

I-19 拡張カルマンフィルタによる実地盤の履歴復元力特性の同定

徳島大学大学院 学生員 〇南尾 英治 徳島大学大学院 学生員 篠原 充
徳島大学工学部 正会員 澤田 勉 徳島大学工学部 正会員 三神 厚

1. はじめに

本研究は、拡張カルマンフィルタを用いた等価線形的同定により、地盤の履歴復元力を推定する手法を提示するとともに、アレー観測記録を用いた地盤の履歴復元力の推定を試みたものである。系の入出力記録には、鉛直アレー観測記録を用いた。非線形系を等価線形的に同定する方法は、非線形パラメータを直接同定できないという欠点はあるが、手法的には簡単である。また、同定された等価線形パラメータを用いることにより履歴復元力特性を間接的に同定できるため、従来の研究に対する補完的な手法として有用であると考えられる。一方、地盤や構造物は、非常に複雑な特性をもつ。これは、常時と地震時とではかなり異なり、特に地震時における地盤の動特性は未だ解明されていない点が多い。地盤や構造物の動特性が解明されると、より現実に近いモデル化が可能となり、その結果、耐震設計における応答予測の精度を向上させることが期待できる。また、構造物の損傷度評価や地盤の液状化予測などにも役立つと考えられる。このような観点より、本研究では、拡張カルマンフィルタを用いた1自由度非線形系の等価線形系の同定手法を実地盤に適用させ、強震動鉛直アレー観測記録を使用して、地盤の履歴復元力特性の推定を行い、本手法の妥当性を検討する。

2. 同定の手順

本研究は、土の履歴復元力特性を推定するため、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設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、鉛直アレー観測記録が得られる地盤をモデル化する。アレー観測記録の地表から②番目の記録を入力し、①番目の記録を応答とすることにより、同定モデルを(b)に示す1自由度等価線形系とする。同定モデルである等価線形系の運動方程式から状態方程式を作成し、また、観測記録から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拡張カルマンフィルタにより同定を行う。同定された等価線形パラメータを用いて地盤の履歴復元力特性を推定する。

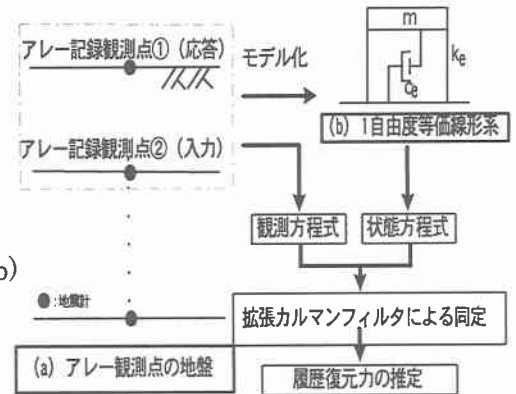


図1 同定の手順

3. 拡張カルマンフィルタ

非線形離散型状態方程式

$$X(t+1) = G\{X(t)\} + \Gamma(t)W(t) \quad (1)$$

線形離散型観測方程式

$$Y(t) = HX(t) + V(t) \quad (2)$$

で表される系を平滑化するための拡張カルマンフィルタのアルゴリズムは次のようになる。

①時刻 t の最適状態推定量 $\hat{X}(t|t)$ を用いて、時刻 $t+1$ における状態推定量の予測値 $\hat{X}(t+1|t)$ を求める。

$$\hat{X}(t+1|t) = G\{\hat{X}(t|t)\} \quad (3)$$

②式(1)の状態方程式を線形化し、状態推移行列 $\Phi(t+1|t)$ を求める。

$$\Phi(t+1|t) = \left[\frac{\partial G\{X(t)\}}{\partial x_j} \right]_{X(t)=\hat{X}(t|t)} \quad (j=1, \dots, n) \quad (4)$$

③以上の式を用いて、カルマンフィルタにより時刻 $t+1$ の最適状態推定量 $\hat{X}(t+1|t+1)$ とその誤差共分散行列 $P(t+1|t+1)$ を求める． $t=t+1$ として①～③を繰り返す．

4. 解析条件および同定結果

本研究で用いた鉛直アレー観測記録²⁾の諸元を、表 1 に示す．ここで、NSM は西松建設（下鶴間観測所）の記録（NSM1, NSM2, NSM3）、また、OAR は電力中央研究所（大洗観測点）の記録（OAR1, OAR2, OAR3）の計 6 つで、これら 6 つの記録を用いて得られた履歴復元力の同定結果のうち代表的な例を図 2 に示す．

表 1 対象地震の諸元		
地震名	マグニチュード	アレー最上点での最大加速度(gal)
NSM1	6. 7	4 7
NSM2	6. 0	4 4
NSM3	5. 0	1 1
OAR1	6. 1	3 4
OAR2	6. 1	5 1
OAR3	4. 9	6 2

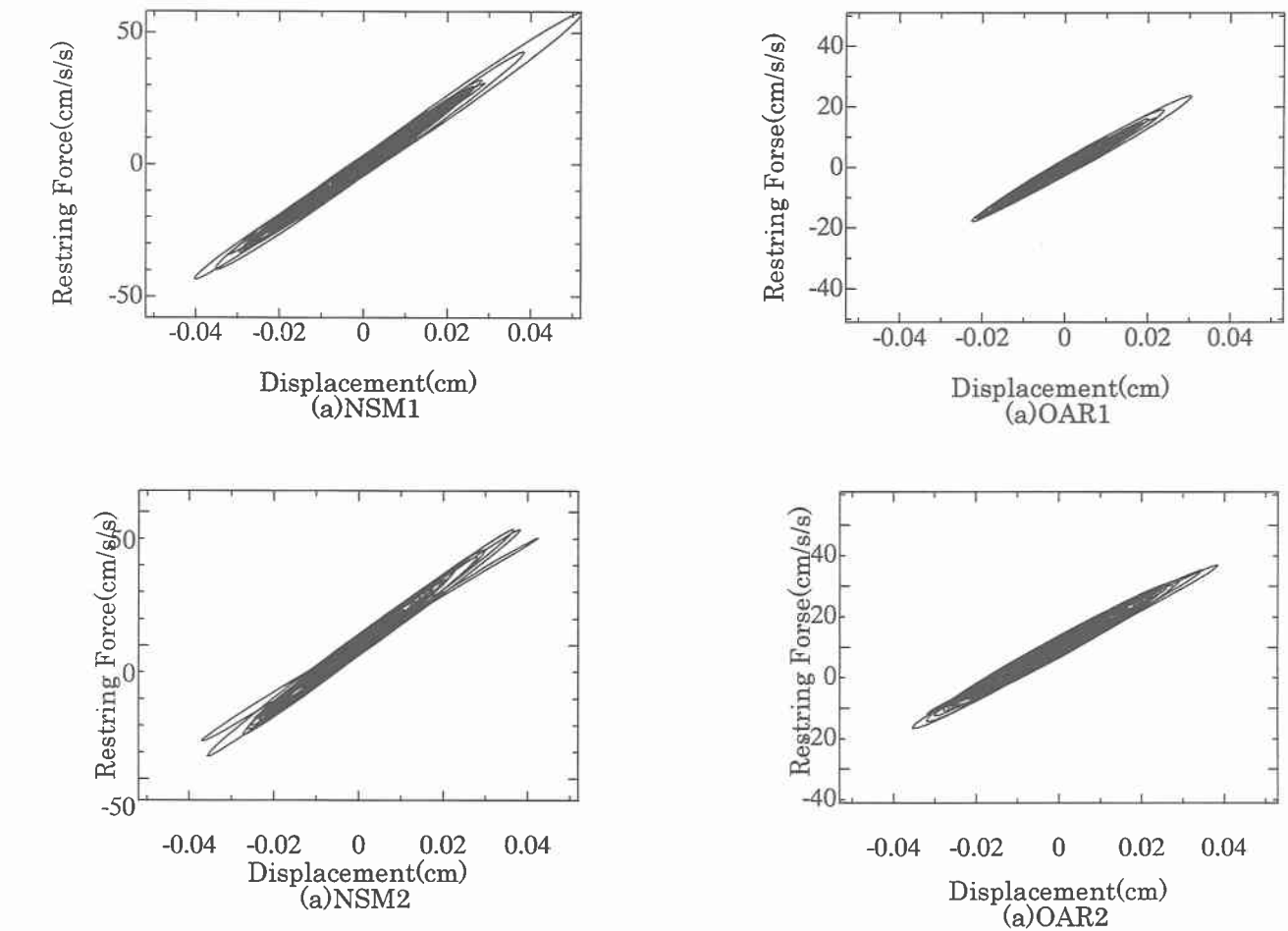


図 2 履歴復元力の同定結果

5. 結論

鉛直アレー観測記録を用いて、拡張カルマンフィルタによる等価線形的な同定を行い、実地盤の履歴復元力を推定した．解析に用いた地表記録の振幅が中程度以下であったため、同定した履歴復元力はほぼ線形になった．比較的振幅の大きい記録を用いた同定も行ったが、硬い地盤では非線形な履歴復元力を検出することはできなかった．

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, pp99-108, 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.