

I-638

周波数領域での相乗平均を用いた地震波形の内挿方法

埼玉大学工学部 学生員 佐藤誠一
 埼玉大学工学部 正会員 川上英二
 埼玉大学工学部 正会員 茂木秀則
 埼玉大学工学部 内山浩史

1. 序文

トンネル、パイプライン、地中埋設管路等の地震波動の伝播に伴う動的応答解析、耐震設計を行う場合、まず、管路・地盤・基盤を力学的にモデル化し、地盤または基盤における地震動を入力する必要がある。地盤または基盤からの地震入力、管路に沿った各点で与える必要があり、この各点での入力の時刻歴を、つまり、時間及び空間の関数としての地震波形を、どのように想定するかは、管路の応答に支配的な影響を及ぼすため重要な問題である。筆者らは、これまでに本問題をクロススペクトルを満足する条件付きシミュレーションの問題と位置付けいくつかの手法を提案している。⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾

本研究では、クロススペクトルを想定せず、波形を単に内挿するという立場から、2地点で観測された地震波のデータをFFTによって解析し、内挿波形の算出、検討を行った。なお、本研究で用いた観測記録は、東京大学生産技術研究所千葉実験所に設置されている加速度計で記録された、1987年12月17日の千葉県東方沖地震のデータである。

2. フーリエ変換を用いる内挿方法

観測点0,1の波形データを $f_0(t)$, $f_1(t)$ とする。ここで、波形 $f_0(t)$, $f_1(t)$ のフーリエ変換は次式で表される。

$$\begin{aligned} C_0(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f_0(t) \exp(-i\omega t) d\omega \equiv |C_0(\omega)| \exp\{i\phi_0(\omega)\} \\ C_1(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t) \exp(-i\omega t) d\omega \equiv |C_1(\omega)| \exp\{i\phi_1(\omega)\} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $\phi_0(\omega)$, $\phi_1(\omega)$ は複素フーリエ係数の偏角である。

この $C_0(\omega)$, $C_1(\omega)$ の重み付き相乗平均をとることで内挿を行う。観測点間の距離を1とした場合の、観測点0から距離 x ($0 \leq x \leq 1$)の地点での内挿波形を次式のように表す。

$$\begin{aligned} f_x(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} \{C_0(\omega)\}^{1-x} \{C_1(\omega)\}^x \exp(i\omega t) d\omega \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} |C_0(\omega)|^{1-x} |C_1(\omega)|^x \exp\{[i\phi_0(\omega) + ix\{\phi_1(\omega) - \phi_0(\omega)\}]\} \exp(i\omega t) d\omega \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)から、位置 x における振幅 $|C_x(\omega)|$ 、位相 $\phi_x(\omega)$ はそれぞれ、

$$\begin{aligned} |C_x(\omega)| &= |C_0(\omega)|^{1-x} |C_1(\omega)|^x \\ \phi_x(\omega) &= \phi_0(\omega) + x\{\phi_1(\omega) - \phi_0(\omega)\} \end{aligned} \quad (3)$$

と表され、振幅は重み付き相乗平均、位相は重み付き相加平均で与えられることがわかる。

3. 位相差を求めるための手法

式(1)より、 $\phi_1(\omega) - \phi_0(\omega)$ を求める場合、三角関数は 2π の周期性を持っているため、観測波形 $f_0(t)$, $f_1(t)$ だけからは値が一意に定まらない。そこで、波速 c での波の伝播を考え、式(2)を次のように近似する。

$$f_x(t) \sim \int_{-\infty}^{\infty} |C_x(\omega)| \exp\{i[\phi_0(\omega) - x\omega/c]\} \exp(i\omega t) d\omega \quad (4)$$

ここで、式(4)と(2)の位相項を比較すると、

$$\frac{x\omega}{c} \sim \{\phi_0(\omega) - \phi_1(\omega)\}x \quad (5)$$

つまり、 $\phi_0(\omega) - \phi_1(\omega)$ は ω/c を中心とする $\pm\pi$ の間

$$\frac{\omega}{c} - \pi \leq \phi_0(\omega) - \phi_1(\omega) < \frac{\omega}{c} + \pi \quad (6)$$

で一意に算定する。ここで、 c は地表面での見かけの伝播速度であり、これを決めるためには相互相関関数のピーク、または、低振動数での位相差を用いる。

4. 実際の地震波データを用いた解析

提案した方法を実際の地震波のデータに適用しその結果について考える。データは、千葉県東方沖地震(1987)の際、東京大学生産技術研究所千葉実験所でアレー観測されたものを使用した。観測点 0,1 はそれぞれ P6, P2 の観測点を示し、2 点の間隔は約 150m である。また、振動の方向は N-S 方向である。Fig.1 は観測点間を 10 等分し、その各点について内挿波形を算出したものである。図を見ると、波形がなめらかに変化しているおり、妥当な内挿波形が得られていると考えられる。

Fig.2 は Fig.1 で用いた 2 つの観測波形のうち P2(観測点 $x = 1$) のみを 2 秒遅らせて想定し、内挿を算出したものである。波形が変化しながら伝播する様子が認められ、ほぼ妥当な内挿波形が得られている。

5. まとめ

本研究では、2 つの地点での観測波形を用いて、2 地点間の各点での内挿波形を求めることを試みた。そして、

- (1) 周波数領域の複素振幅の重み付き相乗平均を用いる方法を提案した。
- (2) 提案した手法で計算を行い、ほぼ妥当な内挿波形が得られることを示した。

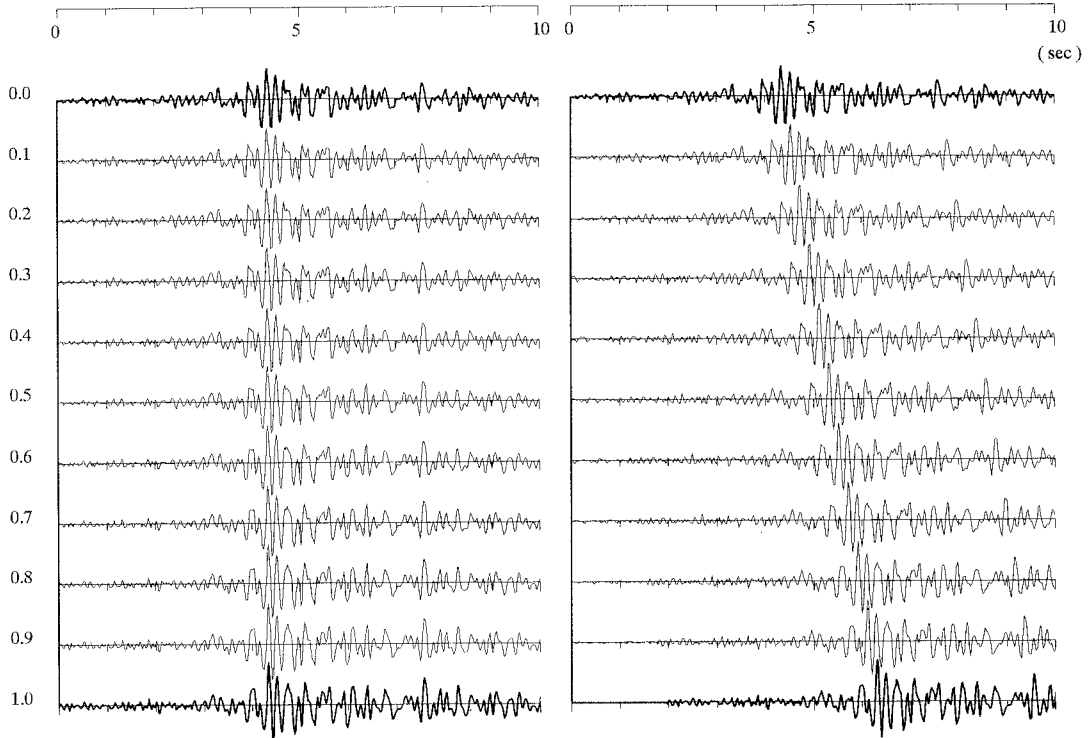


Fig.1 観測波形(太線)と内挿波形(細線)

Fig.2 $x = 1$ の観測波形を 2 秒ずらした場合の内挿波形

謝辞 本研究では、(財)震災予防協会、強震動アレー観測記録データベース推進委員会/作業部会による強震動アレー観測記録(1992年10月)から東京大学生産技術研究所片山研究室提供のデータベースを使用しました。

参考文献

- (1) 川上・土木学会論文集、No.410/1-12,1989
- (2) 川上・小野：土木学会論文集、No.441,1992
- (3) 川上・小野：土木学会論文集、No.489a,1994
- (4) 川上・小野：土木学会論文集、No.489b,1994
- (5) 川上・小野・楊：第9回日本地震工学シンポジウム、1994