

III-125

有限要素法による泥炭性軟弱地盤の沈下予測

(株)地崎工業 正会員 須藤 敦史
武蔵工業大学 正会員 星谷 勝

1. はじめに

泥炭性軟弱地盤の沈下挙動は、作用する荷重の変動や泥炭層の変形・透水係数の変化を顕著に受ける複雑な性状を示す。軟弱地盤において圧密沈下量の推定を行うには、一次圧密理論が用いられる。ここで解析に必要な土質定数は事前の室内試験より求められるが、時間的に変化しない確定値を用いている。しかし、実際の地盤では盛土等の施工により、土質定数は変動していくものと考えられる。

そこで本研究では、このような土質定数の時間変化とその工学的評価を目的として、拡張カルマンフィルタを基本とした手法と有限要素法を組み合わせた圧密沈下挙動の逆解析手法を提案し、実際に得られた観測値を用いて泥炭性軟弱地盤の沈下予測を行っている。

2. 拡張カルマンフィルタによる定式化^{1), 2)}

拡張カルマンフィルタは非線形連続型状態方程式と非線形離散型観測方程式を基本式として構成されている。

$$d\mathbf{X}t/dt = \mathbf{f}(\mathbf{X}t, t) + \mathbf{G}t\mathbf{w}t \quad (1)$$

$$\mathbf{Y}t_k = \mathbf{h}(\mathbf{X}t_k, t_k) + \mathbf{v}t_k \quad (2)$$

また、有限要素法における地盤の圧密基本方程式は式(3), (4)のように示される。

$$\mathbf{K} \mathbf{u} + \mathbf{C} \mathbf{p} = \mathbf{f} \quad (3)$$

$$\mathbf{C}^T \partial \mathbf{u} / \partial t + \mathbf{H} \mathbf{p} = 0 \quad (4)$$

$\mathbf{K}$: 剛性行列, $\mathbf{C}$: 変換行列
 $\mathbf{H}$: 透水係数行列, $\mathbf{p}$: 間隙水圧行列
 $\mathbf{u}$: 変位ベクトル, $\mathbf{f}$: 荷重ベクトル

ここで、状態量を有限要素法の方程式におけるヤング率 E と透水係数 k としそれらが定常であるとすると状態方程式は式(5)のようになる。

$$\begin{bmatrix} E \\ k \end{bmatrix}_{t_{k+1}} = \mathbf{I} \begin{bmatrix} E \\ k \end{bmatrix}_{t_k} + \begin{bmatrix} \mathbf{W}_0 \\ \mathbf{W}_1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

また、沈下量を観測値とすると観測方程式は式(6)のように示される。

$$\mathbf{Y}t_k = \mathbf{T} \mathbf{K}^{-1} [\mathbf{f} - \mathbf{C} \mathbf{H}^{-1} \mathbf{C}^T (\partial \mathbf{u} / \partial t)] + \mathbf{v}t_k \quad (6)$$

$\mathbf{T}$: 観測節点変換行列

これより式(5), (6)を基本式として拡張カルマンフィルタのアルゴリズムにより土質定数が逐次に推定される。

なお、拡張カルマンフィルタにおける変換行列は、影響係数法により近似的に算出する。

4. 土質定数の逆解析と沈下予測

本解析では、地盤に作用する荷重変動はないものとして図-1に示すような有限要素モデルと実際に得られた

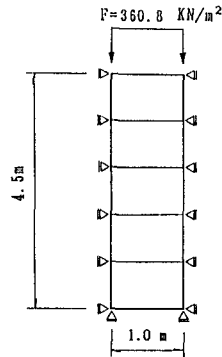


Fig. 1. FEM model

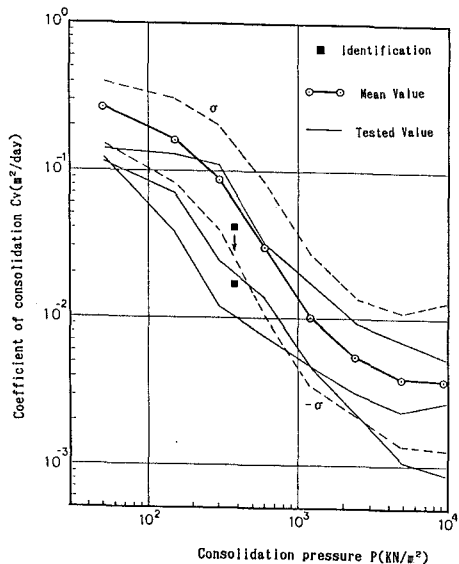


Fig. 2(b). Identification (C_v)

観測値を用いて逆解析を行う。

ここで、本手法では状態量が時間に依存しない定常状態と仮定している。そこで、泥炭性軟弱地盤の圧密沈下挙動は、非定常な土質定数や荷重の変化の影響を受けて緩やかに進行する現象として、短い期間では土質定数や荷重変化がないものとする区間定常性³⁾を仮定して解析を行う。

まず100日までの観測値を用いて逆解析された土質定数と周辺地盤の標準圧密試験値を図-2(a), (b)に示す。図より逆解析値は標準圧密試験値にほぼ一致しており、地盤の平均的な圧密特性を示している。

次に逆解析により得られた値を基に、土質定数の時間変化を推定した結果を図-3(a), (b)に示す。また、推定した土質定数より圧密沈下量の予測を図-4に示す。

図より土質定数の時間変化を推定すれば比較的精度の高い予測沈下量が得られる。

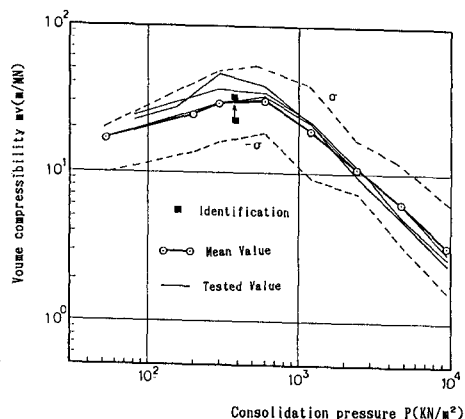


Fig. 2(a). Identification (mv)

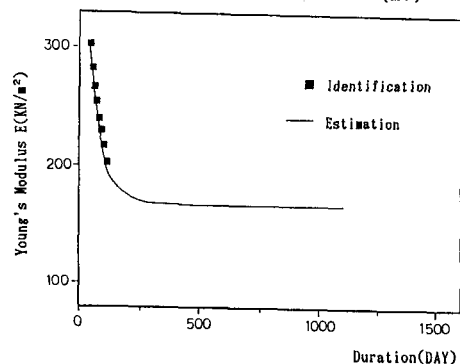


Fig. 3(a). Estimation (E)

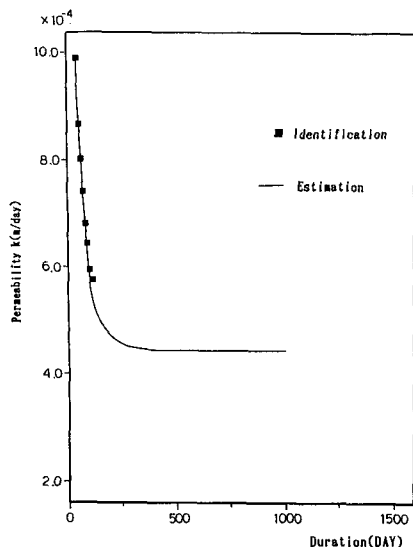


Fig. 3(b). Estimation (k)

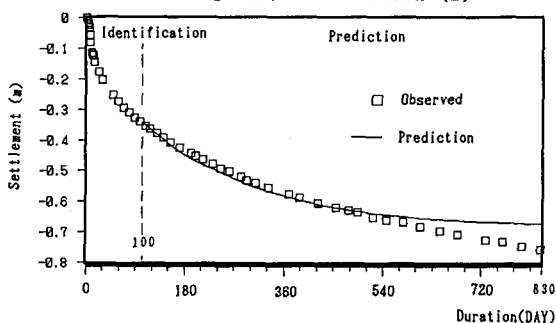


Fig. 4. Prediction of settlement

5. 結 論

本研究は拡張カルマンフィルと有限要素法を組み合わせた圧密沈下挙動の逆解析を提案し、実際に得られた観測値を用いて土質定数の工学的評価と沈下予測を行った結果、次のことが確認された。

- (1) 本手法により逆解析された土質定数は、周辺地盤の平均的な圧密特性を示している。
- (2) 土質定数の時間変化を推定し予測圧密沈下量を求めれば、精度の高い予測値が得られる。
- (3) 実際に得られた観測値を用いても、安定した結果が得られる。

〈参考文献〉

- 1) Jazwinski, A. H.: Stochastic processes and filtering theory, Academic press, 1970.
- 2) Hoshiya, M. and Sutoh, A.: Extended Kalman Filter-Finite Element in Identification, Jour, Engrg, Mech., ASCE, 119(2), pp. 197-210, 1993.
- 3) Hoshiya, M. and Maruyama, O.: Adaptive Identification of Autoregressive Processes. Jour, Engrg, Mech., ASCE, 117(7), pp. 1442-1454, 1991.