

I-B 177

面上に分布する観測点間の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

1. はじめに

トンネル、パイプライン、地中埋設管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づ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、面上の3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、(財)関西地震動観測協議会による福島、弥栄、阿倍野、森河内の速度計で観測された1995年1月17日の兵庫県南部地震のデータである。

2. 周波数領域での重み付き相乗平均を用いた内挿方法

観測点が面上に分布する場合、面を三角形に分割することが可能である。観測点を面上の3点にした場合、既に提案している線上2点の場合⁶⁾とほぼ同様な式展開が可能である。

観測点 n ($n=1,2,3$) の波形データを $f_n(t)$ とする。これらのフーリエ変換 $C_n(\omega)$ は、

$$C_n(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f_n(t) \exp(-i\omega t) dt \equiv |C_n(\omega)| \exp\{i\phi_n(\omega)\} \quad (1)$$

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

この $C_n(\omega)$ の重み付き相乗平均をとることにより内挿を行う。図1で表される位置 x の内挿波形を次式のよう表す。

$$\begin{aligned} f_x(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} C_1(\omega)^{a/M} C_2(\omega)^{b/M} C_3(\omega)^{c/M} \exp(i\omega t) d\omega \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} |C_1(\omega)|^{a/M} |C_2(\omega)|^{b/M} |C_3(\omega)|^{c/M} \exp\{i\phi_1(\omega) + \frac{b}{M}\{i\phi_2(\omega) - i\phi_1(\omega)\} \\ &\quad + \frac{c}{M}\{i\phi_3(\omega) - i\phi_1(\omega)\}\} \exp(i\omega t) d\omega \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、図1に示す通り、 M は全体の三角形の面積を表し、 a, b, c はそれぞれの三角形の面積を示す。これから、位置 x における振幅 $|C_x(\omega)|$ 、位相 $\phi_x(\omega)$ はそれぞれ、

$$|C_x(\omega)| = |C_1(\omega)|^{a/M} |C_2(\omega)|^{b/M} |C_3(\omega)|^{c/M} \quad (3)$$

$$\phi_x(\omega) = \phi_1(\omega) + \frac{b}{M}\{\phi_2(\omega) - \phi_1(\omega)\} + \frac{c}{M}\{\phi_3(\omega) - \phi_1(\omega)\} \quad (4)$$

と表され、面上(3点間)の場合も線上(2点間)の場合と同様に、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. 位相差の算定方法

三角関数は 2π の周期性を持っているため、観測波形 $f_1(t), f_2(t), f_3(t)$ だけでは式(2)の位相差の値が一意に定まらない。ここで、式(2)より各観測点間の位相差のみを求めればよいことから、既に提案している線上2点間での位相差を求める手法を、それぞれの観測点間に適用する。つまり、 $\phi_2(\omega) - \phi_1(\omega)$ は $\omega L_{12}/c_{12}$ を中心と

する $\pm\pi$ の間

$$\frac{\omega L_{12}}{c_{12}} - \pi \leq \phi_2(\omega) - \phi_1(\omega) < \frac{\omega L_{12}}{c_{12}} + \pi \quad (5)$$

で一意に算定する。ここで L_{12} は観測点 1,2 の間の距離を表し、また c_{12} は観測点 1 から 2 の方向への地震波の見かけの伝播速度であり、 $f_1(t)$ と $f_2(t)$ との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て推定する。

4. 実際の地震波への適用例

提案した方法を実際の地震波のデータに適用した。用いたデータは兵庫県南部地震（1995）の際、関西地震動観測協議会によって観測された福島、弥栄、阿倍野、森河内の4点の速度波形である。観測点を図2に示す福島、弥栄、阿倍野の3点とし、森河内の地点の内挿波形を算出し実際に観測された森河内の波形と比較して本手法の妥当性を確かめた。図3の解析結果より、森河内の観測波形と内挿波形の振幅、波の立ち上がり時間、波形が共によく一致することがわかり、妥当な結果が得られていると考えられる。

5. まとめ

本研究では、観測点が面上に分布する場合に対して各地点での内挿波形を求めることを目的とし、

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. 提案した手法を兵庫県南部地震の例に適用し、ほぼ妥当な内挿結果が得られることを示した。

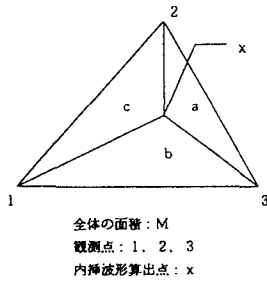


図1 三角形の重みの図

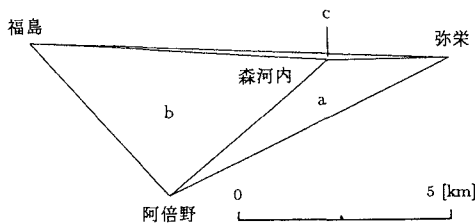


図2 観測点の位置関係

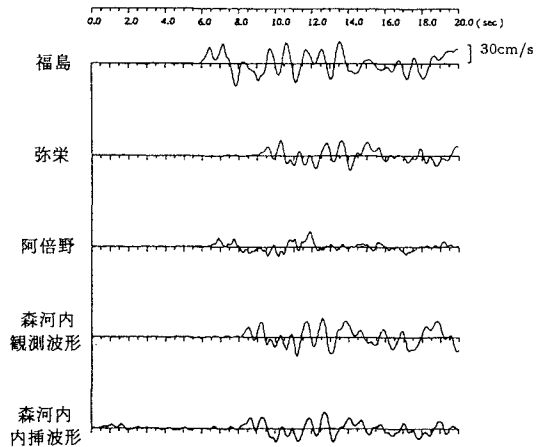


図3 観測波形と内挿波形

謝辞： 本研究では、関西地震動観測研究協議会提供の強震記録のデータベースを使用いたしました。

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 6) 佐藤・川上・茂木：第50回年次学術講演会、1995