

逆解析による核種移行パラメータ同定値の信頼性評価

核燃料サイクル開発機構 正会員 ○吉野 尚人
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安全評価に際しては、取得したデータの信頼性が安全評価に及ぼす影響を定量的に評価することが重要な検討項目の一つとなっている¹⁾。そのため、安全評価に用いるデータの信頼性を客観的に評価できるツールを開発することが必要となる。著者らは、上記の理由により核種移行解析コード（LTG）を対象として推定誤差に基づくデータの信頼性評価が可能な逆解析手法を開発した²⁾。本研究は、この逆解析手法を室内実験データに対して適用し、核種移行パラメータ同定値の信頼性評価について検討したものである。

2. 核種移行の概念

一般に、高レベル放射性廃棄物を花崗岩等の亀裂性岩盤内に地層処分する場合、図-1に示すように、核種は地下水の流れに沿って亀裂中を移流分散し、その一部は亀裂表面から岩石基質中にマトリクス拡散して岩石鉱物表面への収着により遅延されると考えられている¹⁾。

3. 逆解析手法の概要

本研究ではCarrera and Neumanの逆解析手法³⁾⁴⁾⁵⁾を採用し、尤度関数の最大値問題から目的関数(S)として次式を使用した。

$$S = \frac{\{c^* - c\}^T V_c^{-1} \{c^* - c\}}{\sigma_c^2} \quad (3.1)$$

ここで、 c^* ：濃度の観測値、 c ：濃度の計算値、 $\{c^* - c\}$ ：濃度観測値と濃度計算値の残差のベクトル、 V_c ：観測値間の誤差の相対的割合を示す正値の対角行列、 σ_c^2 ：事前の誤差の分散値である。この目的関数を最小にするときのパラメータ最尤推定量を同定値としており、最小化の方法として非線形最小二乗法の一つであるマルカート法を採用している。

4. 同定値の信頼性評価方法

パラメータ最尤推定量の共分散行列からパラメータの信頼区間を評価する。このパラメータ信頼区間はパラメータ数 M の場合 M 次元空間での超楕円体として表される。図-2にパラメータ数 M が2の場合の信頼性空間模式図を示す。横軸と縦軸はそれぞれパラメータを表している。同定値

を中心とした楕円は α を有意水準とすると $(1 - \alpha)\%$ 信頼区間の限界線を表している。楕円が小さいほど同定値の信頼性は大きくなる。また、楕円の軸の向きはパラメータ間の相関の度合いを表しており、楕円の長軸方向が右上から左下に向かっている場合、正の相関があることを示している。

5. 使用データの概要

本研究で使
したデータは幅
0.5m、奥行き
0.5mの天然亀
裂を対象とした
トレーサ試験
から得られた破
過曲線である。

表-1 試験ケース

ケース名	動水勾配	流量(cm ³ /sec)
Case-1	0.0420	1.246
Case-2	0.0736	2.113
Case-3	0.1052	2.775
Case-4	0.1364	3.661
Case-5	0.1772	4.425

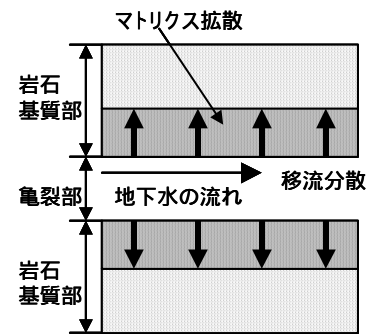


図-1 核種移行の概念図

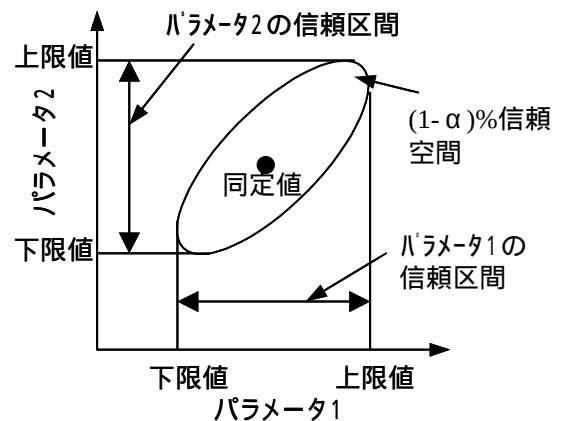


図-2 信頼性空間模式図

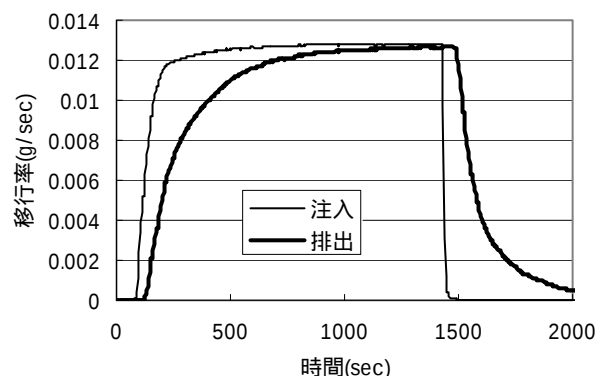


図-3 使用したデータの1例(case-1)

キーワード：地層処分、核種移行、縦方向分散長、流速、逆解析

連絡先 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松4-33 電話 029-276-1111 fax029-287-3528

試験ケースを表-1 に示す．また，使用データの 1 例(case-1)を図-3 に示す．今回の試験では，トレーサーとして塩水(1 重量%)を使用しているため移行プロセスとして収着による遅延等は無視し，移流分散のみを考慮した．試験結果より，複数の移行経路の存在が認められないようなデータであったため，亀裂は単一経路モデルを採用した．同定パラメータは流速と縦方向分散長とした．

6. 逆解析結果と考察

逆解析結果の 1 例(case-1)を図-4 に示す．横軸は流速，縦軸は縦方向分散長であり，目的関数の大きさを背景の色で表現しており，推定されたパラメータ値の軌跡を併記している．なお，背景の目的関数の値はパラメータの取りうる値に対して逆解析の過程とは別に計算したものをプロットしたものである．同定値を中心とした楕円は 90%信頼空間を表している．同図より，同定値が目的関数の極小値付近に収束していることが確認できる．図-5，図-6 には，それぞれ各ケースの同定流速と同定縦方向分散長を示す．図中には同定値の上下限値も併記している．流速の同定では全てのケースにおいて 90%信頼区間（上限値と下限値の差）が極めて小さく信頼性が高いことがわかる．一方，縦方向分散長の同定では Case-3 ～ 5 は 90%信頼区間が小さいが，Case-1 と Case-2 の 90%信頼区間は大きくなっている．このことから，動水勾配が小さくなり，流量が少なくなると縦方向分散長の同定値の信頼性は小さくなることをわかる．この理由としては，トレーサーの拡散現象の影響や試験精度の問題等が考えられるが現段階では断定はできないため今後の課題としたい．

7. おわりに

本研究では，逆解析によって同定された核種移行の各パラメータの信頼性について定量的評価を試みた．その結果，流速，縦方向分散長の同定値に対する信頼性を評価できることを確認した．今後は流速，縦方向分散長以外のパラメータについての信頼性評価についても検討していく予定である．

謝辞：本研究の解析実施にあたり大成建設株式会社井尻氏，畑氏にご協力を賜った．末筆ながら，ここに謝意を表する．

・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 地層処分システムの安全評価，JNC TN1400 99-023，1999． 2)井尻ほか：核種移行逆解析プログラムの作成，核燃料サイクル開発機構技術資料，JNC TJ8440 2001-002，2000． 3)Carrera,J. and Neuman, S.P.: Estimation of aquifer parameters under transient and steady state conditions:1. Maximum likelihood method incorporating prior information, Water resources Research, Vol22, No.2, pp.199-210,1986a. 4)Carrera,J. and Neuman, S.P.: Estimation of aquifer parameters under transient and steady state conditions:2. Uniqueness, stability, and solution algorithms, Water resources Research, Vol22, No.2, pp.211-227,1986b. 5)Carrera,J. and Neuman, S.P.: Estimation of aquifer parameters under transient and steady state conditions:3. Application to synthetic and field data, Water resources Research, Vol22, No.2, pp.228-242,1986c.

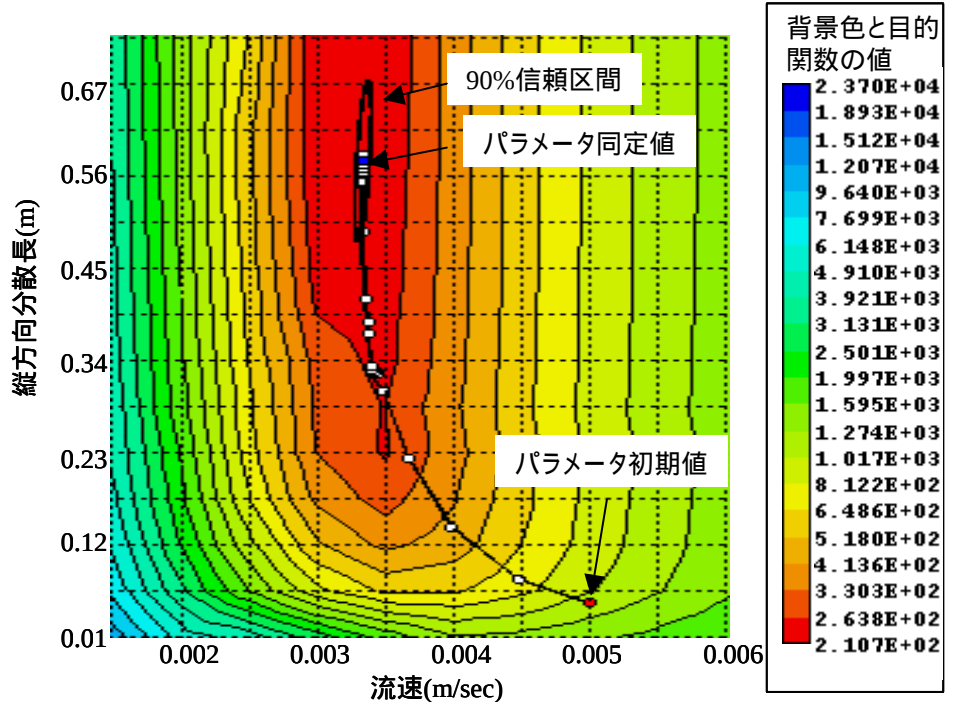


図-4 逆解析結果の1例(Case-1)

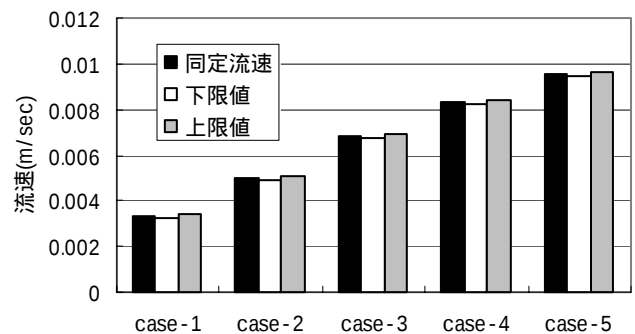


図-5 流速の同定値と信頼上下限値

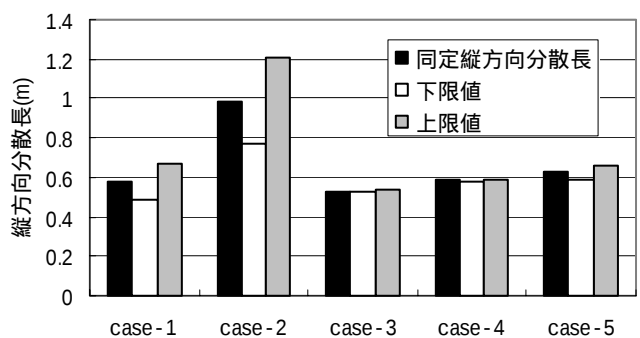


図-6 縦方向分散長の同定値と信頼上下限値