

重み付き相乗平均を用いた地震波の内挿方法

埼玉大学 学生会員 ○山地 幸子
 埼玉大学 正会員 川上 英二
 埼玉大学 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・地盤を力学的にモデル化し, 地盤における地震動を入力する必要がある. 地盤からの地震入力は, 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, つまり時間および空間の関数として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¹⁾. そこで本研究では, 2地点の観測波形からこれら2地点を結ぶ線分上にある未観測点での波形を内挿する方法を提案する.

2. 解析方法

地点1, 2を地震波の観測地点, その間の地点3を未観測地点であるとし, 地点1~2間の距離を L , 地点1~3間の距離を x とする. まず地点1, 2の時刻歴波形 $f_j(t)$, ($j=1,2$), のフーリエ変換 $F_j(\omega)$ から振幅 $C_j(\omega)$ と位相 $\phi_j^*(\omega)$ を算出する. 一般に位相 $\phi_j^*(\omega)$ は, 三角関数の 2π の周期性から $-\pi < \phi_j^*(\omega) \leq \pi$ の範囲の値が用いられ, つまり値が一意に決定されず, 内挿には適さない. 本研究で用いる位相は, 3節において一意に決定される値 $\phi_j(\omega)$ を採用するものとする.

次に, 地点1, 2の複素振幅の重み付き相乗平均により内挿点3のそれを求めるが, 複素振幅を振幅 $C_j(\omega)$ と位相 $\phi_j(\omega)$ に分離して考えるとき, 本方法は振幅に関しては重み付き相乗平均(式(1)), また位相に関しては重み付き相加平均(式(2))を求める方法に相当する^{1),2),3)}.

$$C_3(\omega) = C_1(\omega)^{\frac{L-x}{L}} \times C_2(\omega)^{\frac{x}{L}} \quad (1)$$

$$\phi_3(\omega) = \phi_1(\omega) + \frac{x}{L}(\phi_2(\omega) - \phi_1(\omega)) \quad (2)$$

ただし, 本方法をすべての振動数に対して適用すると, 実数で表現された2つの観測波形を内挿した結

果が必ずしも実数で求まるわけではないため, 以下に示す2つの方法を使用する.

- I ナイキスト振動数までの前半部分の振動数成分を内挿し, 後半部分は前半の共役複素数とする.
 - II ナイキスト振動数以降の後半部分の振動数成分を内挿し, 前半部分は後半の共役複素数とする.
- これらを逆フーリエ変換することにより, 内挿点の時刻歴波形を算定することができる.

3. 位相決定方法

位相を一意に決定する方法を二つ提案する. 一つは, 位相の振動数に関する変化率が最小の位相を求める方法である. もう一つは, 群遅延時間を用いて位相を求める方法である. 式(3)のように, 位相の微分値である群遅延時間 $T_{gr}(\omega)$ を複素振幅 $F(\omega) = R(\omega) + iI(\omega)$ から求め⁴⁾, それを式(4)により積分することで一意に位相が算出される. 図1に正負2つのパルス波の時刻歴波形, 群遅延時間, 位相を示す. 何れの方法でも妥当な位相を算出できている.

$$T_{gr}(\omega) = -\frac{d\phi(\omega)}{d\omega} = -\frac{d}{d\omega} \left(\tan^{-1} \frac{I(\omega)}{R(\omega)} \right) \quad (3)$$

$$\phi(\omega) = -\int_0^\omega T_{gr}(\Omega) d\Omega + \phi^*(0) \quad (4)$$

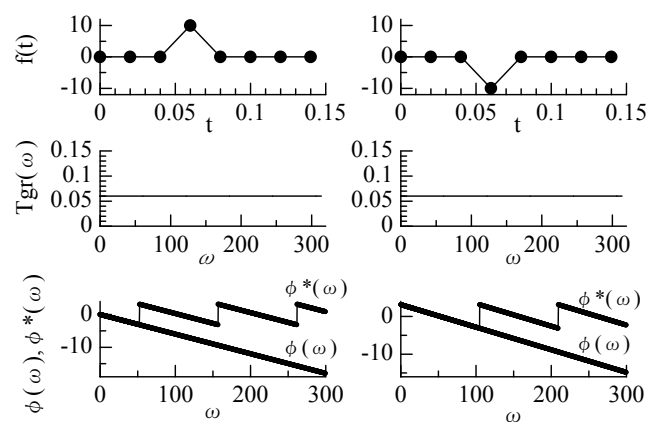


図1 パルス波の群遅延時間と位相

キーワード 地震波形, 内挿, 地盤振動, 位相, 群遅延時間

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市下大久保255 埼玉大学工学部建設工学科 TEL 048-858-3543

4. 内挿例

内挿する振動数範囲が異なる I II の方法で、パルス波と実際の地震波に対し内挿波形の算出を試みる。ここで、 $L=1.0$, $x=0.0, 0.1, 0.2, \dots, 0.9, 1.0$ とする。観測点 1, 2 の波形が正のパルス波の場合、内挿した結果は I II とともに同じ結果が得られている (図 2 (a)). 図 2 (b)(c) はそれぞれ I, II によって計算された正と負の信号をもつパルス波の内挿結果である。図 3(a)(b) は兵庫県南部地震による神戸市ポートアイラ

ンドの地表面と地下 16 m で観測された加速度の EW 成分を内挿した結果である。

5. 結論

本研究では 2 地点での観測波形よりその間の未観測点における波形を内挿することを目的に、振幅スペクトルと位相スペクトルを振動数領域で重み付き相乗相加平均する方法を提案した。そして、本手法をパルス波と地震波形に適用し、伝播を表現するような妥当な内挿結果が得られることを示した。

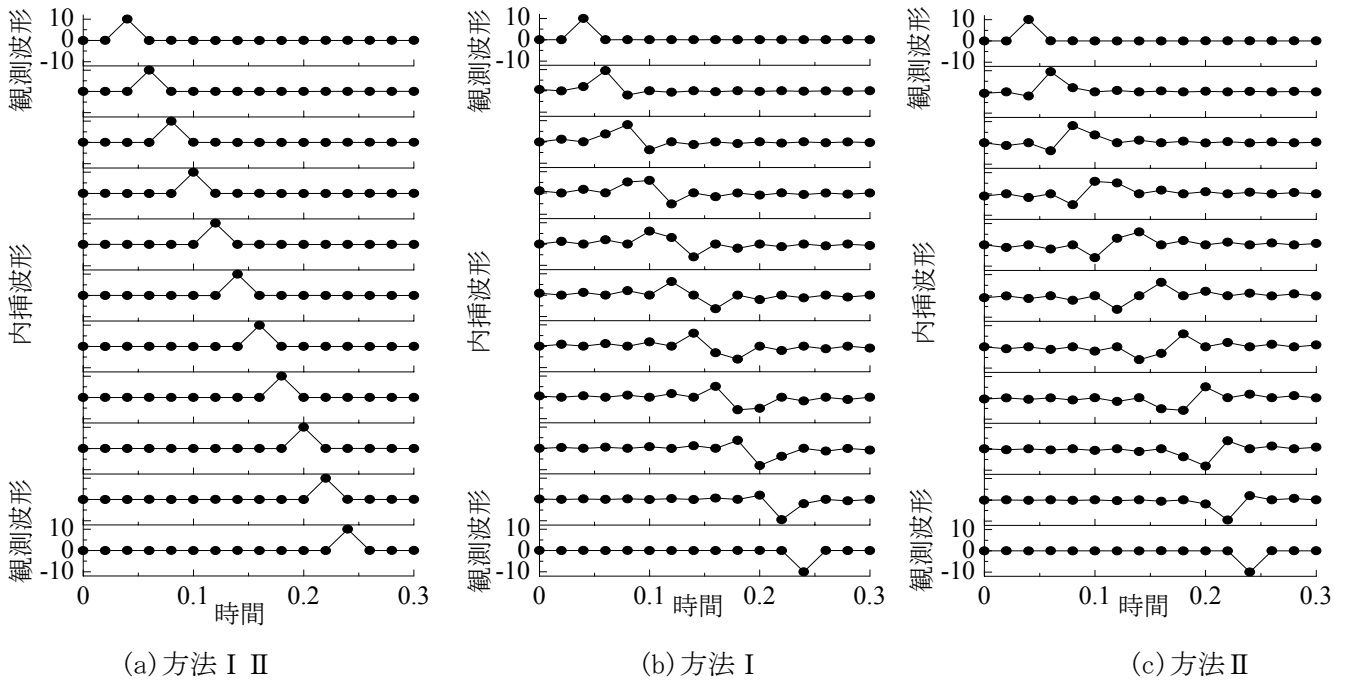
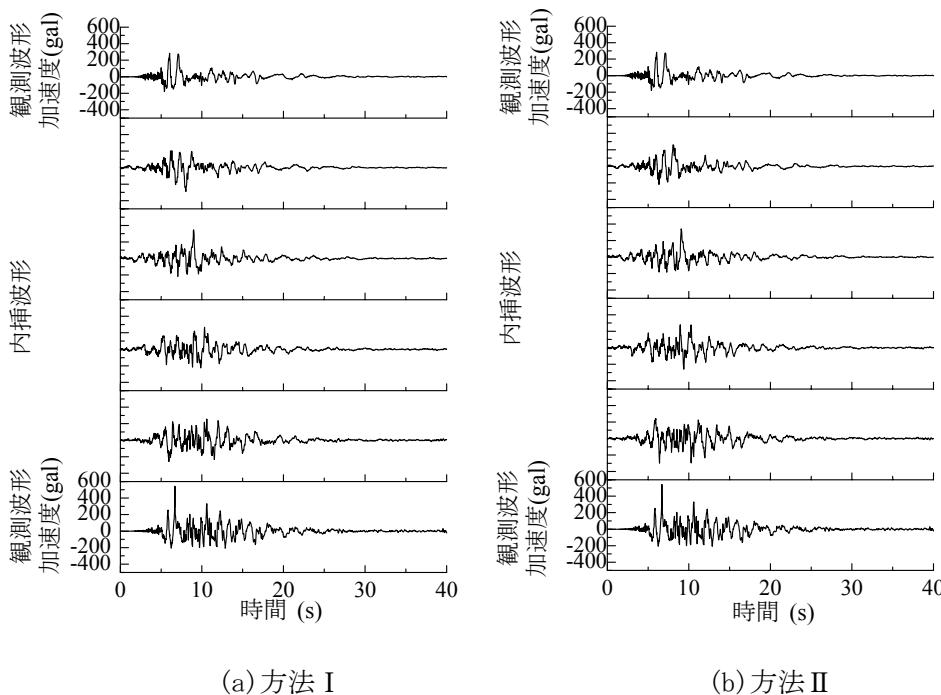


図 2 パルス波の内挿結果



参考文献

- 1) 川上・茂木：多地点の地震観測記録を含む時空間確率過程の内挿とシミュレーション, JCOSAR 論文集, 1995
- 2) 川上・佐藤・茂木：周波数領域での相乗平均を用いた地震波形の内挿方法, 第 23 回地震工学研究発表会, 1995
- 3) 佐藤・川上・茂木：面上に分布する観測点間の地震波形の内挿方法, 土木学会第 51 回年次学術講演会, 1996
- 4) Papoulis, A.: 工学のための応用フーリエ積分, オーム社, 1967

図 3 兵庫県南部地震による神戸市ポートアイランドでの観測波形の内挿結果