

原位置トレーサー試験の逆解析による不確実性評価 (その1 データの不確実性の評価)

(株)地層科学研究所	正会員	○細野 賢一
大成建設株式会社	正会員	畑 明仁
大成建設株式会社	正会員	井尻 裕二
核燃料サイクル開発機構	非会員	澤田 淳

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分の安全評価に際しては、安全評価に用いるデータやモデルの不確実性が評価結果に及ぼす影響を定量化することが重要な課題の一つとなっている。そこで著者らは、原位置試験から同定したパラメータの不確実性を客観的に評価できるツールとして核種移行逆解析コードを開発するとともに、単一亀裂内で実施された原位置トレーサー試験結果を用いて観測データの不確実性に起因する同定パラメータの不確実性について検討を行った。

2. 核種移行モデルと逆解析手法の概要

原位置トレーサー試験のシミュレーションには、亀裂表面への核種の収着、マトリクス拡散、マトリクス内部での核種の収着、および核種の放射性崩壊を考慮した均質 1 次元平行平板を仮定した移流分散モデル¹⁾を用いた。ただし、本検討で対象とするトレーサー試験データでは核種崩壊の影響が排除されているため、計算時も核種崩壊に関する影響は考慮していない。

また、逆解析によるパラメータ同定には最尤推定法^{2), 3)}を用い、濃度の計算値と観測値の残差二乗和を分散で除したものを目的関数とし、目的関数が最小となるように最適パラメータ値を同定した。また、濃度計算値を期待値として求めた濃度観測値の分散から誤差伝播則によりパラメータの分散を同定し、観測データの不確実性に起因する同定パラメータの不確実性を評価した³⁾。

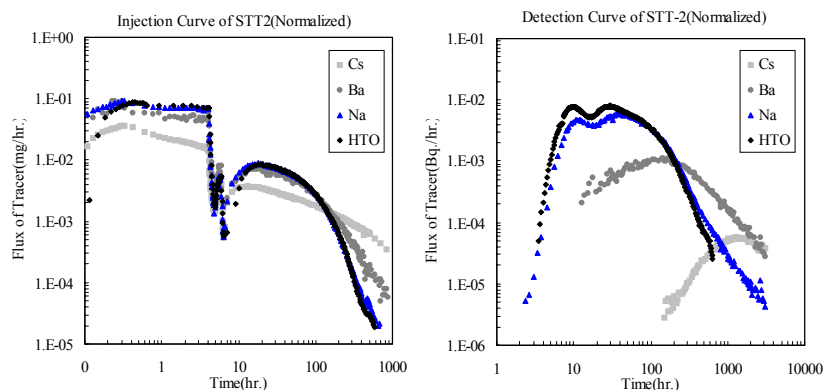


図1 STT-2 試験結果

3. 原位置トレーサー試験

スウェーデンの Äspö HRL において実施されたトレーサー試験 (STT-2)⁴⁾ では FeatureA と呼ばれる単一亀裂内で 4.68m の離間距離を持つボーリング孔を使用して試験が行われている。図1に示すように、ほぼ同じような注入量に対して、揚水側ではトレーサーの収着性の違いが反映された破過曲線が得られている。

4. 同定手順

逆解析にあたっては移行経路長が 4.68m の 1 経路モデルを用いた。逆解析は以下の 2 段階に分けて行った。第 1 段階では収着性のない HTO を対象として、流速、分散長、湿潤辺長を同定した。それら以外の拡散係数やマトリクス拡散深さなどのパラメータは、別途室内試験等で測定された値⁴⁾を用いて固定した。なお、湿潤辺長はマトリクス拡散寄与面積を示すパラメータとして用いている。第 2 段階では収着性核種 Na, Ba, Cs を対象に収着特性を同定した。第 2 段階ではマトリクス部の分配係数と亀裂表面の分配係数を同定した。この際、分配係数の算定に必要な岩石の乾燥密度、間隙率や亀裂幅は第 1 段階と同様に室内試験結果等を用いて固定値とした。なお、第 2 段階の同定では第 1 段階で決定されたパラメータは固定し、収着特性以外の特性は変えないものとしている。

キーワード 地層処分, 核種移行, 原位置試験, 逆解析, データの不確実性

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社 TEL 03-5381-5187

5. 移流分散，マトリクス拡散の同定と不確実性

図-2 に HTO の濃度破過曲線（観測値と逆解析結果）を示す．1 経路モデルを用いた結果ではあるが，観測値を精度良く再現していることが分かる．

また，表-1 に各パラメータの同定結果とパラメータの 95%信頼区間の上・下限値および上下限幅の同定値に対する比を，図-3 に目的関数コンターと同定パラメータ（流速，分散長）の 95%信頼区間を示す．表-1 の上・下限値は図-3 の楕円のパラメータ軸方向の幅を示す．95%信頼区間は2節で記したように濃度観測値の分散から誤差伝播則により算出され，観測データの不確実性に起因する同定パラメータの不確実性を示す．表-1 より 95%信頼区間上下限幅の絶対値は総じて小さいことが分かる．しかしながら上下限幅の同定値に対する比はパラメータの種類により約 5～23%の幅で異なる．これは各パラメータの観測値誤差に対する感度が異なるためと考えられる．

6. 収着特性の同定と不確実性

図-4 (a) ～ (c) に収着性核種の濃度破過曲線を，表-2 に同定結果と 95%信頼区間の上・下限値および上下限幅の同定値に対する比を示す．図-4 より逆解析結果は核種の収着性の強さに伴う応答時間の遅れを良く再現していることがわかる．Kd および Ka の 95%信頼区間上下限幅はそれぞれ同定値の 6%以下および 30%以下であり，特に Kd については極めて小さい結果となった．Kd と Ka の信頼区間上下限幅の同定値に対する比が異なる理由も，各パラメータの観測値誤差に対する感度が異なるためと考えられる．

7. おわりに

本検討の結果，原位置トレーサー試験の濃度観測値を収着性の異なる全てのトレーサーに対して精度良く再現できた．また，不確実性を定量的に評価するために求めた 95%信頼区間の上下限幅の同定値に対する比には，観測値誤差に対する感度によりばらつきがあるものの，上下限幅の絶対値はほとんどの場合十分小さく，本報内で定義した濃度観測値のデータに起因した同定パラメータの不確実性は小さいことが示された．

参考文献

1) 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—分冊 3 地層処分システム安全評価，2) 大西，井尻：不均質地盤における浸透流の逆問題解析手法に関する基礎的研究，土木学会論文集，第 376 号，III-6，1986，3) Carrera,J.and Neuman,S.P：Estimation of aquifer parameters under transient and steady state condition:I Maximum likelihood method incorporating prior information, WRR, Vol.22,No.2,pp199-210,1986，4)SKB：Äspö Hard Rock Laboratory, Final report of the first stage o-f the tracer retention understanding experiments, SKB TR-00-07, 2000

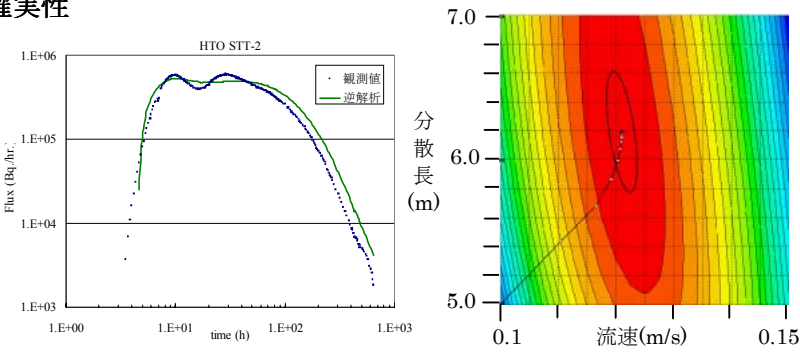


図-2 HTO の濃度破過曲線

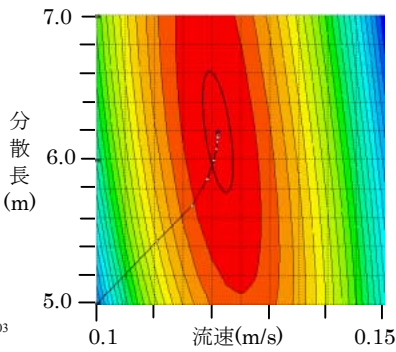


図 3 95%信頼区間

表-1 流路特性の同定結果

同定パラメータ	同定値	95%信頼区間		上下限幅／同定値 (%)
		上限	下限	
流速(m/hr.)	0.121	0.124	0.118	4.96
分散長(m)	6.20	6.64	5.75	14.35
湿潤辺長(m)	3.45	3.82	3.03	22.90

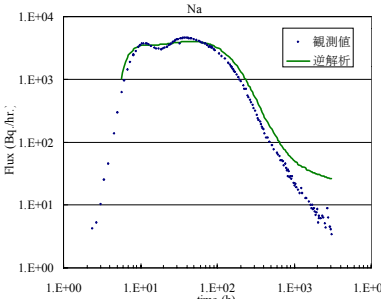


図-4 (a) Na の濃度破過曲線

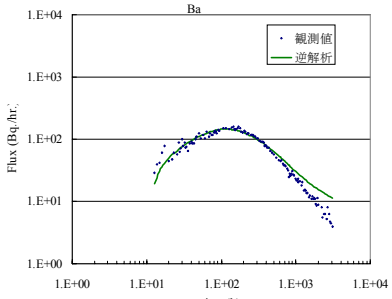


図-4 (b) Ba の濃度破過曲線

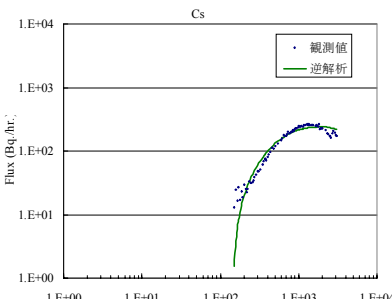


図-4 (c) Cs の濃度破過曲線

表-2 遅延特性同定結果 (×10⁻⁵)

核種	マトリクス分配係数 (Kd)(m ³ /kg)	Kd		上下限幅／同定値 (%)	亀裂表面分配係数(Ka)(m)	Ka		上下限幅／同定値 (%)
		95%信頼区間	95%信頼区間			95%信頼区間	95%信頼区間	
	同定値	上限	下限		同定値	上限	下限	
Na	1.56	1.58	1.54	2.56	6.67	7.51	5.62	28.3
Ba	161	161	161	0.00	75.1	75.1	74.2	1.20
Cs	4410	4530	4280	5.67	1390	1500	1280	15.8