

III-417 拡張カルマンフィルターによる不連続性岩盤の透水係数の逆解析

フジタ工業（株）技術研究所 正会員 ○門田俊一
 同 上 正会員 斉藤悦郎
 同 上 正会員 和久昭正

1. はじめに

岩盤浸透流の解析モデルは、岩盤を力学的に取り扱う場合と同様に、不連続面をそのまま表現する不連続体モデル、および、不連続面を含む岩盤を巨視的に等価な連続体とする連続体モデルに大別できる¹⁾。実務問題においては特に後者のモデルが多用されるが、この場合には、不連続面を含む連続体の等価透水係数を精度よく評価する必要がある。

筆者らは、拡張カルマンフィルター理論²⁾と有限要素法や境界要素法を組み合わせた方法を用いて、直交異方性岩盤や不均質岩盤物性の逆解析手法、および、これらの手法の実務問題への適用性について検討してきた^{3), 4)}。本報告では、上述した連続体モデルの透水係数評価に本逆解析手法を適用する研究の第一歩として、等価透水係数に関する未知パラメータの逆解析精度を数値的に検証した結果を述べる。

2. 拡張カルマンフィルターによる逆解析の概要

最近、地盤の諸問題の解決に逆解析手法、あるいは、同定手法が多用されつつある。これらの方法では、数理計画法によるものが広く用いられているが、ここでは、シーケンシャルに観測データを処理する確率論的手法の拡張カルマンフィルターを用いた。また、逆解析の定式化法は逆定式化法と直接定式化法とに分類できるが、ここでは、任意の観測データを選択できる利点から直接定式化法を用いた。計算方法³⁾は、順解析プログラムと拡張カルマンフィルターによる繰り返し計算から、初期に任意に仮定した未知パラメータを観測データに適合するような値に収束させるものである。なお、本逆解析手法を用いることの特長は、ノイズを含む観測データを拡張カルマンフィルターによって確率論的に処理できることから、直接定式化法に必要な繰り返し計算回数を減少させることが可能な点にある。

3. シミュレーションによる逆解析精度の検証

一般に連続体モデルを採用した場合の岩盤内浸透流は、Darcy の法則、すなわち、 $V_i = -k_{ij} j_j$ に従うが、本報告の目的は、不連続面の空間における幾何形状等に依存する異方的な透水テンソル k_{ij} の各係数を逆解析することである。

本直接定式化法の逆解析によって得られる未知パラメータの推定結果の検証は以下に示す方法により行なった。まず、図-1に示すような縦60m、横120mの二次元浸透領域を検証モデルとし、境界条件として①～⑦に水頭値200m ⑧～⑩に水頭値100mを与えた場合の定常浸透流解析結果を仮の観測データと見なす。観測データは、図中、③～⑥の水頭値、および、境界条件を与えた⑧、⑩の浸透流量とした。つぎに、この観測データを用いて本手法により未知パラメータの推定を行なう。そして、推定した

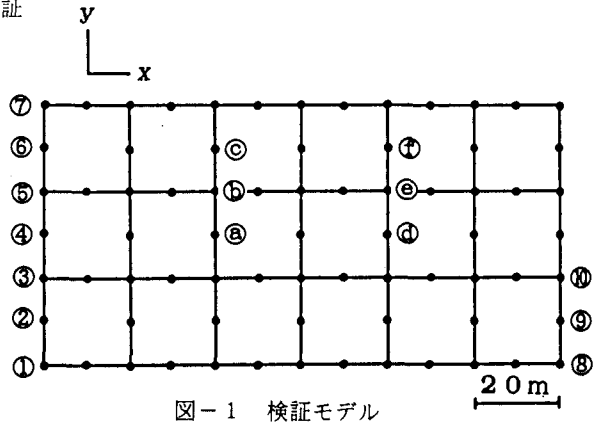


図-1 検証モデル

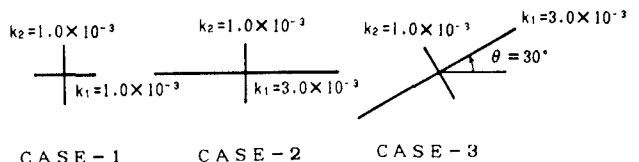


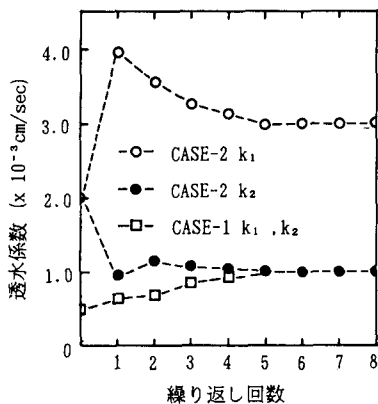
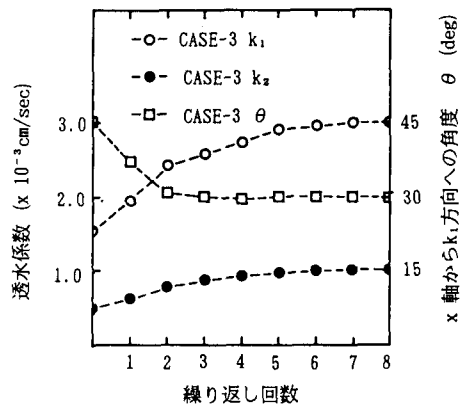
図-2 想定した透水係数 (cm/sec)

表-1 推定されたパラメータの精度比較

	CASE-1	CASE-2	CASE-3
k_1 (cm/sec)	1.00×10^{-3} 1.01×10^{-3}	3.00×10^{-3} 3.01×10^{-3}	3.00×10^{-3} 3.00×10^{-3}
k_2 (cm/sec)	1.00×10^{-3} 1.01×10^{-3}	1.00×10^{-3} 1.00×10^{-3}	1.00×10^{-3} 0.99×10^{-3}
θ (deg)			30.0 29.9

表-2 求められた水頭値の精度比較

	CASE-1	CASE-2	CASE-3
⑧ (m)	172 172	175 175	178 178
⑨ (m)	172 172	177 177	183 184
⑩ (m)	144 144	151 150	153 152

図-3 未知パラメータの収束状況
(CASE-1, 2)図-4 未知パラメータの収束状況
(CASE-3)

パラメータと観測データを求めたパラメータとの数値比較により、逆解析精度の検討を行なう。なお、検証モデルで設定した透水係数は、図-2に示す3ケースである。

逆解析結果として、表-1に逆解析によって得られたパラメータと観測データを求めたパラメータの比較を各ケースについて示し、表-2にこれらに対応する観測点の水頭値の比較を示した。なお、表-1、2において、上段は観測データに関する値を示し、下段は収束したパラメータに関する値を示している。また、図-3には、CASE-1, 2のパラメータ収束状況を、図-4には、CASE-3のパラメータ収束状況を示した。これらの図表から、数回の繰返し計算により各未知パラメータは収束し、その精度も良好であり、また観測値と収束した未知パラメータによる確認値ともかなり良い精度でフィッティングできることが確認できた。

4. おわりに

不連続面を含む岩盤の巨視的に等価な連続体の透水係数を、拡張カルマンフィルター理論と有限要素法による逆解析手法により評価する方法について数値的に検討を加えた結果、良好な結果を得ることができた。今後は、実測データを対象とした本逆解析手法の精度、および、実務問題への適用性について検討を加える予定である。

(参考文献)

- 1) 門田俊一、川本眺万；亀裂性岩盤内の浸透流の解析について、発電水力、No.147, 1977.
- 2) Hoshiya, M. and Saito, E.; Structural identification by extended Kalman filter, Jour. of Eng. Mech., ASCE, Vol. 110, No. 12, 1984.
- 3) 門田俊一、斉藤悦郎、和久昭正；拡張カルマンフィルター理論を用いた異方性岩盤物性の同定、第7回岩の力学シンポジウム講演概要集、1987.
- 4) 門田俊一、斉藤悦郎、和久昭正；拡張カルマンフィルター理論を用いた不均質岩盤物性の同定、第20回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要集、1988.