

I-513 大型振動台によるSAMTAC-17の振動試験

清水建設(株) 片岡俊一 横田治彦 田中貞二

1. はじめに

記録精度の向上, 遅延記録の導入, データ処理の迅速化などのために, 強震動観測におけるデジタル記録の加速度強震計の使用が普及しつつある。これに対応して, 強震計の精度や信頼性に関する実証的データも発表されている^{1), 2)}。今回, 国産および米国製の強震計数機種を対象として, 特に長周期帯域に着目して, 大型振動台による振動試験を実施した。試験結果の内, SAMTAC-17について紹介する。

2. 実験の概要

実験に用いた振動台は3次元6自由度のもので, 加振最大加速度は $\pm 1.5g$, 可動最大変位は水平 $\pm 20cm$, 上下 $\pm 10cm$, 台の大きさは $4 \times 4m$ である。台の加速度, 速度は台上に取り付けたフォースバランス型の加速度計, 速度計を用い, 変位は振動台制御用の差動トランス型変位計を用いて, 振動台の計測システム(12bit)で収録した。強震計の加速度出力は固有の記録装置で記録した。

加振は, (a)長周期成分を有する人工地震波1波6ケース, (b)ホワイトノイズ1波2ケース, (c)3成分同時入力の地震波2種等を含めて計23ケース行った。振動台は変位波形の精度を確保するため, 変位制御で駆動した。

SAMTAC-17は, 零線変動を防ぐためのハイパスフィルターを有しているため, 公称周波数範囲は $0.1 \sim 30Hz$ になっている。また, AD変換器の分解能が16bitで, 試験に用いた計器のフルスケールを, $655 cm/s^2$ に設定してあるから, 公称測定範囲は $0.02 \sim 655 cm/s^2$ である。

3. 強震計のノイズ

電流検出用のコイルをショートさせ, 電氣的に振子の動きを止めて, 主としてAD変換器から発生するノイズを記録した。1秒間のノイズ波形を図-1に示すが, 分解能が高いため2-3ビットのノイズが見られる。ノイズのフーリエスペクトルを図-2に示す。図は, 原記録を40.96秒の区間12個に分割して, フーリエスペクトルのアンサンブル平均をとったものである。短周期側では, 平均的には平坦であるが, $0.1Hz$ 以下の低振動数で振幅が増加する傾向がわかる。デジタル強震計に内蔵されている一般電子部品のノイズは発生原因により, ホワイトノイズ, f^{-1} ノイズ等があることが知られているが³⁾, 図を見ると, ノイズの傾きは f^{-1} よりは緩やかに見える。参考のために, 図中に破線で $f^{-0.5}$ の勾配を示した。

4. 人工地震波による長周期帯域の信頼性評価

周期約0.4秒から15秒にわたって速度応答スペクトル($h=5\%$)が平坦な, やや長周期成分を含んだ継続時間約200秒の模擬地震波を作成し, 加振の最大振幅を目標値15, 10, 5, 2.5, 1.0, 0.5cmの6通りに変えて, 振動試験を行った。図-3に加振波形を示す。伝達関数は振動台に取り付けた変位計の記録を基準として求めた。図-4に最大振幅15cmとした時の強震計記録のフーリエスペクトルを無入力時のノイズスペクトル(図-2)の継続時間を補正したものとともに示す。加振波形に対応して,

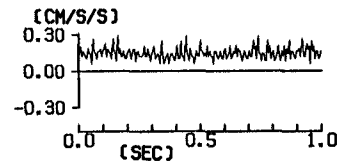


図-1 無入力時のノイズ波形

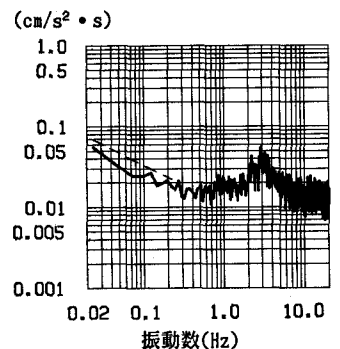


図-2 ノイズのフーリエスペクトル

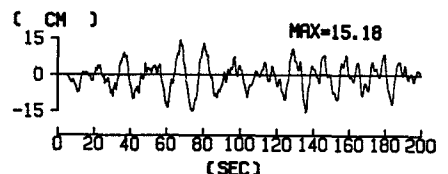


図-3 加振変位波形

15秒程度までスペクトルは平坦である。しかしながら, 本来成分を有さない15秒より長い周期でのレベルも高く, 無入力時のスペクトルとの差は大きい。このことは, 強震計作動時のノイズが, 無入力時のノイズと

異なっている可能性があることを示している。

次に、振動台に取り付けた変位計の記録を基準として、強震計記録との伝達関数を求め、その後に、変位に換算した伝達関数を求めてみた。最大振幅15cmと0.5cmの時の結果を図-5に示す。但し、加振波形のスペクトルで相対的に振幅が小さい周期成分を除外するために、対象周期帯域を2～15秒に限った。最大振幅が15cmの時は振幅、位相ともよい一致を示しているが、最大振幅0.5cmでは振幅、位相とも変動が激しい。各加振ケースについて、周期2秒から10秒までの振幅、位相の標準偏差を求め、加振振幅との関係をまとめると表1のようになり、振動台振幅1cm以下では変動幅が大きくなる。

加振最大変位15cmと2.5cmの時の加速度記録を、線形加速度法で積分して変位成分を求めてみた。カットオフ周期10秒、ロールオフ周期を20秒とした、再帰型のバターワースフィルターをかけて、同様の処理をした振動台変位と重ね書きをしたものが図-6である。伝達関数で表されるように、 $D_{max}=15$ cmでは全く一致し、 $D_{max}=2.5$ cmでもその一致の度合いは高い。

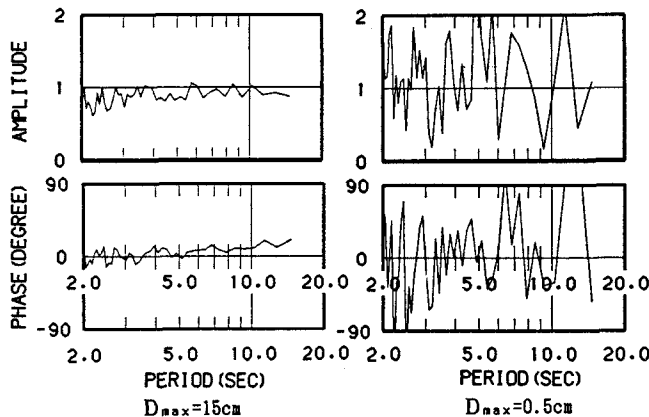


図-5 振動台変位と強震計記録から換算した変位成分の伝達関数

表-1 振動台最大変位と伝達関数の標準偏差

振動台変位(cm)	15.0	10.0	5.0	2.5	1.0	0.5
標準偏差(振幅)	0.11	0.11	0.14	0.17	0.24	0.58
標準偏差(位相)	7.4	7.6	8.4	15.0	22.1	53.6

5. まとめ

デジタル加速度強震計の試験結果は概略以下のとおりである。

- ①AD変換器のノイズスペクトルは、長周期側で振幅が増大する特性をもち、その傾きは $f^{-2.5}$ 程度である。積分変位波形の基線ずれは、この長周期ノイズの影響によると考えられる。
- ②長周期成分を十分に含む模擬地震波による加振結果を、振動台の変位に対する周波数伝達関数で整理した。その結果、加振振幅が1cmより大きければ十分な信頼性があることが分かった。

謝辞 本試験の実施に当り、ご協力を頂いた東京大学地震研究所の工藤一嘉博士および坂上実技官をはじめ、各強震計メーカーの関係各位に感謝いたします。

参考文献 1)建設省土木研究所振動研究室：高密度強震観測用デジタル強震計の記録精度に関する実験的研究，土木研究所資料，No.2019，1973.8. 2)山田善一，野田茂，岡市明大：加振実験による長周期帯域での各種地震計記録の評価，構造工学論文集A，Vol.34，1988.3. 3)山田善一，野田茂，伊津野和行，土井弘次：カルマンフィルター法によるデジタル式強震計記録の補正の試み，構造工学論文集A，Vol.35，1989.3.

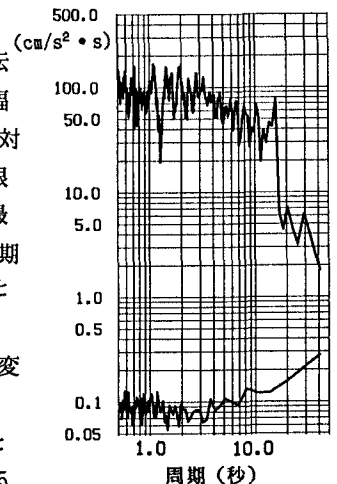


図-4 人工地震波加振時の強震計記録のフーリエスペクトルとノイズのフーリエスペクトル

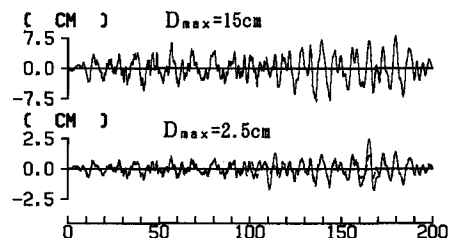


図-6 強震計記録から積分して求めた変位波形