

適応デジタルフィルターによる加速度計記録の異常値検出と自動補正

京都大学工学部 正会員 山田 善一 京都大学工学部 正会員 ○野田 茂
京都大学工学部 正会員 伊津野和行 建設省 正会員 土井 弘次

1. はじめに 最近、サーボ型デジタル式加速度計が次第に普及してきている。SMAC型に代表される加速度計は機械式であり、後処理段階での煩雑さなどから、デジタル式の強震計が開発されてきた。著者ら¹⁾は、加振実験を行うことにより、こうした加速度計における記録の長周期(約2~20秒)成分について、信頼度の検討を行った。その結果、長周期成分に混入したノイズにより、加速度波から求めた変位波にはゆがみが顕著に見られ、差動トランス型変位計の波形と異なることがわかった。本小文では、原加速度記録における有意なノイズを的確に抽出し、自動的に補正するために、適応フィルターを用いることを提案する。

2. 強震記録の長周期成分に混入したノイズの存在

(1) 加振実験の結果について 長周期振動台を加振して、文献¹⁾

では、差動トランス型変位計とサーボ型デジタル式加速度計の記録を検討した。Fig.1は、2つの入力波(TA12S, MRA14S)に対して求めた変位波を比較したものである。波はフィルター(周期帯域2~20秒)を通してある。Fig.2には、TA12S入力に対する加速度フーリエスペクトルを示した。加速度計は、振動台に特有の短周期成分のノイズを精度よく捉えていた。しかし、図からわかるように、長周期になるに従って、ゆがみが顕著に現われている。

加速度計の記録信号は電圧で表示される。地震動は、換振器—ドリフト除去用ハイパスフィルター—エリアジングフィルターを介して、記録される。Fig.1と2では、換振器や回路特性の補正が実施されている。加速度計の変位波は、1)長周期の波が卓越しており、しかも2)始動部ならびに最強部以降のコーダ部に長周期のghost waveが出現している。フーリエスペクトルの長周期成分は $1/f^a$ ($a \approx 1$) スペクトルとなっている。長周期成分のゆがみは、原記録において、ハイパスフィルターが換振器の出力電圧にかけられて弱められている。このフィルターの振幅特性は、周期10秒で倍率が約0.97、20秒で0.9、50秒で0.6である。これとほぼ同様の振幅特性が換振器についても成り立っている。従って、原加速度波では見かけ上ノイズが小さくなることになる。

(2) 強震記録に含まれるノイズの正体は? 自然界に存在するゆらぎ現象をスペクトルで分類すれば、ホワイトノイズ、 $1/f$ ゆらぎと $1/f^2$ ゆらぎが考えられる。

ホワイトノイズは、換振器の分解能、周辺温度環境変化に伴う感度特性のゆらぎや他成分振動の影響(横感度)が原因で発生する。計器設置点の傾斜、換振器のドリフトなどにより、零基線が片寄り、記録系に内蔵されたハイパスフィルターの回路が見かけ上分解能によるノイズの長周期帯を持ち上げ、SN比を低下させてしまう。

$1/f$ ノイズはフリッカーノイズとも呼ばれており、そのスペクトルは自己相似性を有している。長周期帯域では、回路を構成するものが半導体や真空管であれ、抵抗体の材料が何であっても、必ず直流電流に伴

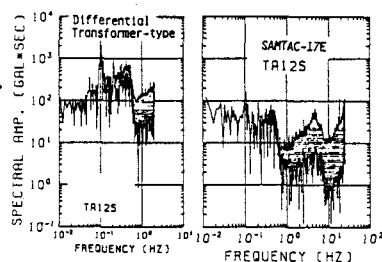
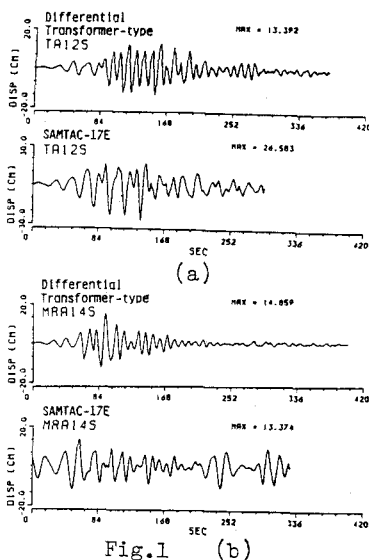


Fig.2

って、 $1/f$ ゆらぎが生じる。抵抗の値がわずかながらゆらいでいて、直流電流を流したために、抵抗値の変動が電圧変動として観測される。直流電流が大きくなると、 $1/f$ ノイズのレベルは直流電流の2乗に比例して増大する。 $1/f$ ノイズの原因は、ほとんどの場合、電子部品の製造過程における不完全性であると言われている。

一方、振動台の傾斜運動に伴い、 $1/f^2$ 信号が生じることも考えられる。この原因は、振動台の運動方向を規制するガイドの加工精度上の問題と考えられる。文献1)では、水平・上下加振用の2軸形式の振動台を用いた。上下方向の加振信号を与えなくても、複数個ある上下加振用アクチュエーターがそれぞれ微妙に勝手な動きをすることにより、あるいは、水平加振で上下方向の支持に変動を伴い、振動台が揺動したことも考えられる。振動台が 0.06° 傾斜すると、加速度計は見かけ上 1 gal 相当の信号を生じる。

仮に振動台を一定振幅で加振したとき、一定の傾斜角を伴うと、慣性力による加速度は加振周期が長くなるとともに低下する。しかし、傾斜角による見かけ上の加速度は周期に無関係で、一定の値を維持する。今、傾斜による加速度は一定で小さくても、長周期での変位波で見た場合、 $1/f^2$ 信号が出現し、その影響は極めて大きくなる。センサー原理に慣性力を利用している限り、センサーの信号出力を見て、水平振動なのか傾斜変動なのかを区別することはしにくい。こうしたことは、Fig.1(b)で明らかに見られる。

3. 適応ディジタルフィルタによる強震記録の補正 適応ディジタルフィルタを用いれば、先験的情報が少ない場合にも、自動的にフィルタのパラメーターを調節することが可能である。非定常環境で動作する適応タップ付き遅延線フィルタリングのアルゴリズムを用いれば、加速度計の状態方程式と観測方程式(ステップ n)は、各々、式(1)と式(2)のようになる。

$$h_0(n+1) = h_0(n) + h(n) \quad \dots\dots\dots (1) \quad d(n) = u^T(n) h_0(n) + e_0(n) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $d(n)$ は加速度計の記録、 $u(n)$ はタップ入力ベクトル、 $h_0(n)$ は係数ベクトルの最適ウィナー値、 $e_0(n)$ は最適ウィナー構造を利用したときに得られる誤差信号である。最適係数ベクトルは毎回の繰り返しごとにランダムに変化する。ここでは2. で述べたノイズを表わすシステム方程式を考え、 $h(n)$ としてホワイトノイズを考えた。

指数重みRLSアルゴリズムにより、次式を採用した。

$$k(n) = \frac{\lambda^{-1} P(n-1) u(n)}{1 + \lambda^{-1} u^T(n) P(n-1) u(n)} \quad P(n) = \lambda^{-1} P(n-1) - \lambda^{-1} k(n) u^T(n) P(n-1) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\eta(n) = d(n) - u^T(n) \hat{h}(n-1) \quad \hat{h}(n) = \hat{h}(n-1) + k(n) \eta(n)$$

ここで、 $k(n)$ はゲインベクトル、 $P(n)$ は推定誤差相関行列、 $\hat{h}(n)$ は係数ベクトルの推定値、 $\eta(n)$ は真の推定誤差、 λ は重み係数である。

本研究では、式(1)(3)を適用するために、加速度計の回路特性(換振器、ハイパスフィルタ、エリアジングフィルタ)に関する方程式を導いた。計算結果などの詳細については講演会当日に発表する。

4. あとがき 最近、地震波は、高性能の電子計器を用いて測定されることが多くなってきた。加速度計の使用帯域(仕様)外において、高精度の測定を実施するためには、電子計器における各種のノイズ、オフセットやドリフトなどの非希望信号により生じる誤差を減らし、希望信号を抽出・再生しなければならない。今後、地震記録を用いる場合、単に与えられた(収集した)データをそのまま利用するのではなく、原記録を何とか補正することを心がけ、ブラックボックスをできる限りなくす必要がある。そのためには、ディジタル信号処理の理論を積極的に用いるのも一つの手段であろう。

参考文献

- 1) 山田善一・野田茂・岡市明大：加振実験による地震計記録の長周期成分の信頼度の照査、京都大学防災研究所年報、第30号B-2, pp. 57~87、昭和62年4月。
- 2) 谷萩隆嗣：ディジタル信号処理の理論 3. 推定・適応信号処理、コロナ社、昭和61年12月。