Ｉ－769　絶対応答を用いた入力地震動およびｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀ同定

武蔵工業大学　正会員　星谷　勝
（株）東京電力　正会員　安田　登
（株）地崎工業　正会員　須藤　敦史
武蔵工業大学　学生会員　柳河　勇

１．はじめに

一般にﾊﾟﾗﾒｰﾀ同定ではｼｽﾃﾑの支配方程式が既知である時に、その入･出力値を用いて支配方程式中のﾊﾟﾗﾒｰﾀを推定するものである。しかし、地震時では実際の構造物に作用する入力地震動は不明な場合が多く、ｼｽﾃﾑ同定ではﾊﾟﾗﾒｰﾀと入力地震動の推定を行う必要がある。ここで入力地震動を同定する際には、絶対座標系による定式化が必要である。また同定手法の汎用性を考慮するため、有限要素法などの数値解析手法の導入を前提とした定式化を行う必要がある。そこで本研究は、拡張ｶﾙﾏﾝﾌｨﾙﾀ[1]を基本とした手法と有限要素法を組み合わせることを前提とするように定式化し、線形１自由度ﾓﾃﾞﾙを用いて、絶対座標系の応答波形よりｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀと入力地震動を同定すること検討している。

２．絶対座標系による定式化

図-1に示すような線形１自由度ﾓﾃﾞﾙの絶対座標系における支配方程式は式(1)に示される。

$$\ddot{\mathbf{X}}+2\beta\omega_0\dot{\mathbf{X}}+\omega_0{}^2\mathbf{X}=2\beta\omega_0\dot{x}_0+\omega_0{}^2x_0\ \ [=f(t_i)] \qquad (1)$$

$\mathbf{X},\dot{\mathbf{X}},\ddot{\mathbf{X}}$:絶対変位,速度,加速度, β:減衰定数 $[=c/2(mk)^{1/2}]$
$x_0,\dot{x}_0$:入力変位,速度 , ω_0:固有円振動数 $[=k/m]$

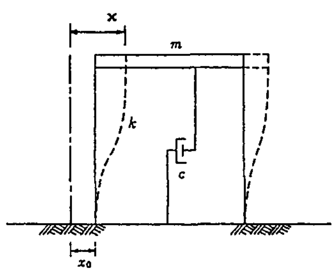

図-1 解析ﾓﾃﾞﾙ

a)．ｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀ同定

入力項 $f(t_i)$ を既知とした場合におけるｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀの同定を検討する。ここで状態量を減衰定数 β と固有円振動数 ω_0 とし、それらが定常と仮定すると拡張ｶﾙﾏﾝﾌｨﾙﾀにおける状態方程式は式(2)のように示される。このように状態方程式を定式化しておけばFEMへ拡張した場合でも、同様の形式で同定が可能となる。

$$\begin{bmatrix}\beta\\ \omega_0\end{bmatrix}_{t_{k+1}}=\mathrm{I}\begin{bmatrix}\beta\\ \omega_0\end{bmatrix}_{t_k}+\begin{bmatrix}w_0\\ w_1\end{bmatrix}_{t_k} \qquad (2)$$

表-1 ｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀ同定値

	パラメータの初期値を真値の８０％とする場合		パラメータの初期値を真値の１２０％とする場合	
時　間	β	ω_0	β	ω_0
9.92～20.00	0.1014	7.070	0.1014	7.070
8.94～20.00	0.1019	7.068	0.1019	7.086
8.72～20.00	0.1134	6.924	0.1120	6.922
8.82～20.00	0.1546	6.568	0.1666	6.522

また、絶対応答加速度を観測値とすると観測方程式は式(3)のように示される。

$$Y_{t_k}=f(t_i)-2\hat{\beta}(t_k)\hat{\omega}_0(t_k)\hat{\dot{\mathbf{X}}}(t_k)-\hat{\omega}_0{}^2(t_k)\hat{\mathbf{X}}(t_k)+v_{t_k} \qquad (3)$$

$\hat{\beta}(t_k),\hat{\omega}_0(t_k)$:kｽﾃｯﾌﾟにおける状態量の最適推定値
$f(t_i)$:既知入力値 $i=k\ (=2\beta\omega_0\dot{x}_0+\omega_0{}^2x_0)$
$\hat{\mathbf{X}}(t_k),\hat{\dot{\mathbf{X}}}(t_k)$:絶対変位,速度の推定値, v_{t_k}:ﾎﾜｲﾄﾉｲｽﾞ

ここで、ﾊﾟﾗﾒｰﾀの同定は拡張ｶﾙﾏﾝﾌｨﾙﾀを基本としたEK-WGI法[2]により同定し、変換行列は影響係数法により求める。

b)．入力地震動の同定

ｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀを既知とした場合における入力地震動同定を検討する。状態量は入力地震動とするが、$f(t_i)$ は各時刻 t_i において異なった値を示すため拡張ｶﾙﾏﾝﾌｨﾙﾀにおける時刻は繰り返し回数になり状態方程式は式(4)のようなる。

$$[f(t_i)]_k=[f(t_i)]_{k-1}+w_k \qquad (4)$$

$t_i=i*\Delta t,\ i=1,2,\cdots,m$
k:時刻 t_i における拡張ｶﾙﾏﾝﾌｨﾙﾀの繰り返し回数

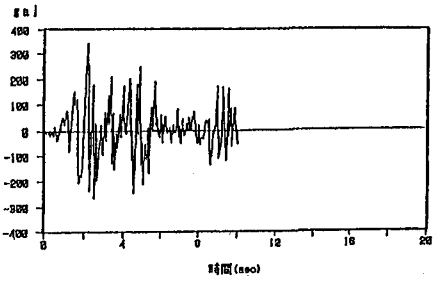

図-2 入力加速度波形

また、絶対応答速度を観測値とすると観測方程式は式(5)のように示される。

$$\mathbf{Y}(t_i)_k = \frac{1}{2\beta\omega_0}\{\hat{f}(t_i)_k - \hat{\ddot{\mathbf{X}}}(t_i)_k - \omega_0{}^2\hat{\mathbf{X}}(t_i)_k\} + v\,t_k \qquad (5)$$

$\hat{f}(t_i)_k$：kｽﾃｯﾌﾟにおける状態量の最適推定値
β, ω_0：減衰定数,固有円振動数
$\hat{\mathbf{X}}(t_i), \hat{\ddot{\mathbf{X}}}(t_i)$：絶対変位,加速度の推定値

ここで、入力地震動は拡張ｶﾙﾏﾝﾌｨﾙﾀを基本としたEK-WLI法[3]により同定し、変換行列は影響係数法により求める。

3．数値解析

図-2に示すｴﾙｾﾝﾄﾛ地震加速度波形を用いた。したがって、10sec以降に対する応答は自由振動となる。自由振動部より得られる観測波形を用いてｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀの同定を行い、その後に強制振動部の観測波形を用いて入力地震動の同定[4]を行った。ここで、観測波形はあらかじめｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀを真値(β=0.10, ω_0=7.07)として応答計算より求めている。

自由振動部の観測絶対加速度を用いたｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀの同定を表-1に示す。表より自由振動部の観測値を用いたｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀは高い精度で同定される。

次に、同定されたｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀ(真値)を用いて入力地震動の推定を行った結果を図-3～6に示す。ｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀが同定されれば入力地震動の同定が可能になる。

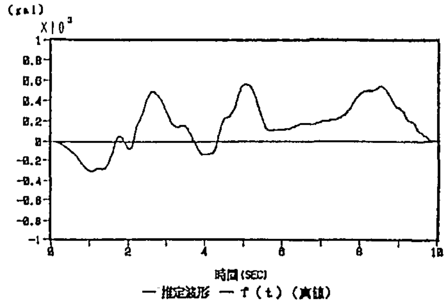

図-3 同定波形 f(t_i)

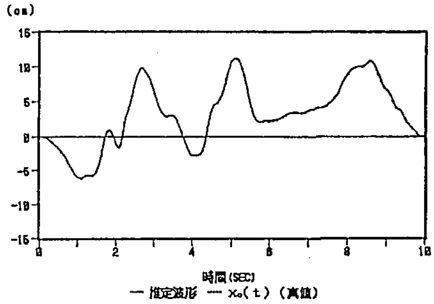

図-4 同定波形(絶対変位)

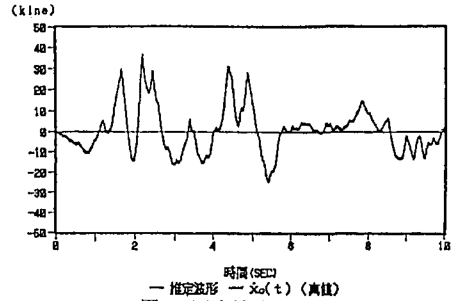

図-5 同定波形(絶対速度)

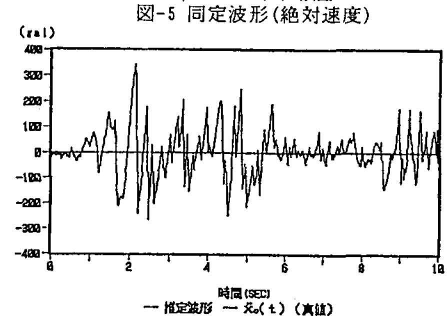

図-6 同定波形(絶対加速度)

4．結　論

本研究は、絶対座標系により拡張ｶﾙﾏﾝﾌｨﾙﾀと有限要素法等の数値解析手法の組み合わせを前提とした定式化を提案し、1自由度ﾓﾃﾞﾙを用いた数値解析を行った。その結果、次の結論を得た。

(1).有限要素法の導入を前提とした定式化においても自由振動部の観測値を用いれば、ｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀの同定が行える。

(2).絶対座標系の観測値においてもｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀが求められれば入力地震動が高い精度で同定される。

今後、FEMを実際に組み込んだ解析を行い検証を行う。さらに、入力地震動とｼｽﾃﾑﾊﾟﾗﾒｰﾀの同時もしくは漸化的な同定ｱﾙｺﾞﾘｽﾞﾑの開発を行う予定である。

〈参考文献〉
1)Jazwinski,A.H.:Stochastic processes and filtering theory,Academic press,1970. 2)Hoshiya, M. and Saito,E.:Structual identificatin by Extended Kalman Filter, Jour.Engrg.Mech,ASCE, 110(12),pp.1757-1770,1984 3)須藤 敦史・星谷 勝:EK-WLI-FEMによる動的ﾊﾟﾗﾒｰﾀ同定,土木学会論文集,No.477/I-25,pp.97-100,1993. 4)土岐 憲三・佐藤 忠信・清野 純史:構造物の応答時刻歴を用いた入力地震動と構造ﾊﾟﾗﾒｰﾀ同定,土木学会論文集,No.410/I-12,pp.243-251,1989.