

(1) SMA C型強震計記録の数値化精度

建設省土木研究所 正会員 川島一彦
 ○建設省土木研究所 正会員 相沢 興

1. まえがき

近年、地震動の解析および設計手法の高度化に伴い、地震動に関する情報を提供している強震記録自体の精度に対する関心が高まってきた。強震記録の精度に関する既往の研究成果によれば、現在、広く用いられているSMA C型強震計記録の精度は、記録を数値化する際の読取誤差に影響されることが指摘されている。本小文は、模擬的に作成した地震動波形を用いて、SMA C型強震計記録の数値化精度を検討し、記録の実用上の適用範囲を推定する手法を検討した結果を報告するものである。

2. 数値化誤差

地震動波形を数値化する際に混入する誤差を、人為的な誤差、機械的な誤差および記録紙の変形による誤差等に分類すれば、表1のようになる。また、これらは、数値化のたびにランダムに発生する誤差と系統的に発生する誤差とに大別することができる。ここでは、このような系統的な誤差とランダムな誤差を個別に評価するために、同一の波形を同一の様式で複数

表1 数値化時の誤差の原因

分類	原因	摘要
人為誤差	a) 単純な読取りミス	目視による原波形との重ね合わせにより検知可能
	b) 波形の視準位置	波形の線が太い箇所などで読取るかによる誤差
	c) 読取間隔	読取間隔の粗密による誤差
機械誤差	a) 機械の分解能	最小分解能による誤差(公称値は25/100mm以下)
	b) 機械の故障	読取時あるいは点検時に検知可能
記録紙の変形	a) 記録紙のゆがみ	温度・湿度の変化に伴う記録紙の伸縮による誤差

3. 検討方法

SMA C型強震計記録はアナログ量であるため、読取の対象とする記録(以下、原記録と呼ぶ)とこれを読取った記録(以下、読取記録と呼ぶ)とを直接比較することができない。そこで、ここでは当所の標準数値化システムにより、既に数値化されている記録を、最小分解能1/100mmのデジタルプロッターにより、太さ0.3mmのボールペンをを用いてマイラー紙上に書き、これを読取対象の記録(以下、模擬波形と呼ぶ)と考えることにした。模擬波形はSMA C-B2型強震計を想定し、時間軸および加速度軸をそれぞれ1cm = 1sec、1mm = 12.5galとした。ただし、記録ペンの描く円弧については考慮していない。

検討に用いた記録は、表1および図1に示す種類の地震波であり、これらは、いずれもSMA C-B2型強震計により記録されたものである。ここで、開北橋の記録は0.35秒付近に卓越する周期成分を持っているのに対し、伊達橋および新石狩大橋の記録は0.7~0.9秒付近で卓越している。これらの記録をもとにして最大加速度 A_{max} を50、150、300galの3通りに変化させ、合計9種類(3地震波×3加速度)の模擬波形を作成した。上記2.の観点から、加速度を3通りに変化させた同一地震波の模擬波形を同一の読取人に割当て、当所の標準数値化システムにより、それぞれ5回ずつの読取りを行なった。ここで、同一の模擬波形を5回読取った読取記録は、相互に目視により検討した程度では差異は認められない。一例として、伊達橋の300galの1回目読取波形を図2に示す。

このようにして得られた5回の読取記録と原記録(模擬波形)をもとに、それぞれの加速度応答スペクトルSA($\xi=0.05$)を計算し、両者の比(以下、応答スペクトル比 R_i と呼ぶ)を次式で定義し、これを読取精度の指標とした。

表2 検討に用いた地震動波形

No	記録場所	記録地震	記録の最大加速度	卓越周期(秒)
1	開北橋(地盤上、Tz成分)	1978.6.12(宮城県沖地震)	328.70gal	0.35、0.14~1.0
2	伊達橋(橋脚上、Tz成分)	"	320.33gal	0.8、0.18~1.4
3	新石狩大橋(地盤上、Ew成分)	1968.5.16(十勝沖地震)	170.88gal	0.85、0.45~1.4

注1) — は最も卓越した周期を示す

$$R_i = SA_i / SA^* \quad (i = 1, 2, \dots, 5) \quad (1)$$

ここで、 SA_i および SA^* は、それぞれ*i*回目の読取記録から求めた加速度応答スペクトル、および模擬波形の加速度応答スペクトルである。式(1)による応答スペクトル比をもとに9種類の模擬波形について、それぞれ、 R_i ($i=1\sim 5$)の平均値 \bar{R} 、標準偏差 σ_R および変動係数 λ_R を求めた結果を図3~5に示す。また、最大加速度で除した模擬波形のフーリエ係数 F/A_{max} を示すと図6のようになる。

4. 読取精度

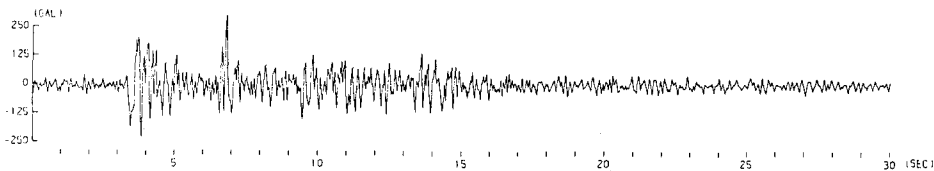
図3~6の結果をもとに読取精度を検討すると以下のようになる。

i) 応答スペクトル比の平均値 \bar{R} は、表2に示す地震波のいずれの場合も全体として1.0に近く、読取記録は原波形(模擬波形)の特徴をよく再現している。しかしながら、 \bar{R} を周期領域において評価すれば、長周期および短周期の領域において \bar{R} は1.0から変動する傾向がある。また、全体として A_{max} による \bar{R} の系統的な差異は顕著には認められない。

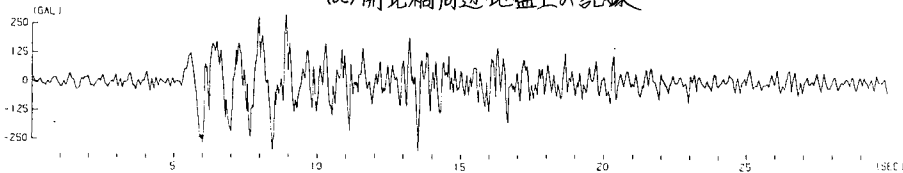
ii) 応答スペクトル比の標準偏差 σ_R の全体としての傾向は上記 \bar{R} の場合とよく似ており、周期約0.5~1秒の範囲から長周期および短周期の領域になるに従って σ_R は大きくなる傾向がある。

iii) 全体的な読取誤差を応答スペクトル比の変動係数 λ_R により評価すると、 \bar{R} が周期領域においてそれ程大きな変化を示していないため、結果的に、 λ_R は σ_R と相似した傾向を示している。

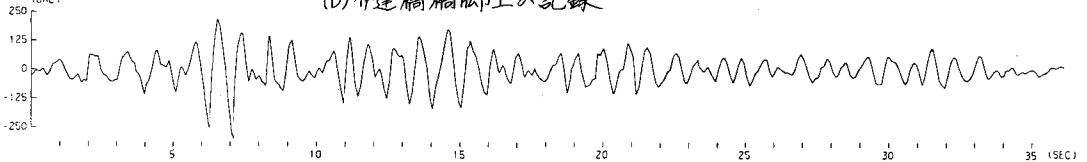
iv) 変動係数 λ_R と最大加速度で除したフーリエ係数 F/A_{max} を比較すると、両者の間にはほぼ等しいと相関が認められる。図5および図6から同一周期に対応する λ_R と F/A_{max} との関係をプロットした一例(伊達橋の場合)を図7に示す。これより、 λ_R で表わされる読取誤差は、原波形に含まれる周期特性に支配されていることがわかる。



(a) 開北橋周辺地盤上の記録



(b) 伊達橋橋脚上の記録



(c) 新石狩大橋周辺地盤上の記録

図7. 検討に用いた地震動波形

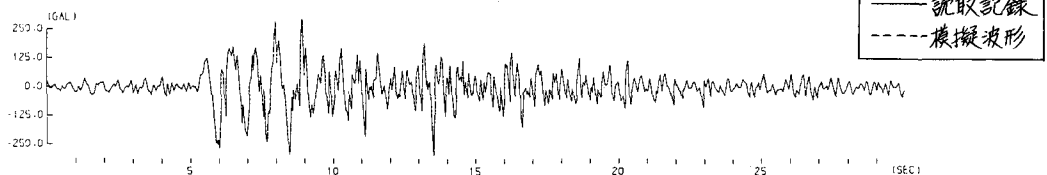
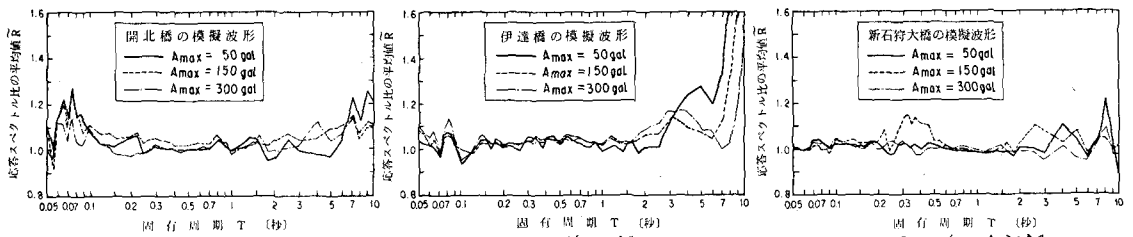


図2 読取波形の一例(伊達橋模擬波形300gal/回目読取の場合)

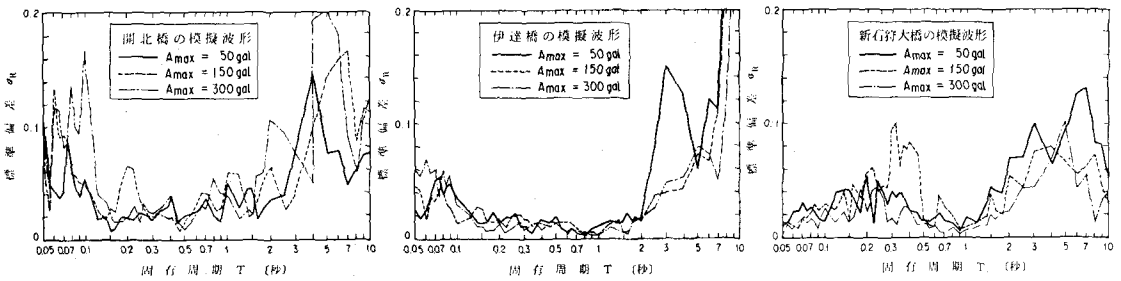


(i) 開北橋記録

(ii) 伊達橋記録

(iii) 新石狩大橋記録

図3 加速度応答スペクトル比の平均値 \bar{R}

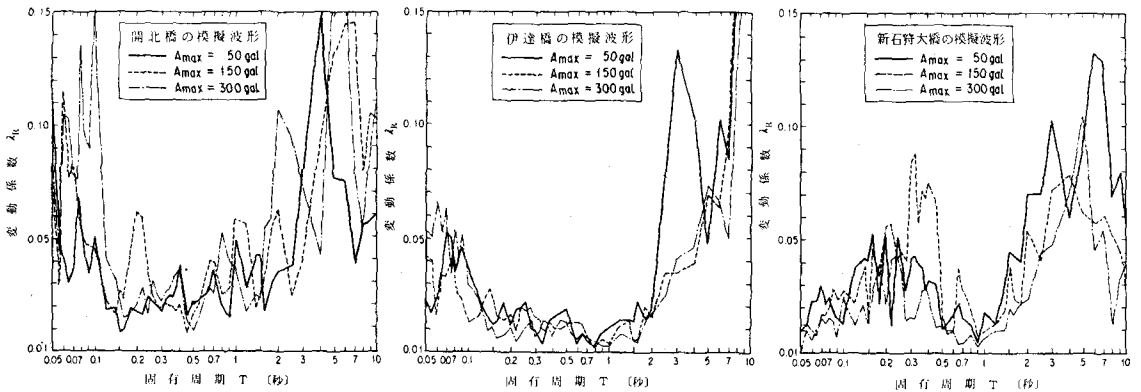


(i) 開北橋記録

(ii) 伊達橋記録

(iii) 新石狩大橋記録

図4 加速度応答スペクトル比の標準偏差 σ_R

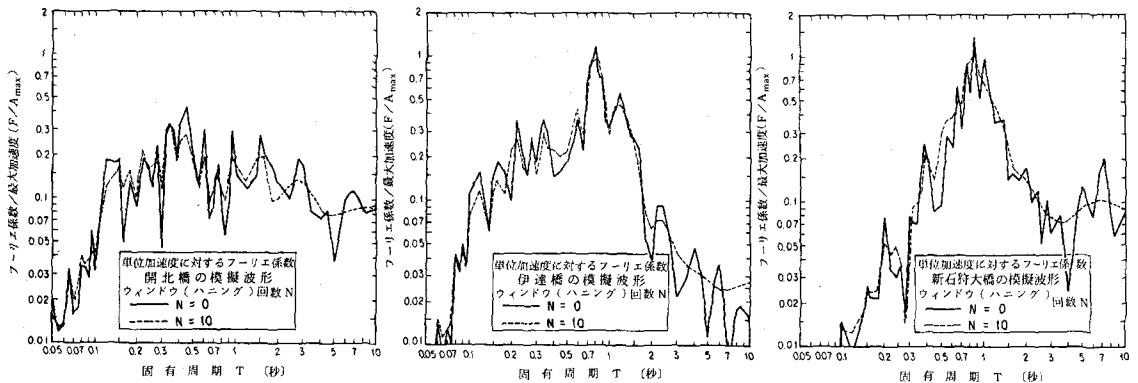


(i) 開北橋記録

(ii) 伊達橋記録

(iii) 新石狩大橋記録

図5 加速度応答スペクトル比の変動係数 λ_R



(i) 開北橋記録

(ii) 伊達橋記録

(iii) 新石狩大橋記録

図6 最大加速度で除いたフーリエ係数 F/A_{max}

1) 変動係数 λ_R と最大加速度で除したフーリエ係数 F/A_{max} の関係を次式で仮定し、

$$\log_{10}(F/A_{max}) = a \cdot \log_{10} \lambda_R + b \quad (2)$$

未定係数 a, b を最小2乗法により定めると、 a, b はそれぞれ表すようになる。ここで、全体のデータから定数 a, b を求めると式(2)は次式のようになる(図8参照)。

$$\log_{10}(F/A_{max}) = -0.61 \cdot \log_{10} \lambda_R - 1.84 \quad (3)$$

このようにして、 λ_R で表わした読取精度と F/A_{max} で表わした波形特性との関係が求まれば、所要の読取精度を決めることにより、対応する F/A_{max} の値を知り、その値が確保される周期範囲から所期の読取精度を満足する周期範囲を定めることができる。例えば、式(3)を用いて、 λ_R が5%、10%、20%に対応する読取可能な周期範囲を求めると、表4のようになる。ここで、10%程度の変動係数は許容できるものと思えば、今回検討した3地震波に対しては、おおむね0.2~3秒の範囲の周期成分が、一応、信頼できる周期範囲と考えることができる。

5. まとめ

(1) 読取精度を式(1)で定義した応答スペクトル比により周期領域で評価すると、全体として0.2~3秒程度の周期範囲では読取精度は良好であり、これより長周期および短周期になるに従って精度が低下する傾向がある。これは、原記録に含まれる周期成分の割合によるものと考えられる。

(2) 変動係数で表わした読取精度と最大加速度で除したフーリエ係数の間には、図8に示すような相関関係がある。このような関係が、一般のS/MAC型強震計記録に対して適用可能であると思えば、所期の読取精度を定めることにより、記録の実用上の適用範囲が推定できる。

参考文献

- 1) 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, 昭和56年5月。
- 2) 川島他: S/MAC型強震計記録の.....、第7回関東支部年次学術講演会, 昭和55年1月。
- 3) 大崎順彦: 地震動のスペクトル解析入門

表3 F/A_{max} と λ_R の関係と与える定数

読取記録	a	b
開北橋記録	-0.36	-1.40
伊達橋記録	-0.84	-2.58
新石狩大橋記録	-0.80	-2.09
全体	-0.61	-1.84

表4 変動係数とこれに対応する読取可能な周期範囲(秒)

読取記録	$\lambda_R = 5\%$	$\lambda_R = 10\%$	$\lambda_R = 20\%$
開北橋記録	0.12~3.5	0.11~4.8	0.09~5
伊達橋記録	0.12~1.8	0.1~2.5	0.09~3
新石狩大橋記録	0.35~2.5	0.3~3.5	0.18~4

注) λ_R : 変動係数

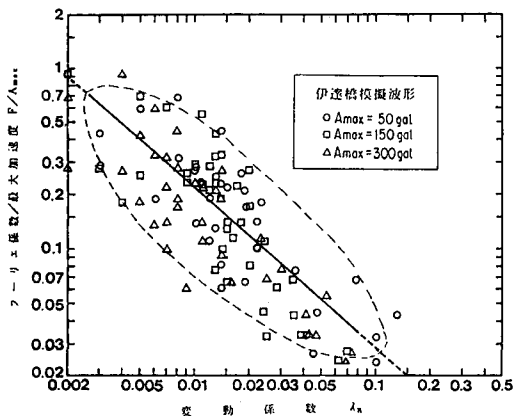


図7 F/A_{max} と λ_R の関係の一例(伊達橋の場合)

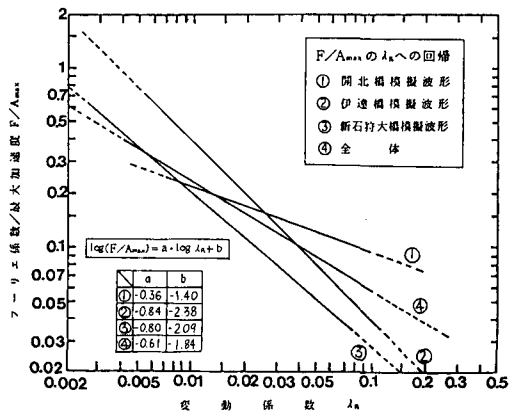


図8 F/A_{max} と λ_R の関係