

I-24 厚岸大橋地盤における震害記録の補正について

北 大 正 員 芳 村 仁
菅 高 専 正 員 〇 中 辻 隆

1. まえがき 昭和47年以来、厚岸大橋の地表および地盤中にそれぞれ SMAC-E 型と動電型の地震計が設置され強震観測が続けられている。構造物の動的解析において、速度あるいは変位量が必要とされる場合、数値化された加速度記録をそのまま積分しただけでは計算された速度あるいは変位は発散してしまう事が多い。これは主に 地震計自体の振動数特性と、記録された波形を数値化する過程において含まれる各種の誤差にその因を有していると言われている。

誤差の原因分析とその除去手法については、すでに多くの研究がなされ、その原因が、高低振動数領域における地震計の感度の低下と数値化するための記録紙上の固定線(基線)の蛇行とにある事が指摘されている。そしてその補正手法として所要の固定線補正や計器特性補正等の補正により、も除去出来ない誤差を振動数領域におけるフィルターを用いて取り除く事を提案しているものが多い。

厚岸大橋で観測された加速度記録の補正にあたり、

(1)設置されている地震計が我が国で最も普及している SMAC-B₂ 型ではなく、SMAC-E 型と動電型である事(これまでに報告されている補正に関する研究は SMAC-B₂ 型を対象としているものが多い。)

(2)記録方式が直接記録紙上にペン書きされるのではなく、平坦なスクラッチフィルム上に記録された後マイラー上に引伸ばされている事から、必要とされる補正項目と設定されるフィルターについて検討されるべきでない。

補正された加速度記録から得られた速度、変位波形の妥当性については未だその判定基準は確立していないが一つの試みとして 2 波の重複反射理論から計算された速度、変位量との比較結果も併せて報告される。

2. 地震計の振動数特性

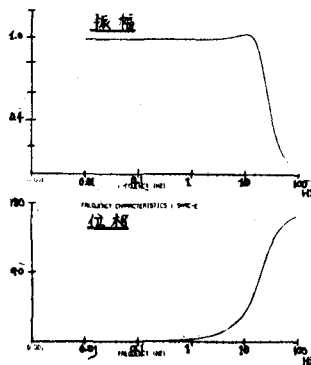
地震計は 地表に SMAC-E 型、地中-25M、-47M、そして-68M に動電型の各地震計が設置されている。

図-10は SMAC-E 型の振幅および位相の振動数特性曲線である。振幅特性曲線がおおよそ 0~20 Hz まで平坦であり、我が国で広く普及している SMAC-B₂ 型に比し高振動数での感度がすぐれている。

図-11は動電型地震計の特性曲線である。0.2~0.3 Hz までかなりの感度の低下が見られる。これは固有振動数あるいは減衰定数の作動時における設計仕様の誤差と相乗し積分の結果に大きな影響を与えていると思われる。

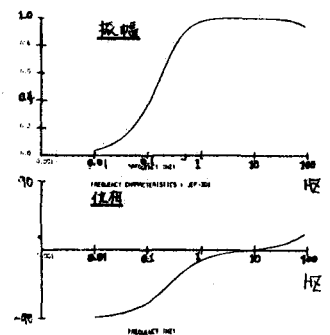
3. 波形記録の数値化

波形記録は震動時にスクラッチフィ



形 式	振 子
成分数	3 (水平, 鉛直)
固有振動数	20 Hz
減衰定数	0.6 (空気減衰)
加速感度	74mm/s ² 5mm/500gal

図-10) SMAC-E 型の特性曲線と仕様



形 式	動 電 型
成分数	2 (水平)
固有振動数	7.5 Hz
減衰定数	15
加速感度	200 mV/gal

図-11) 動電型の特性曲線と仕様

フィルム上にダイヤモンド針を用いて記録される。フィルム上には5本の記録がガガれる。一番上が、各地震記録の基準線設定のための固定線であり、一番下が引伸ばし不整による誤差を補正するためのタイムマーク(刻時)記録であり、中の3本が地震記録である。フィルム上の記録はマイラー上に8倍に拡大された後、座標読取装置を用いて0.01秒あるいは0.02秒間隔で数値化される。

4. 補正手順

図2は採用した補正項目と変位量を得るまでの過程である。補正項目としては、固定線補正、引伸ばし補正そして計器特性補正を主体とし、その他の誤差は周波数領域におけるバンドパスフィルターを用いて遮断するものとした。またスクラッチフィルム上のペンアームの円弧運動は十分小さいものと考え、円弧補正は行なわないものとした。

(1)固定線補正 マイラー上の記録波形は、作動時のフィルムの送りむら、または引伸ばしの不整などによりその基準となるべき時間軸が蛇行している。本補正はこの蛇行を取り除くためのものである。フィルム最上段に記録されている固定線の蛇行が表記録の蛇行と同一であると仮定し各波形記録の値から固定線の値を減じ補正を行っている。図-3は数値化された固定線のフーリエスペクトルの一例である。固定線に0.2~0.3Hz(3~5秒)の蛇行が生じている事を示している。

(2)引伸ばし補正 光学装置を用いてフィルム上の数値をマイラー上に拡大する時に時間軸方向に生じる拡大率の差異を補正し、さらに、座標読取装置の読取単位が0.01秒(又は0.02秒)に合致しない場合に数値化の時間刻みを正しく0.01秒(又は0.02秒)にするための補正である。前者では、数値化された各タイムマーク間の拡大率が一定の割合で変化すると仮定し補正を行なうが、拡大率の差異が十分小さく積分に与える影響が小さいと判断される時には本補正は行なわないものとする。数値化の時間刻みの修正は各マーク間を線形に補間して行なわれる。

(3)計器特性補正 地震計はそれぞれの振動数特性を有しているもので、記録される加速度記録は地盤の加速度とは異なる。各地震計の振動数特性に応じて記録加速度を補正する。補正は振動数領域で行なわれる。即ち、

$$\bar{X}(f) = \left[1 - \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 + 2\zeta \left(\frac{f}{f_0} \right) i \right] X(f) \quad \text{SHAG-E型}$$

$$\bar{X}(f) = \left[1 + \frac{\zeta}{2\zeta_0} \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \right] X(f) \quad \text{動電型}$$

f_0 : 固有振動数 ζ : 減衰定数

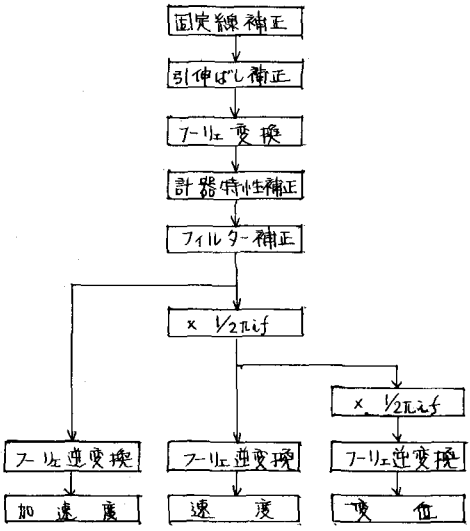


図-2 補正手順

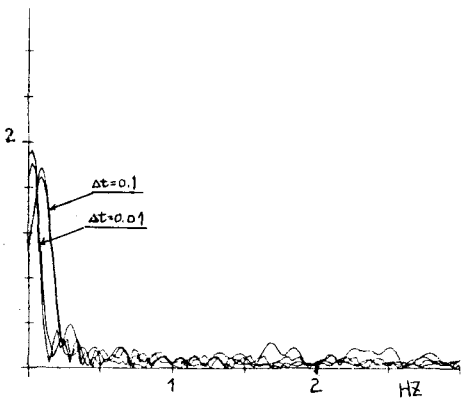


図-3 固定線のフーリエスペクトル (5475.11 地中記録)

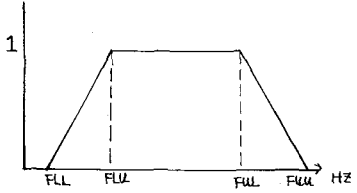
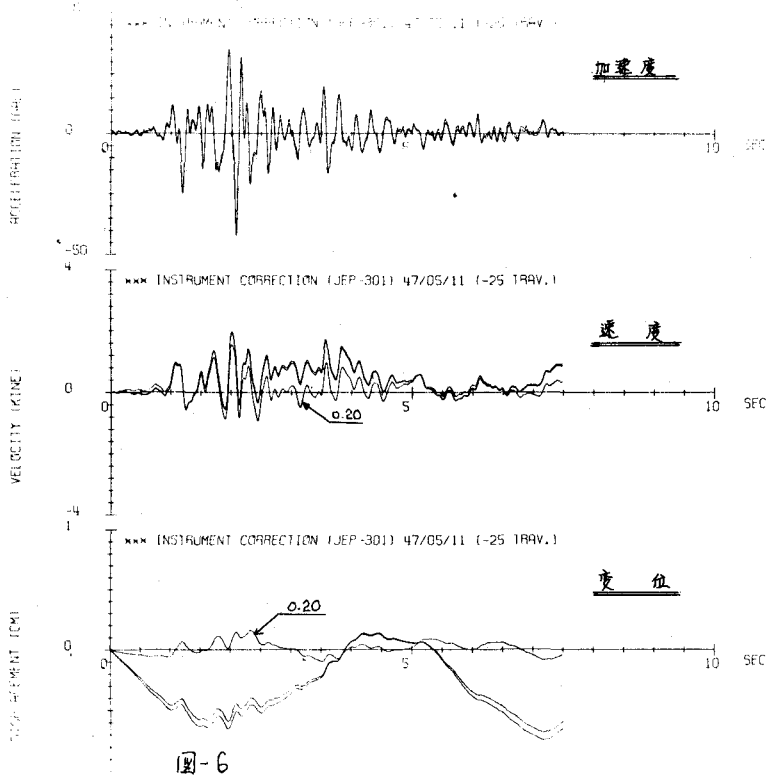
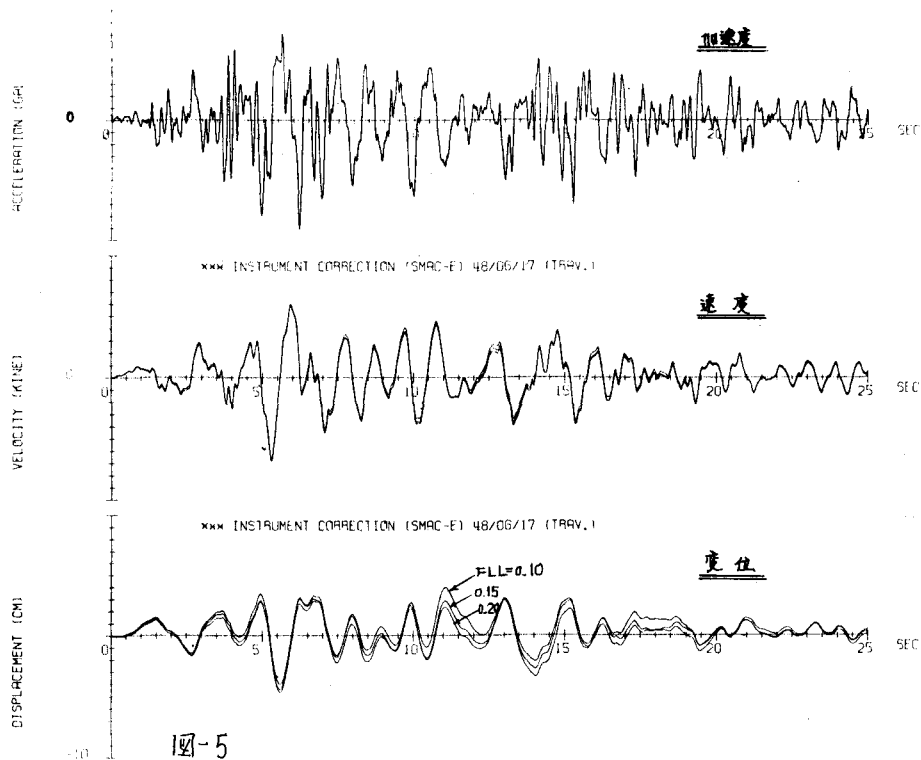


図-4 バンドパスフィルター



(4) フィルター補正 数値化された波形記録には、数値化の時の読取誤差が数値化それ自体による誤差等々以上に述べた補正だけでは取り除く事の出来ない誤差を含んでいる。これらの誤差に対処するために振動数領域において両端の高、低振動数成分をしゃ断するバンドパスフィルターが設定される。ここで用いるフィルターは両端での Gibbs 現象を抑えるために、図-4に示す様な台形とした。ここでは文献(5)を参考にして、 $F_{LH}=F_{LL}$ とし、 $F_{LH}=10$, $F_{LL}=15$ として FLL の値のみを 0.10, 0.15, そして 0.20 と変えた時の速度、変位波形を求めた。図-5は SMAC-E 型の記録からの補正後の加速度とそこに積分された後の速度と変位曲線の例である。同様に図-6は動電型からのものである。

いくつかの波形記録を解析した結果、加速度記録においてはフィルターの影響をほとんどうけない事、さらに動電型の記録においては、フィルターがその積分結果に与える影響を与える事がわかった。図-6の変位波形では、そのフーリエスペクトルにおいて強い卓越を示す 0.195 Hz 成分のしゃ断の有無が結果に大きな差異を生じさせている。この 0.195 Hz 成分は図-6の例に限らず深さの異なる地点での記録や他の記録においても強い卓越を示している。これは図-10の特性曲線に見られる様に、積分による影響を与える低振動数領域における感度の低下と実際の地震計の作動時の為、その値が設計仕様と誤差を生じている事によるものと思われる。

表-1は いくつかの記録について、しゃ断周波数 FLL の値を変えた時の積分された結果の範囲と波形としての適否(目視判断)をまとめたものである。

表-1は いくつかの記録について、しゃ断周波数 FLL の値を変えた時の積分された結果の範囲と波形としての適否(目視判断)をまとめたものである。

図-7は 地中-68M の地点で観測された加速度記録を入射波として S 波の重複反射理論を用いて計算された地中-25M 地点の速度、変位波形と実際の観測記録から計算された速度、変位波形との比較である。

以上の結果から、SMAC-E 型については $F_{LL}=0.10$ Hz、動電型については $F_{LL}=0.20$ Hz のフィルターを用いる事によりほぼ妥当な積分波形を得る事が出来ると思われる。

5. あとがき 現在最も広く行なわれている手法にならう、厚岸大橋に設置されている地震計から得られた記録の補正を行ない一応の速度あるいは変位波形を求める事が出来た。しかしながら、記録波形の中にはあらゆる振動数成分にわたって誤差が含まれており、得られた結果の評価は今後に残されている。地震計の特性値の仕様からのずれによる影響度合の評価あるいはしゃ断周波数の大きさを地震表それ自体の持つ周波数特性から判断する事なども今後の検討課題である。

参考文献

- (1) 井合・倉田・土田; 強震記録のデジタル化と補正, 港研資料 N0286, 1978年3月
- (2) 後藤・亀田・杉浦・今田; デジタルフィルターによる SMAC-B2 加速度計記録の補正について, 工学論文報告集第277号, 1978年9月
- (3) D. Trifunac; A Note on Correction of Strong Motion Accelerograms for Instrument Response; Bull. of Seism. Soc. of Amer., Vol. 62, 1972
- (4) D. Trifunac; Zero Baseline Correction of Strong Motion Accelerograms; Bull. of Seism. Soc. of Amer., Vol. 61, 1971
- (5) D. Trifunac, et al; Analysis of Errors in Digitized Strong Motion Accelerograms; Bull. of Seism. Soc. of Amer., Vol. 63, 1973
- (6) 大崎順彦; 地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 1976年

		FLL	0.10		0.15		0.20	
地表 (S98.6.17)	速度	-20.4~17.6	0	-20.2~18.1	0	-20.5~17.9	0	
	変位	-4.0~4.0	0	-4.4~3.3	0	-4.7~3.0	0	
-25M (S97.5.11)	速度	-0.6~1.8	0	-0.6~1.8	0	-0.9~1.6	0	
	変位	-0.38~0.13	Δ	-0.35~0.12	Δ	-0.09~0.14	0	
-67M (S97.5.11)	速度	-0.7~2.1	0	-0.7~2.1	0	-0.7~1.8	0	
	変位	-0.34~0.18	Δ	-0.31~0.18	Δ	-0.10~0.17	0	
-68M (S97.5.11)	速度	-0.1~1.6	0	-0.1~1.5	0	-0.4~1.2	0	
	変位	-0.56~0.13	Δ	-0.52~0.12	Δ	-0.08~0.17	0	

表-1 しゃ断周波数の積分結果への影響

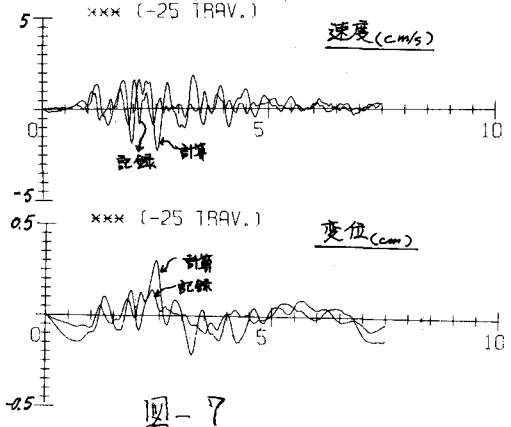


図-7