

I-38 EK-WLI 法による地盤の非線形履歴復元力特性の同定

徳島大学大学院 学生員○江川智之
徳島県 正会員 篠原 充
徳島大学工学部 正会員 三神 厚
徳島大学工学部 正会員 澤田 勉

1. はじめに

本研究は、拡張カルマンフィルタの重み付きローカルな繰り返し法（EK-WLI 法）を用いた等価線形的同定により、土の非線形履歴復元力を推定し、解析結果よりその妥当性を検討したものである。

地盤の動特性は非常に複雑であり、未だ解明されていない点が多い。これまでに、土の非線形性を表すモデルとして、Hardin-Drnevich モデルや Ramberg-Osgood モデルなどが提案されている。しかし、これらが土の非線形性を正確に表しているとは言い難い。したがって、強震動鉛直アレー観測記録を入出力に用いて、地盤の履歴復元力特性を推定することは重要である。

EK-WLI 法による解析では、適切なパラメータの初期設定を行なった上で、各パラメータを変化させて、適切な値が得られるまで計算を繰り返さなければならないため、多大な計算時間を必要とする。これを改善するため、本研究では、EK-WLI 法における各パラメータのうち、特にローカルな繰り返し数が同定結果に及ぼす影響を検討し、適切なパラメータ設定の指針を探る。

2. 同定の手順

本研究は、土の非線形履歴復元力を推定するため、観測記録として鉛直アレー観測記録を用いる。これは、地盤中に深度方向へ鉛直に配置された地震計により、同時観測された絶対加速度記録である。図 1 に同定の手順を示す。まず、アレー観測記録が得られる地盤をモデル化する。本来、地盤の動特性は複雑であり、大地震が起こると強い非線形性が現れる。これを等価的な 1 自由度線形系に置き換え（図 1 (a)）、アレー観測記録②番目と①番目の地震計で観測された記録をそれぞれ系に対する入力、出力として取り扱う。次に、同定モデルである 1 自由度等価線形系の運動方程式から状態方程式を作成する。状態方程式とは運動方程式をカルマンフィルタに適用するため、状態の推移を表す漸化式として行列表示したものである。また、同定には系の入出力に観測記録が必要なため、観測方程式を作成する。そして、これら 2 つの方程式を用いて同定した等価線形パラメータより、地盤の非線形履歴復元力を推定する。

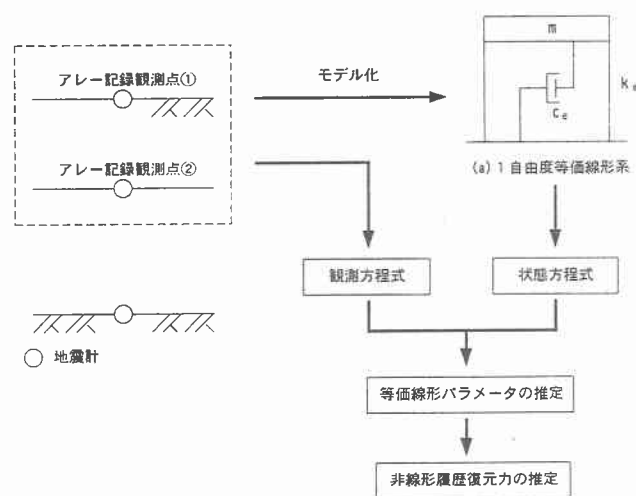


図 1 同定の手順

3. EK-WLI 法

強震下の構造物は、非線形かつ非定常に応答する。非線形系の同定では、パラメータが時間的に変動するので、追従性の良い手法を用いることが必要である。一般のカルマンフィルタによる推定値は、各時刻における観測量を同じ重みで評価するので、対象とする系のパラメータが非定常性を有する場合には追従性が悪いという欠点がある。EK-WLI 法は、状態推定量の誤差共分散行列の減少を修正するために、各時刻でのローカルな繰り返しに重みを導入したものである。つまり、各時間ステップごとに状態推定量の誤差共分散行列に重みを乗じて、パラメータの非定常性に対する追従性を改善する方法である。以下では、EK-WLI 法の

適用法について述べる。

いま、時刻 $t+1$ におけるカルマンフィルタのローカルな繰り返しを考える。時刻 t での最適状態推定量 $\hat{X}(t|t)$ とその誤差共分散行列 $P(t|t)$ が既知であるとき、時刻 $t+1$ での状態推定量は図 3 のようにして求められる。すなわち、拡張カルマンフィルタを用いて、 $\hat{X}(t|t)$ と $P(t|t)$ から時刻 $t+1$ での状態推定量 $\hat{X}'(t+1|t+1)$ とその誤差共分散行列 $P_1(t+1|t+1)$ を求める。この $P_1(t+1|t+1)$ に重み r を乗じて誤差共分散行列を修正する。次に、 $\hat{X}'(t+1|t+1)$ と $P'(t+1|t+1)$ より出発して、時刻 $t+1 \rightarrow t+m+1 \rightarrow t-m+1 \rightarrow t+1$ の順に拡張カルマンフィルタを用いて計算し、各時刻での最適状態推定量とその誤差共分散行列を求めていく。図 2 の③、④、⑤の過程を繰り返し、最終的に時刻 $t+1$ での最適状態推定量 $\hat{X}(t+1|t+1)$ とその誤差共分散行列 $P(t+1|t+1)$ を得る。

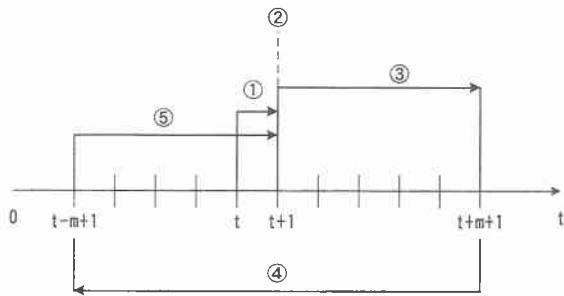


図 2 ローカルな繰り返しの説明

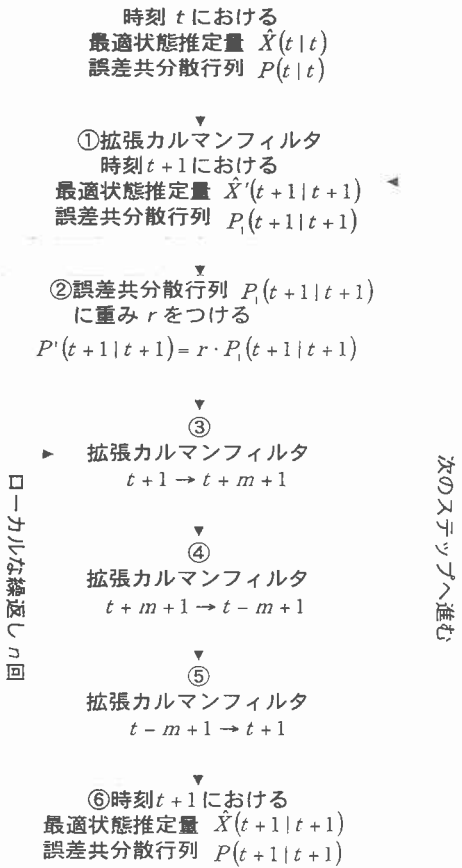


図 3 EK-WLI 法の手順

4. 解析結果

観測記録として、1995 年兵庫県南部地震時に神戸ポートアイランドで得られた鉛直アレー観測記録を用いて得られた履歴復元力の同定結果を図 4 に示す。図 4 の(a), (b)は、それぞれローカルな繰り返し数 m が 10, 30 の各場合についての図である。図から分かるように履歴復元力は強い非線形性を示すものとなった。 $m=10$ における履歴復元力には波打った部分が見られる。これは、解析データ数が小さいため、ノイズの影響を受けていると考えられる。 m を 30 と増やすことでノイズの影響を取り除くことができ、履歴復元力は滑らかな曲線になることが分かる。

5. まとめ

- 本研究で得られた結果を要約すれば、以下のようになる。
- 1) EK-WLI 法を用いた等価線形的同定により、土の非線形履歴復元力特性を推定することは可能である。
- 2) EK-WLI 法のローカルな繰り返し数を適切に与えることにより、土の非線形性に対する追随性が改善されるものと思われる。

参考文献

- 1) 澤田・原井・平尾・成行・辻原：カルマンフィルタにおける非線形 1 自由度系の等価線形的同定法，応用力学論文集，Vol, pp.99-108, 1998.
- 2) (財) 震災予防協会：強震動アレー観測記録データベース，No.1, 1993, No.2, 1995.

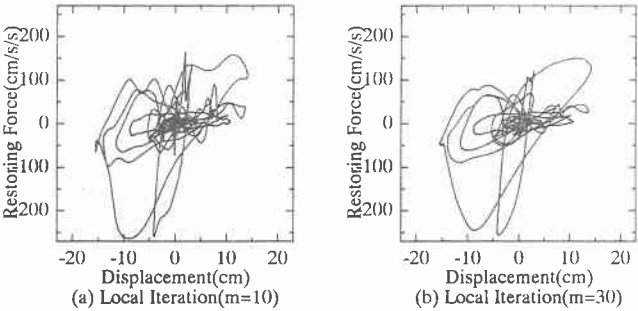


図 4 履歴復元力の同定結果