

建設省土木研究所 正員 川島一彦

〇 “ “ 相沢 興

“ “ 高橋和之

1. はじめに

SMAC型強震計記録に計器補正を加えたり、数値積分を行おう際には、加速度記録の数値化時の精度を考慮することが必要である。本小文は、既報の数値化精度の検討結果に基づいて土木研究所におけるSMAC型強震計記録の処理システムを紹介するものである。

2. 計器補正方法および速度・変位の算出法

いま、数値化した加速度記録 $a(t)$ のフーリエ変換を $\bar{F}(f)$ とし、これに計器の特性を考慮した F_0 ルター $F_c(f)$ を見込むと、補正した加速度 $A(t)$ 、速度 $v(t)$ および変位 $d(t)$ は次式で求められる。

$$A(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{F}(f) e^{2\pi i f t} df, \quad v(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\bar{F}(f)}{2\pi i f} \cdot e^{2\pi i f t} df, \quad d(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\bar{F}(f)}{4\pi^2 f^2} \cdot e^{2\pi i f t} df \quad (1)$$

ここで、 $F(f) = \bar{F}(f) \cdot F_c(f)$ であり、 $F_c(f)$ は次式のようにした。

$$F_c(f) = \begin{cases} 0 & \text{----- } 0 \leq f \leq f_{cl} \\ (f-f_{cl}) / (f_{cu}-f_{cl}) \cdot e^{i\phi(f)} / R(f) & \text{----- } f_{cl} \leq f \leq f_{cu} \\ e^{i\phi(f)} / R(f) & \text{----- } f_{cu} \leq f \leq f_{hu} \\ (f_{hu}-f) / (f_{hu}-f_{cl}) \cdot e^{i\phi(f)} / R(f) & \text{----- } f_{cl} \leq f \leq f_{hu} \\ 0 & \text{----- } f_{hu} \leq f \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 f_{cl} および f_{cu} はそれぞれ低振動数側および高振動数側の遮断振動数であり、 f_{cl} および f_{hu} はそれぞれ f_{cl} および f_{cu} に対応する補正 F_0 ルター倍率が0となる振動数である。また、 $R(f)$ および $\phi(f)$ はそれぞれ振幅および位相の補正係数であり、SMAC型強震計の空気減衰器内の空気バネとして作用する効果を考慮して次式とした¹⁾。

$$R(f) = \sqrt{\frac{1 + (u/N)^2}{(1-u^2)^2 + \{ (1-u^2)u/N + 2ku \}^2}} \quad \phi(f) = \tan^{-1} \left\{ \frac{2ku}{(1-u^2) \{ 1 + (u/N)^2 \} + 2ku \cdot u/N} \right\} \quad (3)$$

ここで、 $u \equiv f/f_n$ (f_n は振子の固有振動数で、B2型強震計の場合には7.14Hzとした)、 $N \equiv f_a/f_n$ (f_a は減衰器の抵抗と空気バネのインピーダンスが等しくなる振動数で、B2型強震計の場合には10.8Hzとした)である。空気バネの作用を無視した場合には N を無限大とすればよい。これは一般の1自由度系の応答振幅および位相を与えるが、図1に示す加振実験結果によれば、空気バネの作用を考慮した方が実験値との対応がよいことがわかる。

3. F_0 ルター $F_c(f)$ の設定

記録の読取精度の検討²⁾、および、強震計の加振実験結果³⁾によれば、B2型強震計記録の信頼限界は記録の数値化精度に支配される。また、数値化の精度は記録に含まれる振動数成分ごとの振幅と密接な関係がある。すなわち、同一の加速度記録を複数回読取った場合に、それぞれの読取記録をもとに計算した応答スペクトル $S_n(f)$ の変動幅(変動係数 $\lambda_r(f)$ で表わす)は、加速度記録のフーリエ係数 $F(f)$ と次の関係がある。

$$\lambda_r(f) = 9.65 \times 10^{-6} \times (F(f)/A_{max})^{-1.64} \quad (4)$$

ここで、 A_{max} は加速度記録の最大値である。このように点を考慮した強震計の加振実験の結果、真の(振動位の)加速度および変位と、B2型強震計から得られるに加速度およびこれを2回積分して求めた変位とを比較することにより最適 f_{cl} および f_{cu} を定めると、それぞれ $1/3$ および $1/2$ Hzとなる。しかも、(式(2)の f_{cl} および f_{cu} はそれぞれ $1/3$ および $1/2$ Hzとする。以上を示した強震計記録処理システムのフローを示すと図2となる。

4. 試算例

以上に示した方法により、最大加速度に対する計器補正の効果を計算により検討した。対象としたのは、土木研究所で現在までに数値化された合計224成分の記録であり、補正前と補正後の最大加速度の関係を示すと図3のようになる。これによれば、計器補正を加えることにより、最大加速度は平均として35%大きくなることとなる。また、図4は1978年岩城県沖地震による開北橋近傍地盤上(下成分)の記録の補正例である。

参考文献: 1) 後藤: SMAC型強震計の短期期特性, 地震学会講演集, 1979. 2) 川島他: SMAC型強震計記録..., 第16回地震工学研究発表会, 1981. 3) 川島他: 数値化精度を考慮して..., 第36回年次学術講演会概要集, 土木学会, 1981. 4) 岩崎他: 地震応答スペクトルに及ぼす..., 土木学会論文報告集, Vol. 309, 1981. 5) 建設省土木研究所: 土木構造物における加速度強震記録, 土木研究所彙報, Vol. 32~38.

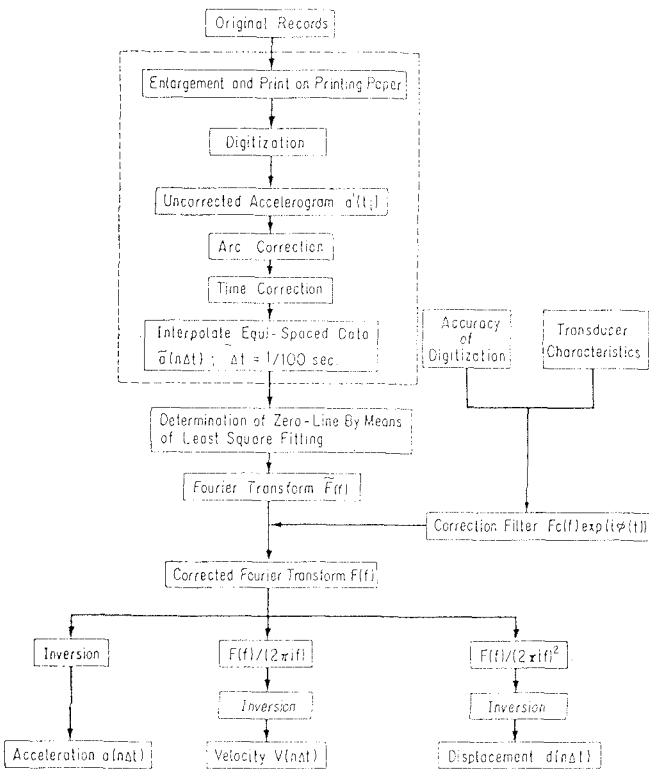


図2 土木研究所における強震記録の計器補正システム

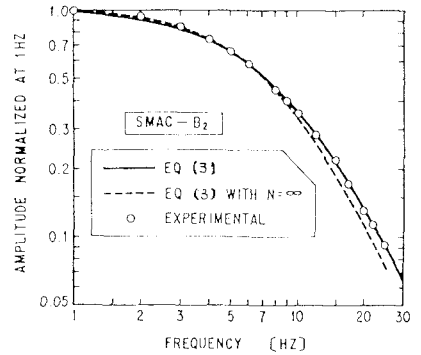


図1 SMAC-B2型強震計の計器特性

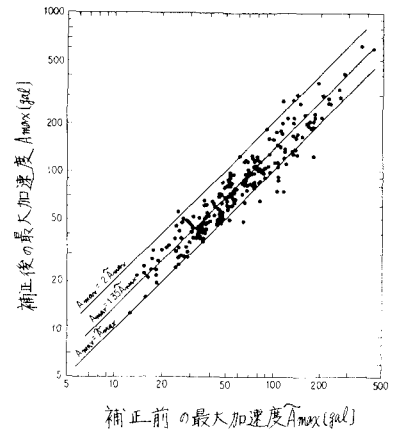


図3 計器補正が最大加速度に及ぼす影響



(a) 補正前の加速度波形 ($A_{max} = 287 \text{ gal}$)



(b) 補正後の加速度波形 ($A_{max} = 384 \text{ gal}$)

図4 計器補正結果の一例(1978年6月の岩城県沖地震の開北橋近傍地盤上の記録)