

EL法による地盤内の分散長の逆解析手法

岡山大学環境理工学部	正会員	西垣 誠
岡山大学大学院	正会員	菱谷 智幸
清水建設（株）	正会員	森脇 孝文
広島県庁	正会員	○為重 敦

1. はじめに

1970年代に様々な公害問題がクローズアップされ、広範な社会問題をよびおこした。地下水においても例外ではないが、地下水汚染は地下の現象のため関心が低く、表面化しにくい。また地下水はいったん汚染されると希釈されるまでに膨大な時間が要求される。従って地下水汚染（源）の早期発見と地下水中的の汚染物質の挙動の定量的な把握が必要となる。しかし、それらを支配する状態変数やパラメータを推定するために数多くの観測データを得ることは技術的にも経済的にも困難である。よって本研究では、少ない限られた観測データから地中での汚染物質の挙動を把握するため、Eulerian-Lagrangian Numerical Methodとともに Levenberg-Marquardt Methodによる最適化手法を用いた逆解析手法を開発し、移流・拡散パラメータの推定を行う。

2. 解析手法

(1) Eulerian-Lagrangian Numerical Method (EL法)¹⁾

これは、Euler的方法（固定座標系）とLagrangian的方法（移動座標）を結合させたきわめて有効な手法である。まず媒体となる地下水に乗って移流する物質の濃度変化をLagrange的に求める。次にその変化した濃度分布から、固定座標系で表された有限要素メッシュの節点における移流による変化分を補間によって求め、Euler的に分散による濃度変化を計算する。

(2) Levenberg-Marquardt Method (Marquardt法)²⁾

これは、非線形連立方程式を線形化した式の解がうまく働かないときに、Gauss-Newton法と非常に収束は遅いけれども必ず収束の方向に向かうことが知られている最急降下法とを折衷して、高速で安定な収束をする解を得る非常に有効な方法である。

本解析のフローチャートを図-1に示す。

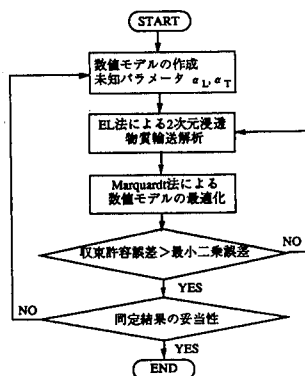


図-1 逆解析フローチャート

3. 数値モデルによる解析手法の検証

逆解析手法を用いた分散パラメータの算定方法の妥当性について検討する。ここでは初期値による影響も重ねて検討する。解析モデルを図-2に示し、さらに逆解析同定結果について表-1に示す。分散長の真値は縦分散長 $\alpha_L=4.0\text{cm}$ 、横分散長 $\alpha_T=0.4\text{cm}$ である。

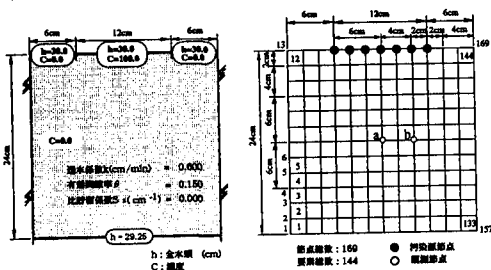


図-2 境界条件および解析モデルの分割図

表-1 逆解析同定結果

解析ケース	初期推定値		観測点	ITE	MQ	固定値	
	縦分岐長 (cm)	横分岐長 (cm)				縦分岐長 (cm)	横分岐長 (cm)
case 1	0.04	0.004	a, b	6	0	4.001	0.4002
case 2	0.40	0.040	a, b	4	0	4.001	0.4000
case 3	0.80	0.080	a, b	3	0	4.000	0.4000
case 4	1.00	0.100	a, b	3	0	4.000	0.4000
case 5	2.00	0.200	a, b	3	0	4.000	0.4001
case 6	3.00	0.300	a, b	2	0	4.001	0.4001
case 7	8.00	0.800	a, b	3	0	4.001	0.3998
case 8	20.00	2.000	a, b	4	3	4.001	0.4001
case 9	40.00	4.000	a, b	5	7	4.000	0.4000
case10	60.00	6.000	a, b	6	3	3.999	0.4001

ITE: 反復回數
MQ: 最急降下法利用回數

表-1よりすべてのケースにおいて同定が可能であり、本解析手法の分散長同定に対する適性が実証された。初期値の影響としては、真値から離れると反復回数が増え、初期値より大きいと最急降下法に依存しやすいことが明らかになった。

4. 室内実験による解析手法の検証

Bruch (1970) は、2層の多孔質媒体において2次元分散の実験を行い理論により求めた分散係数による理論解、解析解が正しいことを実証した⁴⁾。ここでは解析手法の検証を行うため、実験より得られた濃度の非定常データを用いて分散長を算定し、Bruchが求めた分散係数との比較を行う。浸透領域にあたる実験装置内部は高さ152cm、幅60.96cm、奥行き12.7cmである。実験は1次元浸透流で上部中央からトレーサー溶液として電解質の塩化ナトリウム溶液が一定流量で流入している。解析の検証として用いるモデルを図-3、実験のデータについては表-1に示す。なお観測点は $(y, z) = (0\text{cm}, 28.9\text{cm})$ の位置である。

表-2 解析条件

トレーサー流入幅 (cm)	17.00
実流速 (cm/sec)	0.0574
縦分散長 (cm)	0.2000
横分散長 (cm)	0.0149
間隙率	0.390
観測点座標 (y, z) (cm)	(0, 28.9)
平均粒径 (cm)	0.12
均等係数	1.17

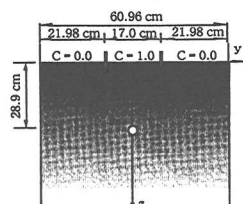


図-3 実験モデル

解析方法としては、実験値結果を観測データとして使用する。この実験における観測点はトレーサー流入のセンターライン上に存在するため横分散長に対する感度が悪い。よって分散長を同定するにあたり横分散長を既知として縦分散長のみを同定する。なお、横分散長には、表-2に示す値を用いる。

解析方法としては、間隙率 θ 、横分散長 α_T を一致させ観測値を用いて縦分散長の同定を行う。その際、実流速を $C/C_0=0.50$ の点より求め、同定を行った。実流速は $v=0.0604(\text{cm/sec})$ が得られた。

縦分散長 α_L を同定した結果、 $\alpha_L=0.042\text{cm}$ が得られた。これを実験値およびBruchが示した $\alpha_L=0.200\text{cm}$ の解析値とともに破過曲線で図-3に示した。図-4より実験値に対して非常に一致した曲線を描いているのは逆解析により同定した縦分散長 α_L を用いた破過曲線である。これより縦分散長 α_L としては、本解析手法が提示した値が妥当であることは明白であり、以後の濃度分散の予測を十分把握できるものである。

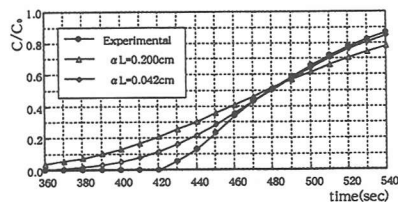


図-4 破過曲線

解析時間は、節点数645・要素数588の解析モデルでSun Sparc STATION20を使用して、反復回数4回による解の収束で約2時間程度の時間を要した。

5. 結論

以上より、本解析手法は間接法であるため繰り返し計算を必要とするが、少ない観測点における非定常濃度データにより分散パラメータを推定することができることが示された。ただし原地盤において観測点を設置する場合、感度の良い観測データを得るためどのように配置するか、今後のデータ集積が必要である。

参考文献

- 1) 西垣誠：地下水数値計算法(13) 2-4.物質輸送のその他の解析法,地下水学会誌,第33巻,pp.265~236, 1991.
- 2) 西垣誠,菱谷智幸,橋本学,河野伊一郎：飽和・不飽和領域における物質移動を伴う密度依存地下水流の数値解析手法に関する研究,土木学会論文集, No.511, pp.135~144, 1995.
- 3) Sun, N.Z.: Inverse Problem in Groundwater Modeling, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, pp.337, 1994.
- 4) Bruch, J.C.: Two-Dimensional Dispersion Experiments in a Porous Media, Water Resources Research, Vol.6, No.3, pp.791-800, 1970.