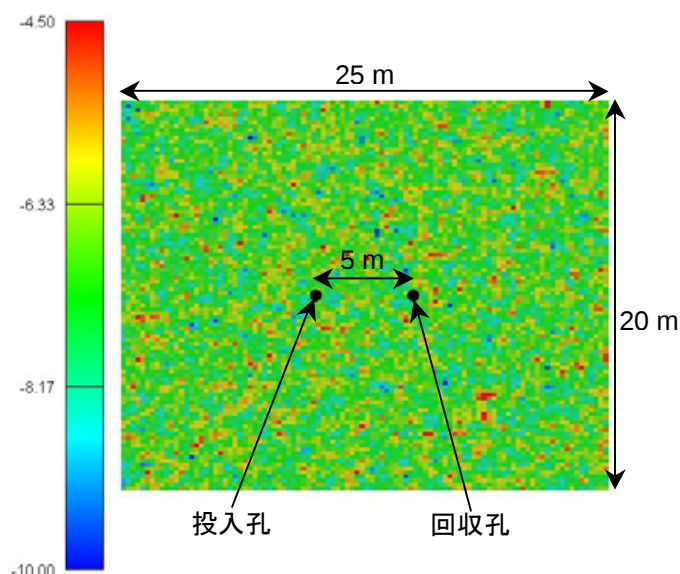
注：対数は常用対数であり、対数平均値-7.0は $1.0\text{E-}7\text{ m}^2/\text{s}$ 

図1 不均質場Aの透水量係数分布

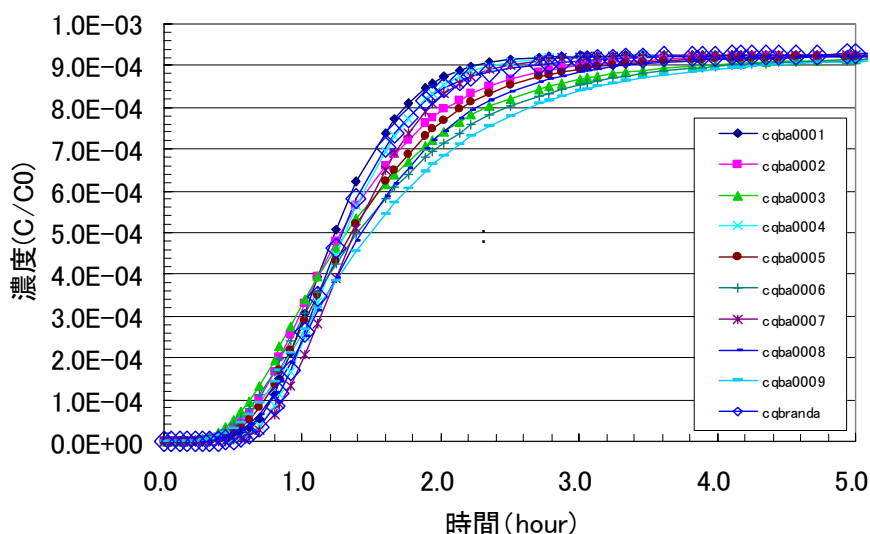


図2 回収孔における破過曲線

キーワード タグチメソッド, 逆解析, トレーサ試験, 割れ目, 岩盤

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1 6 4 6 (財)電力中央研究所 TEL 04-7155-5292 FAX 04-7182-2243

計算を行い、同定する3つのパラメータに対して3水準の値を設定し、混合系直交表の第2～4列に割り付けた。不均質場Aに対しては、3水準の値として $b/2$ については 0.325 mm, 0.35 mm, 0.375 mm を, α_L については 0.1 m, 0.3 m, 0.5 m を, α_T については 0.01 m, 0.05 m, 0.09 m をそれぞれ設定し、表2に示すように混合系直交表へ割り付けた。

そして、各解析ケースについて、均質な割れ目場を含む岩盤を仮定してトレーサ移行に関する順解析を実施した。計算結果の例として、表2の解析ケース1～9において得られた破過曲線を図2に示す。

続いて、各パラメータの各水準について、以下の式で表される望小 SN 比を計算する。

$$\text{望小SN比} = -10 \log \left[\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^N \left\{ (C_j^m - C_{kij}^c) / C_j^m \right\}^2 / 6N \right]$$

ここで、 C_j^m は不均質場における時刻 j の回収孔濃度、 C_{kij}^c は均質場におけるパラメータ k の水準 l を用いた i 番目の解析ケースの時刻 j の濃度、 N は時刻歴の数である。不均質場Aに対する要因効果(望小特性の SN 比)を図3に示す。SN 比が最大となるのは $b/2$ と α_T については第2水準であり、 α_L については第1水準である。したがって、逆解析の初期値として $b/2=0.35$ mm, $\alpha_L=0.1$ m, $\alpha_T=0.05$ m が得られる。

割れ目の開口幅 b を 0.7mm に固定し、タグチメソッドにより得られた初期値を用いた場合と、その他の3通りの初期値を用いた場合について、随伴方程式法による逆解析により縦分散長、横分散長の同定を行い、同定結果を比較した。その結果を表3に示す。表中の ΔC^2 は破過曲線の各時刻における誤差の自乗の平均値である。不均質割れ目 A, B いずれの場合でも、タグチメソッドで得られた値を初期値としたケースでは、少ないステップ数で収束するとともに同定結果の誤差も最も小さくなっており、タグチメソッドによる初期値設定の有効性が示されたものとする。

タグチメソッドによる初期値設定は、パラメータ数が増えるほど効果的であると考えられることから、今後はマトリクス部の有効拡散係数や分配係数など同定するパラメータ数を増やした事例への適用を試みたい。

なお、本報告の内容は、経済産業省資源エネルギー庁より当所が受託し実施した「岩盤中物質移行特性原位置評価技術高度化調査」の一部であることを記するとともに、末尾ではあるが、本研究の計算作業に多大なるご尽力をいただいた

(株)計算力学研究センターの関係各位に謝意を表したい。

参考文献

・田口玄一(1976): 実験計画法(上, 下), 丸善。

表2 L_{18} 直交表への割り付け

解析ケース	$b/2$ (mm)	α_L (m)	α_T (m)
1	0.325	0.1	0.01
2	0.325	0.3	0.05
3	0.325	0.5	0.09
4	0.350	0.1	0.01
5	0.350	0.3	0.05
6	0.350	0.5	0.09
7	0.375	0.1	0.05
8	0.375	0.3	0.09
9	0.375	0.5	0.01
10	0.325	0.1	0.09
11	0.325	0.3	0.01
12	0.325	0.5	0.05
13	0.350	0.1	0.05
14	0.350	0.3	0.09
15	0.350	0.5	0.01
16	0.375	0.1	0.09
17	0.375	0.3	0.01
18	0.375	0.5	0.05

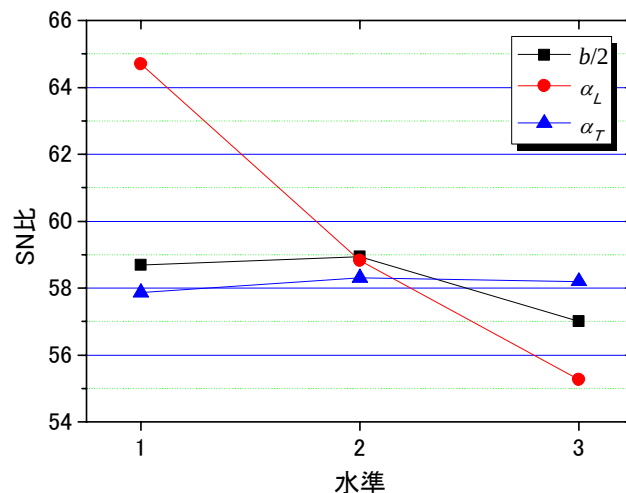


図3 要因効果図

表3 逆解析結果

	不均質場 A				不均質場 B			
	タグチメソッド	Case 1	Case 2	Case 3	タグチメソッド	Case 1	Case 2	Case 3
α_L 初期値 (m)	0.1	0.05	0.5	0.5	0.1	0.05	0.5	0.5
α_T 初期値 (m)	0.05	0.001	0.001	0.01	0.01	0.001	0.001	0.01
ステップ数	13	10	20	26	11	51	14	18
α_L 収束値 (m)	0.126	0.132	0.0963	0.110	0.113	0.00189	0.0226	0.0280
α_T 収束値 (m)	0.0436	0.00094	0.00118	0.0112	0.00983	0.00108	0.00180	0.0133
ΔC^2	5.86e-9	2.39e-8	1.27e-8	8.47e-9	9.87e-9	1.95e-8	1.88e-8	1.46e-8