

○ 建設省土木研究所 正員 川島一彦
建設省関東地方建設局 正員 高木義和

1. まえがき

設計手法の向上に伴い、地震時における走行車輛の安定性、橋梁ジョイント間の相対変位、あるいは、地盤のひずみを解析する目的から、地震動の速度および変位が必要とされている。加速度強震記録から単純に数値積分によって変位を求めると、解が発散することはよく知られており、この原因としては、記録の離散化に伴う誤差、数値化の誤差等が挙げられている。本小文は、対象周期を5秒程度以下に限定した場合に、SMAC-B2型強震計記録から変位を求める際の遮断振動数のとり方を強震計の振動実験により検討した結果を示すものである。

2. 検討方法

SMAC-B2型強震計を動電型検定台に固定し、加振実験を行った。強震計は、土木研究所旧千葉支所構内において現在までに約12年間通常の観測に供してきたものであり、また、検定台は最大片振幅200mmの範囲で0.1~100 Hzの水平もしくは鉛直加振ができるよう設計されたものである。加振実験に用いた入力地震動は表1に示す3種類であり、これらにそれぞれ0.05~5秒、0.05~2秒、および、0.05~1秒の3種類のバンドパスフィルターをかけて、合計9種類の模擬地震入力を作成した。加振実験結果の一覧は表2に示す通りである。図-1は表1に示すE-1、E-4、E-7に対する入力波形（加速度）のフーリエスペクトルを示したものである。

B2型強震計記録は土木研究所の標準数値化システムにより読取ったあと、周波数領域で2回積分し、変位を求めた。この際、フィルターの周波数特性は次のようにした。

$$F_c(f)=0; 0 \leq f \leq f_{ee}, F_c(f)=(f-f_{ee})/(f_{eu}-f_{ee}) \cdot \exp(i\phi(f))/R(f); f_{ee} \leq f \leq f_{eu}, F_c(f)=\exp(i\phi(f))/R(f); f_{eu} \leq f \leq f_{ue}, F_c(f)=(f_{ue}-f)/(f_{ue}-f_{eu}) \cdot \exp(i\phi(f))/R(f); f_{ue} \leq f \leq f_{ue}, F_c(f)=0; f > f_{ue} \quad (1)$$

ここで、 f_{eu} と f_{ue} 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_{ee} と f_{ue} は、それぞれ f_{eu} 、 f_{ue} に対応する補正フィルター倍率が0となる振動数である。ここで、空気減衰器内の空気がばね作用として働く効果を考慮して、式(1)の $R(f)$ および $\phi(f)$ を次のように定めた。

$$R(f)=\sqrt{\frac{1+(\pi N)^2}{(1-\pi^2)^2+(1-\pi^2)\pi N+2\pi^2}}, \quad \phi(f)=\tan^{-1}\left\{\frac{2\pi N}{(1-\pi^2)[1+(\pi N)^2]+2\pi^2 \cdot \pi N}\right\} \quad (2)$$

ここで、 $\pi=f/f_n$ (f_n は振子の固有振動数)、 $N=f_a/f_n$ (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)である。

3. 地震動変位の精度

式(1)により強震記録から求めた変位を $d(i\Delta t)$ 、検定台の動きを直接測定した変位を $\tilde{d}(i\Delta t)$ とした場合の両者の誤差の二次式のように定義した($\Delta t=1/100$ 秒)。

$$\sigma \equiv \sqrt{\sum_{i=1}^N |\tilde{d}(i\Delta t) - d(i\Delta t)|^2} / T_d \quad (3)$$

ここで、 N および T_d は、それぞれ等時間間隔に補間した変位のデータ個数および継続時間である。変位の算出に際しては、高振動数側の遮断振動数は支配的な要因ではないことから、読取精度を考慮して $f_{ue}=12\text{Hz}$ 、 $f_{ue}=13\text{Hz}$ に固定し、低振動数側の遮断振動数を $f_{ee}=1/10, 1/9, \dots, 1/2, 1/3$ 、また、 $f_{ee}=1/1, 1/2, \dots, 1/11$ 種類に変化させた。このようにして求めた変位と基準の変位の比較の例を図2に示す。また、表2に示した9種類の入力地震記録に対する式(3)の誤差の求めると図3のようになる。この結果によれば、低振動数側の遮断振動数 $1/f_{ee}$ は3~4秒程度とした場合、式(3)で定義した誤差の最も小さいことがわかる。

参考文献 1) 後藤他: 高周波フィルターによる……, 土木学会論文報告集, Vol.277, 1978, 2) 伯野他: 強震記録による震動……, 土木学会論文報告集,

Vol. 275, 1978, 3) 後藤:SMAC形……, 地震学会(春季), 1979, 4)川島他:SMAC型強震計記録の……, 土木学会関東支部発表会, 1979.

表-1 解析対象とした地震動記録

No.	地震名	発生日	M	震源距離 [km]	観測地点(成分)	記録時最大加速度 [gal]
1	八丈島沖	1972.2.29	7.1	300	富津岬地盤上(NS)	23
2	和歌山県沖	1973.11.25	5.6	100	大阪南港地盤上(NS)	13
3	熊本城址	1974.8.4	5.8	90	扇島地盤上(NS)	8

表-2 9種類の加振実験の概要

実験番号	地震記録	バンドパスフィルター	実験結果(最大値)		
			観定台加速度	B ₂ 記録加速度	観定台変位
E-1	富津岬記録	0.05~5秒	363 gal	329 gal	4.2 cm
E-2		0.05~2	388	353	4.2
E-3		0.05~1	411	356	2.3
E-4	南港記録	0.05~5	276	274	6.5
E-5		0.05~2	304	244	6.1
E-6		0.05~1	361	349	5.8
E-7	扇島記録	0.05~5	375	293	4.4
E-8		0.05~2	407	314	3.4
E-9		0.05~1	399	337	1.9

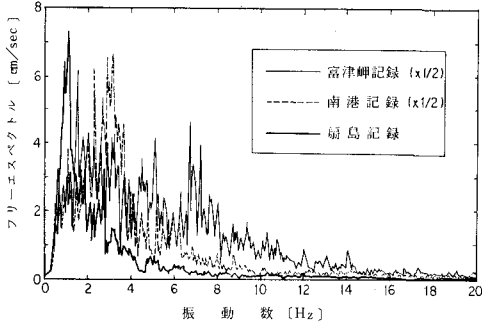


図-1 入力記録(E-1, E-4, E-7)のフーリエパワースペクトル

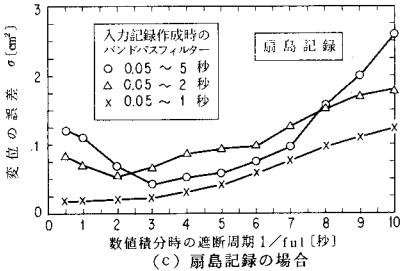
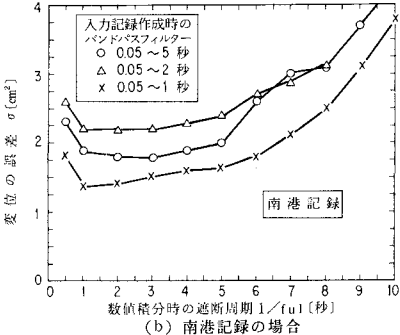
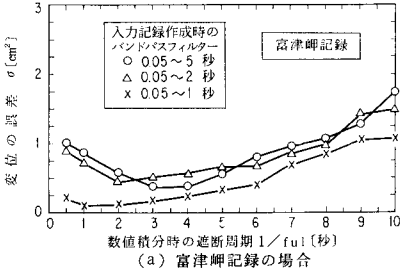


図-3 数値積分時の遮断周期と変位の誤差との関係

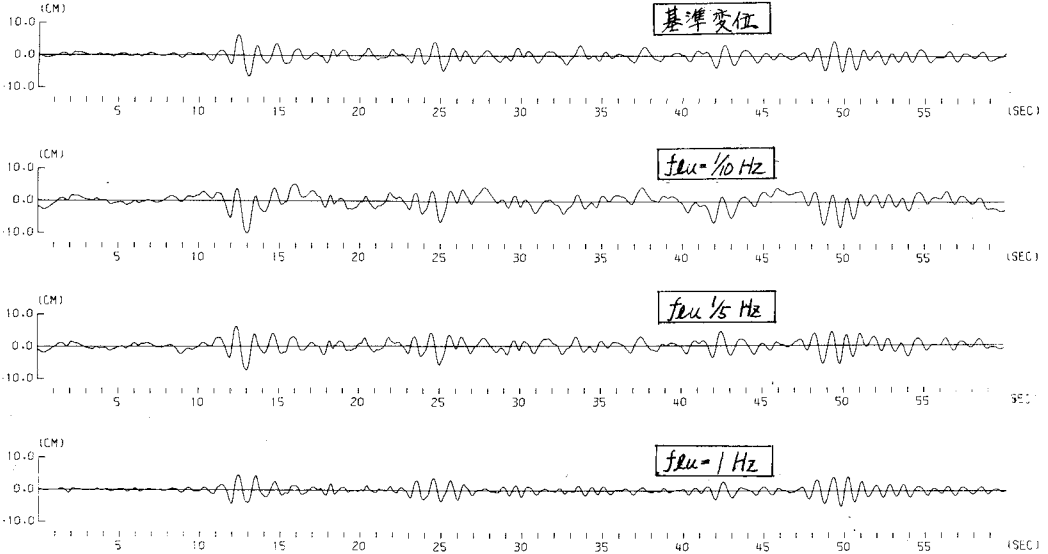


図-2 基準変位とSMAC-B2記録の数値積分から求めた変位の比較