

デジタル式強震計の記録精度とその補正に関する研究

京都大学 正員 山田善一
 京都大学 正員 家村浩和
 京都大学 正員 伊津野和行
 熊谷組 正員 山下栄司

1. はじめに 近年、地動観測に、記録収集および機器の維持管理の簡便さからデジタル強震計を用いることも多くなってきた。著者らは、以前デジタル式強震計SAMTAC-17E (以下SAMTAC) の、長周期領域における精度の評価が一定していないことを報告した。本研究では、デジタル式強震計SAMTACの記録を、同一場所に設置されている気象庁一倍強震計記録と比較することにより、SAMTAC記録の精度を検討した。その結果をもとに、カルマンフィルターの手法を用いて、デジタル式強震計記録に含まれる誤差の除去と、補正を行なう手法を提案する。

2. デジタル式強震計SAMTACの構造

この強震計における地動の感知からAD変換器入力までの構成図をFig. 1に示す。換振器には速度帰還型サーボタイプの加速度計を有している。換振器からの信号は、ドリフト除去用ハイパスフィルターならびにエリアジングフィルターを通してAD変換器により数値化され、自動校正時刻とともにテープに記録される。Fig. 2の換振器ならびにハイパスフィルターにおいて、地動 u と加速度計振子の変位 x と検出信号(電圧)の $E_s \cdot E_u$ の間には、次の運動方程式が成立する。

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2h\omega_0 \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = -\frac{d^2u}{dt^2}$$

$$E_s = K \frac{dx}{dt} \cdot \frac{dE_s}{dt} = \frac{1}{RC} E_u + \frac{dE_u}{dt}$$

ただし、 $h=240$, $\omega_0=31.4\text{rad/sec}$,
 $K=45 \cdot 1/RC=0.1(F)^{-1}$ (公称値)

3. カルマンフィルターによる入力波形の推定 入力としては地動を、出力としては強震計内部の回路の応答を考える。SAMTACより得られた強震計記録を用いて、カルマンフィルターにより入力波形(地動)を推定することを試みた。ただし、雑音としては白色雑音のみを考えた。状態変数として以下の $x_1 \sim x_8$ を選ぶと、

$$x_1 = \frac{dx}{dt} \quad x_2 = \frac{d^2x}{dt^2} \quad x_3 = E_u \quad x_4 = u$$

$$x_5 = \frac{du}{dt} \quad x_6 = \frac{d^2u}{dt^2} \quad x_7 = \frac{d^3u}{dt^3} \quad x_8 = \frac{d^4u}{dt^4}$$

状態方程式は次のようになる。

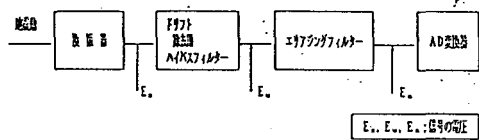


Fig. 1

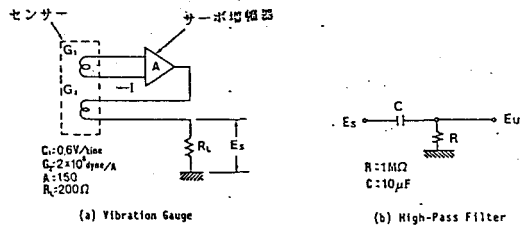


Fig. 2

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \\ -2h\omega_0 x_2 - \omega_0^2 x_1 - x_7 \\ Kx_2 - \frac{1}{RC}x_3 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\omega_0^2 & -2h\omega_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & K & -\frac{1}{RC} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{pmatrix}$$

また、観測方程式は次式で表される。

$$y(t) = H(t)x(t) + w(t)$$

$$H(t) = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$w(t) : E[w_k \ w_l^T] = 0$$

観測値としては、強震計の原記録から求めた電圧E。(Fig. 3) を用いた。なお、この記録は、1987年12月17日に発生した千葉東方沖地震の記録である。カルマンフィルターのアルゴリズムに従い、地動の加速度・速度・変位を推定した結果がFig. 4 である。

4. カルマンフィルターによる雑音の除去 前節で推定した方法では $1/f$ ノイズがのってしまうことが著者らの前年までの研究で得られている。 $1/f$ ノイズを除去するシステムを考え、このシステムに前節で推定した波形を通すことにより雑音成分の除去を行おうとした。このようなシステムとしては(1)式の形のハイパスフィルターの式が参考になる。RCの値を適当に定めることによって、遮断振動数を設定することができる。状態変数としては以下の x_1, \dots, x_6 を選んだ。ただし、 $u, \frac{du}{dt}, \frac{d^2u}{dt^2}, \frac{d^3u}{dt^3}, \frac{d^4u}{dt^4}$ は前節で推定された値であり、 $\frac{d^2x}{dt^2}$ が補正された値となる。

$$x_1 = \frac{d^2x}{dt^2} \quad x_2 = u \quad x_3 = \frac{du}{dt} \quad x_4 = \frac{d^2u}{dt^2} \quad x_5 = \frac{d^3u}{dt^3} \quad x_6 = \frac{d^4u}{dt^4}$$

状態方程式は次のようになる。

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Kx_4 - \frac{1}{RC}x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{RC} & 0 & 0 & K & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{pmatrix}$$

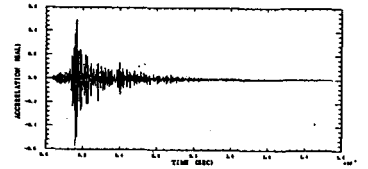


Fig. 3

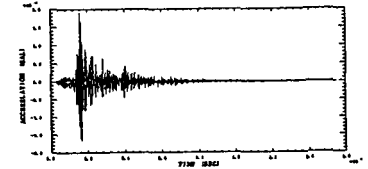
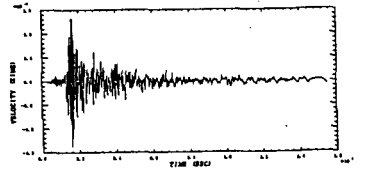
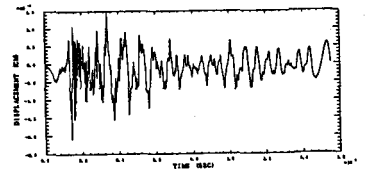


Fig. 4