

I-141

多入力線形システム理論に基づく観測記録を含む時空間地震波形

東京ガス 正会員 小野 牧夫
 埼玉大学工学部 正会員 川上 英二

1. 目的

トンネル、パイプライン、地中埋設管路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・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、この各点での変位の時刻歴を、つまり、時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。

地震波の水平方向のみかけ伝播速度として、石油パイプライン基準のように地盤のせん断波速度を用いるか、アレー観測記録の相互相関関数のピークから求められた値を用いるかでは結果が著しく異なる可能性がある。合理的であるという点では、みかけ速度としては後者の値を用いるのが妥当であるが、この場合、波形が場所によらず同一であると仮定し、波形の変形の影響を無視すると、危険な設計を行う可能性があるという問題がある。

このような観点から著者らはこれまでに、二重フーリエ級数を用いる手法¹⁾、従来の多変数の確率過程を拡張する方法²⁾、ARモデルを用いる方法³⁾を既に展開している。また、盛川・亀田⁴⁾、丸山・星谷⁵⁾によっても各種方法が提案されている。本研究では従来の線形システム理論に基づく方法を展開する。これは、非観測地点の地震波形を、観測記録を入力とする線形システムの出力として取り扱うものである。そして、時間について定常な場において複数の観測記録が与えられている場合を想定し、これら観測記録を含む時空間関数としての地震波形をシミュレートするための手法の開発を目的としている。昨年⁶⁾の発表では、理論展開と観測地点が2地点の場合の時空間地震波形を求めているのに対し、ここでは、観測地点を3地点とし、コヒーレンスを変化させた場合の地震波形を求めている。

2. 方法

地盤の変位を互いに相関を有する複数の確率過程と考える。この時空間確率過程は、次の2つの条件を満足するものと仮定する。

条件(A)：時空間確率過程の相互相関関数は、想定した相互相関関数に一致する。

条件(B)：時空間確率過程は、多地点の観測地点においては観測波形に厳密に一致する。

a) 方法1

今、地点 x_k ($k=1, \dots, K$) (観測地点)において観測記録 $u_k(t)$ が得られているとする。このとき、非観測地点 x_v ($v=K+1, \dots, I$)における地震波形 $u_v(t)$ を次式で表す。

$$u_v(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{n=-N}^N H_{vk}(\omega_n) U_k(\omega_n) \exp(i\omega_n t) + z_v(t) \quad (1)$$

ただし、 $U_k(\omega_n)$ は観測記録の複素フーリエ係数、 $H_{vk}(\omega_n)$ は未知の複素係数である。

ここで、式(1)の物理的な意味を考えると、 $u_v(t)$ を、観測記録 $u_k(t)$ ($k=1, \dots, K$)を入力とする線形システムの出力波形とすれば、 $H_{vk}(\omega_n)$ は振動数応答関数と考えることができる。また、 $z_v(t)$ は付加雑音である。

複素係数 $H_{vk}(\omega_n)$ ($k=1, \dots, K$)は、入力波形間および入出力波形間のクロススペクトルから求めることができる。また、付加雑音 $z_v(t)$ ($v=K+1, \dots, I$)は互いに相関を有する確率過程としてシミュレートする。

b) 方法2

この方法は、式(1)により非観測地点 x_v ($v=K+1, \dots, I$)の中の一地点 x_{K+1} の地震波形 $u_{K+1}(t)$ をまずシミュレートする方法である。次にこの波形を観測記録に加えて、 K を $K+1$ と置き換えて $u_{K+2}(t)$ を同様にしてシミュレ

ートする。以下同様に、シミュレートした波形を順次 観測記録に加えていくことにより、複数の非観測地点における地震波形をシミュレートする。

3. 数値計算結果

観測波形には、Imperial Valley地震（1940年5月18日、マグニチュード7.1）の El Centroの地点で観測された南北方向の変位記録（最大値 = 10.9 cm）を使用した。

波形をシミュレートする地点は、地点間の距離が400mで、直線上に並んだ0km地点から12km地点までの合計31地点とした。観測記録が3地点（0km地点、6km地点、12km地点）で与えられている場合を想定し、時空間地震波形をシミュレートした（図-1, 2, 3）。

伝播速度が同じで変形定数¹⁾が異なる場合の波形サンプル（図-1と図-2）を比較すると、波動の伝播に伴う波形の変形の様子が異なっていることがわかる。また、変形定数が同じで伝播速度が異なる場合の波形サンプル（図-1と図-3）を比較すると、波形のピークの伝播の速度が異なっている様子がわかる。さらに、波形サンプルから求めた相互相関関数は、想定した相互相関関数に近似的なものになった。

参考文献

- 1) 川上：第8回日本地震工学シンポジウム，1990。
- 2) 川上・小野：土木学会論文報告集，No. 441, 1992。
- 3) 川上・小野：埼玉大学建設系研究報告，Vol. 22, 1992。
- 4) 盛川・亀田：既知波形を含む条件付確率場のシミュレーション理論，都市耐震センター研究報告，京都大学防災研究所，1991。
- 5) 丸山・星谷：定常均一場の条件付き地震波動シミュレーション，土木学会第47回年次学術講演会，I-342, pp. 860-861, 1992。
- 6) 小野・川上：多地点での観測記録を用いた時空間地震波形のシミュレーション，土木学会第47回年次学術講演会，I-636, 1992。

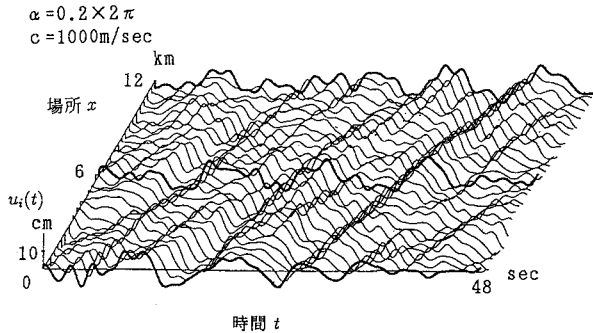


図-1 波形サンプル

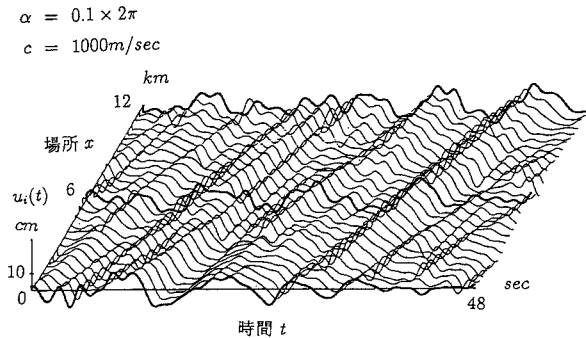


図-2 変形定数を変化させた場合の波形サンプル

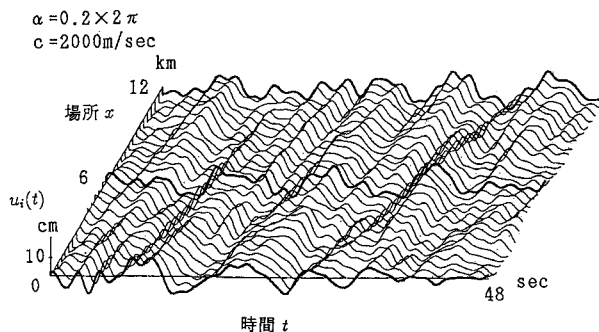


図-3 伝播速度を変化させた場合の波形サンプル