

I-575

EK-WL I法を用いた動特性同定に関する基礎検討

武蔵工業大学 学生会員 ○新家 忠彦
 (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. 目 的

拡張カルマンフィルタによる動特性の同定は数多く行われており、収束性・同定精度など安定した同定手法である¹⁾。一方、有限要素法や境界要素法などの離散化手法を用いた解析が行われている。このうち有限要素法は非線形問題を扱うことができ、解析対象領域が複雑な形状でも解析ができる。そこで、拡張カルマンフィルタに有限要素法などの解析手法を組み込むことができれば、より詳細な動特性の同定が可能になる。

本研究は、著者らの提案した手法(EK-WL I法)²⁾を用いて地盤や構造物の動特性の同定を目的とし、同時に動的な有限要素法を組み込むための基礎検討を線形一自由度モデルを用いて行っている。

2. EK-WL I法への定式化³⁾

状態方程式中の状態ベクトルは時間的に遷移しないと仮定すると式(1)のようになる。

$$\hat{X}(t_{k+1}/t_k) = [I] \hat{X}(t_k/t_k) + w t_k \quad (1)$$

$X t_k$: 離散型状態ベクトル, $w t_k$: システム雑音ベクトル

また、有限要素法における運動方程式は、式(2)に示される。

$$[M] \ddot{u} + [C] \dot{u} + [K] u = F(t) \quad (2)$$

$[M]$, $[C]$, $[K]$: 質量, 減衰, 剛性マトリックス

u , \dot{u} , \ddot{u} : 応答変位, 速度, 加速度ベクトル $F(t)$: 荷重ベクトル

一方、観測方程式は観測量に観測誤差を加えたものであり、観測方程式を運動方程式の形で表すと(3),(4)式に示される。

$$Y t_k = h(X t_k, t_k) + v t_k \quad (3)$$

$$h(X t_k) = - [M]^{-1} \{ [C] \dot{u} + [K] u - F(t) \} \quad (4)$$

これにより、拡張カルマンフィルタと有限要素法による動特性の同定が可能になる。なおアルゴリズム中の変換行列は、影響係数法により求める⁴⁾。

3. 線形一自由度系の定式化

本手法の適用性を線形一自由度振動系を用い基礎検討を行う。線形一自由度モデルを図-1に示し、運動方程式は(5)式のようになる。

$$\ddot{u} + 2\beta\omega_0\dot{u} + \omega_0^2u = -\ddot{u}_0 \quad (5)$$

β : 減衰定数, ω_0 : 固有円振動数 $\beta = C/2(mk)^{1/2}$ $\omega_0 = k/m$

u , \dot{u} , \ddot{u} : 応答変位, 速度, 加速度 \ddot{u}_0 : 入力加速度

式(6)の減衰定数と固有円振動数を状態量とし応答加速度を観測量とすると式(7)-(9)のようになる。

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = I \cdot \begin{bmatrix} \beta \\ \omega_0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$Y t_k = h(X t_k, t_k) + v t_k \quad (8)$$

$$h(X t_k) = - (2\beta\omega_0\dot{u} + \omega_0^2u + \ddot{u}_0) \quad (9)$$

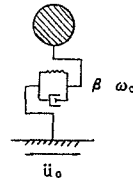


図-1 解析モデル

4. 数値解析

観測量を応答加速度波形とし、EK-WL I法により状態量の同定を行う。観測波形はあらかじめ状態量を $\beta=0.1$, $\omega_0=7.07$ とし、EL-CENTRO地震加速度波形を用いて応答計算を行った波形を基本としている。また、同定に影響を与える条件として初期値・観測波形に含まれるノイズの割合の検討を行う。ノイズを含まない場合の同定結果を図-2, 3に示す。収束速度も速く同定精度も良い結果が得られる。

またノイズを0.2%含む場合の同定結果を図-4, 5に示す。ノイズが0.2%の場合には未知パラメータ

表-1 初期値 (Case1)

| Parameter | x_1 | x_2 |
|--------------|-------|-------|
| $X(t_0/t_0)$ | 0.5 | 20.0 |
| $P(t_0/t_0)$ | 100 | 1000 |

Note: $R=1.0 \times 10^{-9}$, $Q=0.0$, $W=1.2$
 Iteration number=2
 Objective function
 noise=0.0% ($\theta=1.0 \times 10^{-4}$)
 noise=0.2% ($\theta=1.0 \times 10^{-2}$)

表-2 初期値 (Case2)

| Parameter | x_1 | x_2 |
|--------------|-------|-------|
| $X(t_0/t_0)$ | 0.3 | 10.0 |
| $P(t_0/t_0)$ | 100 | 1000 |

Note: $R=1.0 \times 10^{-9}$, $Q=0.0$, $W=1.2$
 Iteration number=2
 Objective function
 noise=0.2% ($\theta=1.0 \times 10^{-4}$)
 noise=2.0% ($\theta=1.0 \times 10^{-2}$)

は収束していない。次に初期値を変えてノイズが0.2%, 2.0%含まれる場合の結果を図-6, 7および8, 9に示す。ノイズを2.0%含む場合には、真値に収束していない。(ノイズの割合は、正規性のノイズと基本波形の標準偏差の比で表している。)

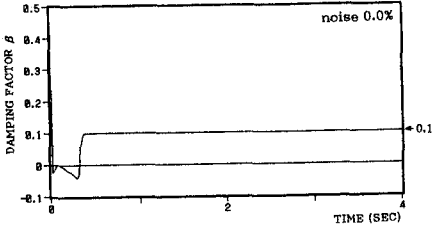


図-2 同定結果 (noise0.0%)

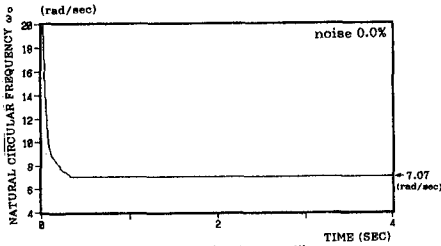


図-3 同定結果 (noise0.0%)

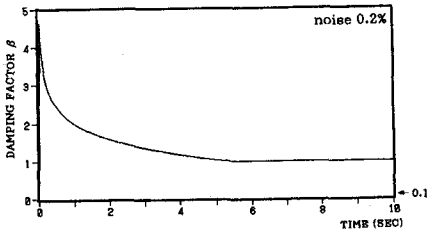


図-4 同定結果 (noise0.2%)

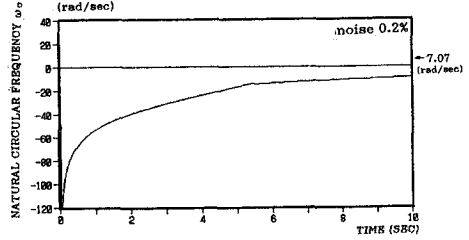


図-5 同定結果 (noise0.2%)

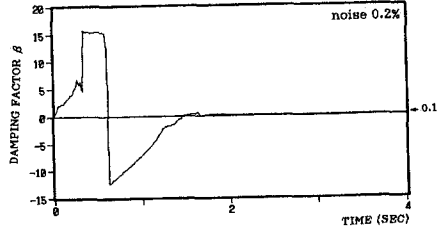


図-6 同定結果 (noise0.2%)

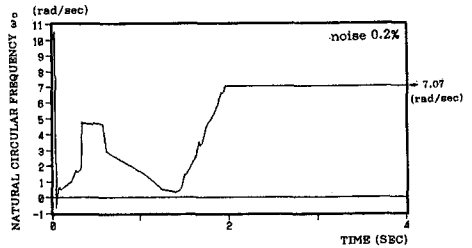


図-7 同定結果 (noise0.2%)

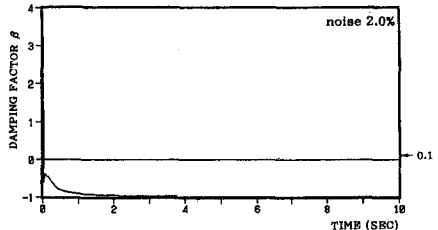


図-8 同定結果 (noise2.0%)

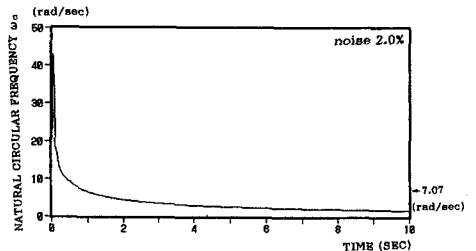


図-9 同定結果 (noise2.0%)

4. まとめ

EK-WL I法に影響係数法を用いた解析を行うため、線形一自由度モデルを用いて基礎検討を行った。その結果、観測値にノイズを含まない場合やノイズの割合少ない場合には未知パラメータ(減数定数, 固有円振動数)は、同定精度・収束速度ともに良い結果が得られた。しかし、観測値にノイズが多い場合には未知パラメータは真値に収束せず同定は不可能であった。今後は、観測値にノイズが多く含まれる場合の検討を行う予定であり、本研究は星谷の指導により須藤が行い、新家は計算を行っている。

<参考文献> 1)Hoshiya, M. and Saito, E.: Structural Identification by Extend Kalman Filter, Jour. E. M. Div, ASCE, Vol. 110, No. 12, Dec, 1984.

2)須藤敦史・星谷 勝: 拡張カルマンフィルタの基本考察とEK-WL I法の提案, 土論集, No437, pp203-211, 1991.

3)須藤敦史・星谷 勝: EK-WL I法と有限要素法による逆解析, JACOSSAR, 91' 概要集, pp699-702, 1991.

4)W. G. W. Yeh, Review of Parameter Identification Procedures in Groundwater Hydrology: Water Resources Research, 22(2): PP95-108, 1986