

I-5 アレー観測記録による地盤の履歴復元力特性の同定

徳島大学大学院 学生員○江川智之
徳島大学工学部 正会員 三神 厚
徳島大学工学部 正会員 澤田 勉
徳島大学 大久保明

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、地盤の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。本研究では観測記録として、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た。この記録は、液状化による地盤の非線形挙動を捉えたものであることから工学的に極めて貴重である。

2. 同定の手順

土の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(a)に神戸ポートアイランドの地盤状況と地震計の設置場所を示す。ここでは 0 m, 16m, 32m および 83m のそれぞれの深さに地震計が設置されている。同定の手順として、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が、これを等価的な 3 自由度線形系に置き換え（図 1 (b)）、各アレー記録観測点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 3 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、地盤の履歴復元力を推定する。

3. EK-WLI 法

強震下の地盤は、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

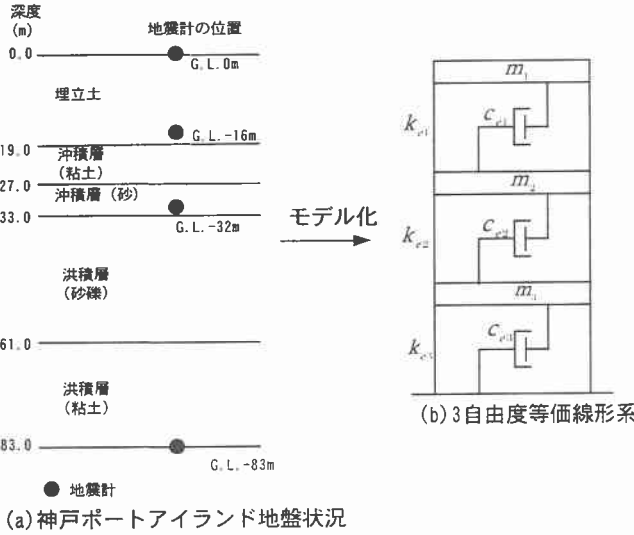


図 1

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。

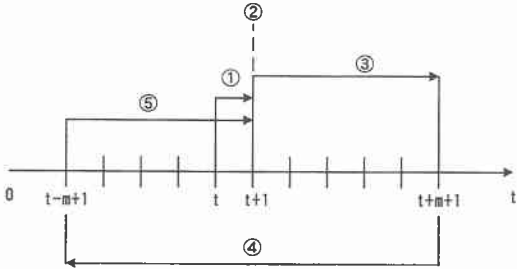


図 2 ローカルな繰り返しの説明

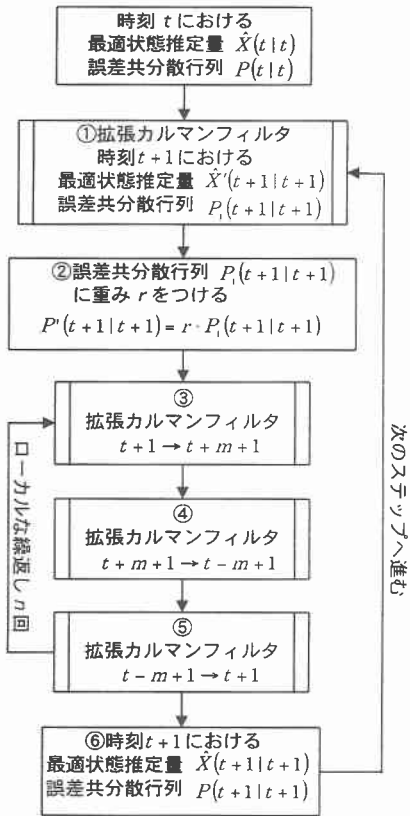


図 3 EK-WLI 法の手順

4. 解析結果

本研究では、観測記録として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の EW 成分を用いた。図 4 は地盤の履歴復元力の同定結果を示したものである。この図の(a), (b)および(c)はそれぞれ 0-16m, 16-32m および 32-83m 区間の履歴

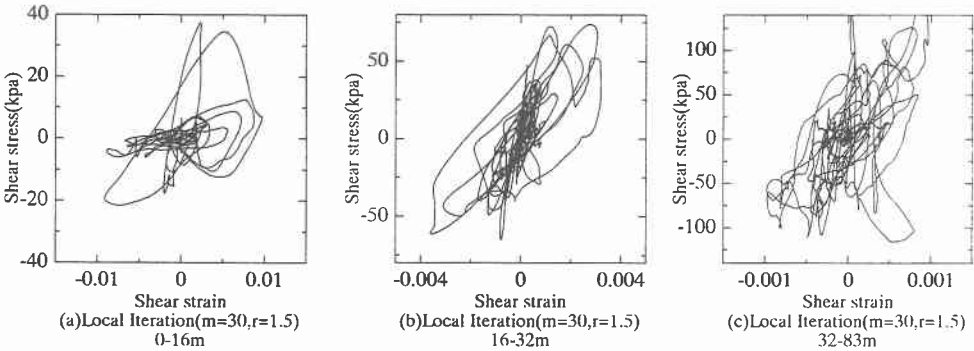


図 4 履歴復元力の同定結果

復元力を示している。0-16m 区間の履歴復元力は強い非線形性を示しているが、これは地盤が液状化したためだと考えられる。また、16-32m および 32-83m 区間においても非線形が確認できる。兵庫県南部地震では、16m, 32m および 83m 地点のいずれにおいても 500gal 前後の最大加速度が観測されており、深部においても地盤が非線形挙動を起こしたと考えられる。

5. まとめ

本研究では EK-WLI 法を用いた等価線形的同定により、地盤の履歴復元力の推定を試みた。1995 年兵庫県南部地震における神戸ポートアイランドでは、地盤の非線形挙動を確認できた。今後、さらに多くの観測記録を用いて解析を行い、検討する必要がある。

参考文献

1) (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。