

I-624

カルマンフィルタを用いた地震動のリアルタイム予測

前田建設工業 正会員 ○斎藤 芳人
 武蔵工業大学 正会員 星谷 勝
 武蔵工業大学 志井 修彰

1 はじめに

構造物の振動制御において外乱である地震動の情報をもとに、フィードフォワード制御を行う場合、地震動をセンサーで感知してから実際に制御力が作用するまでの時間遅れを解決するためには、リアルタイムな地震動予測が必要となる。そこで既往の研究¹⁾では、地震動を時変型のARモデルで表現し、各係数をカルマンフィルタを用いて時々刻々同定しながら、1ステップ将来の地震動をリアルタイムに予測する手法が検討されている。本研究ではこうした手法に改良を加えた地震動のリアルタイムな予測手法を提案する。

2 状態方程式および観測方程式の定式化

システムへの入力地震動加速度を次のような時変型のARモデルで表現する。なお、AR次数は既往の研究および事前の解析結果から3次とした。

$$g_t = \alpha_1 g_{t-1} + \alpha_2 g_{t-2} + \alpha_3 g_{t-3} + v_t \quad (1)$$

ここに、 v_t はガウス白色雑音

式(1)に基づいて、式(2)および式(3)に示すような状態方程式と観測方程式を設定する。

〔状態方程式〕

$$\{\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3\}^T_t = \{\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3\}^T_{t-1} \quad (2)$$

〔観測方程式〕

$$g_{t-1} = \{g_{t-2} \quad g_{t-3} \quad g_{t-4}\} \{\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3\}^T_{t-1} + v_{t-1} \quad (3)$$

3 カルマンフィルタを用いた地震動予測の改良

既往の研究（以下ここでは手法Aとする）では、式(2)および式(3)に対し初期条件を設定することで、カルマンフィルタをそのまま適用している。しかしこの場合、後に示すように時間が経過するとともに状態量が変動しにくくなる傾向がある。これは、地震動のようにサンプル数の比較的多い時系列にカルマンフィルタを適用していくと推定誤差共分散Pが時間と共に減少していくためであると考えられる。しかし、地震動のような非定常な時系列データに対し、こうした傾向は好ましいものではない。そこで、こうした傾向を改善するため、次のような手法を提案する。

〔1〕 新たな観測データが得られる度に、カルマンフィルタのアルゴリズムを数回繰り返す（ここでは3回とした）。

〔2〕 各繰り返しにおける1回目の推定誤差共分散Pには、常に同じ初期値 P_0 を用いる。

〔3〕 一般に、AR係数の値には $\alpha_1 > \alpha_2, \alpha_3$ の傾向があることから初期値を $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\}_{t=0} = \{1, 0, 0\}$ とする。（手法Aでは $\{1/3, 1/3, 1/3\}$ ）

〔4〕 事前解析の結果から P_0 は対角成分からなり、全て0.01とする。また、観測誤差共分散の値は、 $R = 5000$ とする。（手法Aでは $R = 1000$ ）

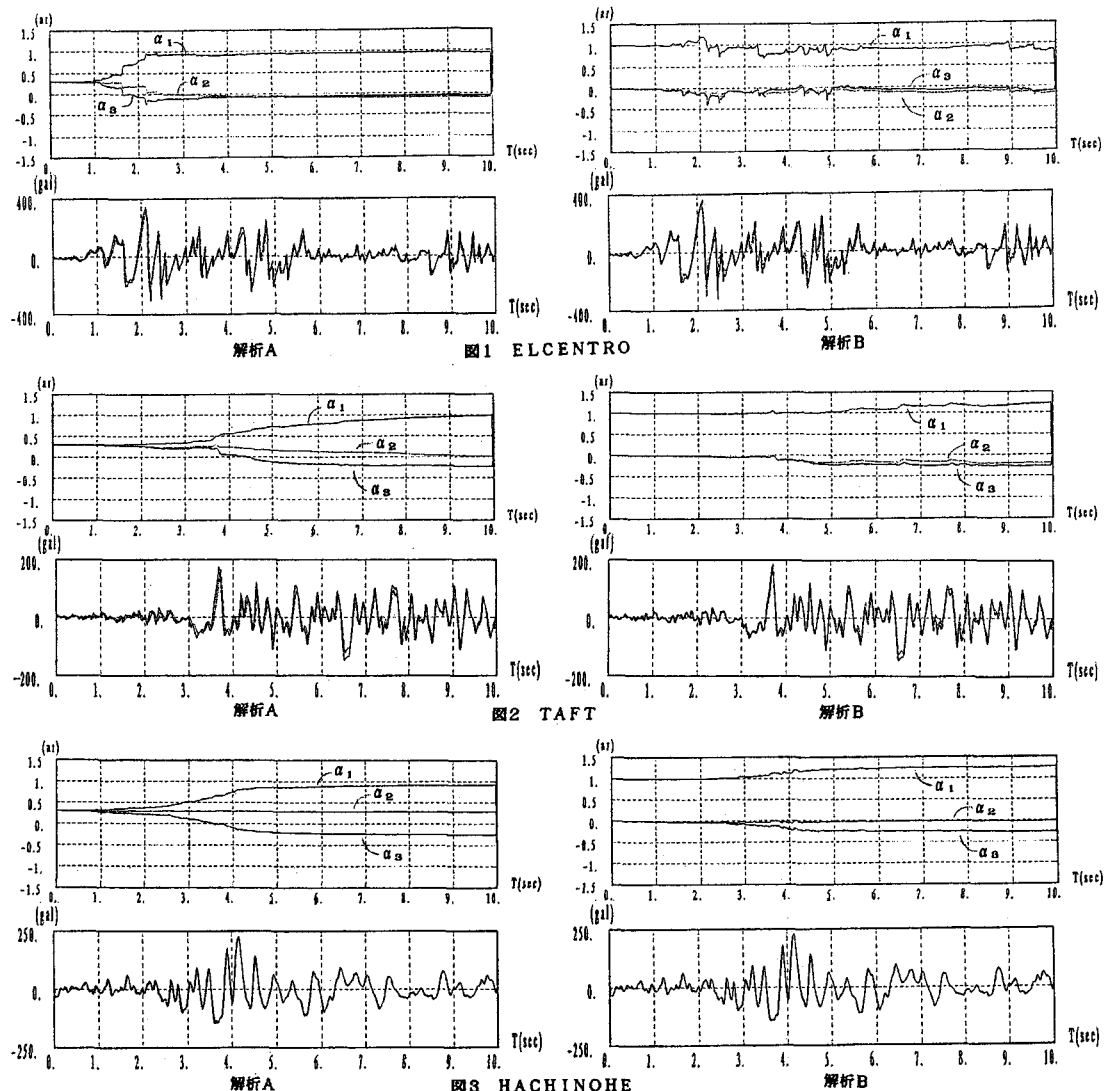
以下、本手法をBとする。

4 解析結果

手法Aおよび手法Bを用いて、表-1に示すような3地震についてそれぞれ、1ステップ将来の地震動を予測した。それぞれの予測結果を図-1、図-2および図-3に示す。各図の上段には各AR係数の変動の様子をまた、下段には真の地震動の値と各手法で予測したそれを重ねて示してある。手法Aでは、

表1 地震波の初源値

地震波	観測データ個数	時間刻(sec)
ELCENTRO (NS)	2000	0.02
TAFT (EW)	2000	0.02
HACHINOHE (NS)	2000	0.01



各AR係数は初期の部分では変動しているが、時間が経過するにつれて変動しにくくなっていることがわかる。それに対し、手法Bでは一様に各係数は変動していることがわかる。また、地震動の予測値も手法Bのほうが真値に近いことがわかる。表-2には、全継続時間における予測値と真値の差の2乗和をそれぞれの地震について示してある。同表からも、手法Bのほうが予測値は真値に近いことがわかる。

5 結論

外乱である地震動に対してフィードフォワード制御を行う場合のリアルタイムな地震動予測について、地震動を時変型のARモデルで表現し、各係数をカルマンフィルタを用いて時々刻々特定する既往の手法を改善するとともに、その有用性を数値解析的に検証した。

参考文献

- 1) 佐藤忠信ほか：作用時間遅れを考慮した構造物の震動制御，土木学会論文集，第428号/ I-15, 1991.4.

表2 予測値と真値の差の2乗和

地震波	解析A ($\times 10^4 \text{gal}^2$)	解析B ($\times 10^4 \text{gal}^2$)
ELCENTRO (NS)	14.78	14.42
TAFT (EW)	2.999	1.782
HACHINOHE (NS)	1.549	0.5553