

## I-636

## 多地点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

埼玉大学大学院 学生員 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は、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。

波動の水平方向の伝播速度として、地盤のせん断波速度を用いる(石油パイプライン基準)か、アレー観測記録の相互相関関数のピークから求めた値を用いるかでは、値が十倍程度も異なり、構造物の応答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、後者の値を用いるのが妥当であるが、従来のように、波形の変形を無視すると、危険な設計を行う可能性がある。

以上のような観点から、著者らは、現実的で、波形の変形を考慮した、地中埋設構造物に対する時空間入力地震波として、二重フーリエ級数<sup>1)</sup>、また多変数の確率過程<sup>2)</sup>により一地点の観測記録を用いた地震波形をシミュレートする方法を展開している。本研究では、多地点での観測記録を用いた時空間地震波形をシミュレートするための方法を展開し、その適用例を示すことを目的としている。

## 2. 方法

時空間地震波形を、ここでは、多数の入力波形をうける定係数線形系の出力波形で表す。シミュレートする地震波形は、次の2つの条件を満足するものと仮定する。

- (A) 地震波形の自己相関関数(パワースペクトル)は、観測波形の自己相関関数を補間するものとする。この自己相関関数と、波動の伝播速度、波形の変形の程度(コヒーレンシー)とから、相互相関関数(クロススペクトル)を想定する。時空間地震波形の相互相関関数は、想定した相互相関関数に一致する。
- (B) 多数の観測地点においては観測波形を厳密に満たす。

本研究では、(A)で与える相互相関関数を、波が正方向にある一定の速度で伝播し、また、二地点間距離が離れる程、相関が減少するような関数とした。

多入力をうける線形システムの出力波形  $Y(t)$  は、入力波形と単位インパルス応答関数の畳み込み積分の和で表すことができる。

$$Y(t) = \sum_{p=1}^q \int_0^{\infty} h_p(\tau) \cdot X_p(t-\tau) d\tau + Z(t)$$

ここで、 $h_p(\tau)$ は単位インパルス応答関数、 $X_p(t)$ 、( $p=1, \dots, q$ )は  $q$  個の入力波形、 $Z(t)$ は付加雑音である。

また、単位インパルス応答関数のフーリエ変換である振動数応答関数、および付加雑音のパワースペクトルは、入力波形と出力波形のパワースペクトル、および入力波形間、入出力波形間のクロススペクトルから決定することができる。

以上の考え方より、まず多数の観測記録から、ある一地点の地震波形がシミュレートできる。以下、観測記録およびシミュレートした波形を入力波形として順次、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波形を使用した。本方向の加速度記録は、 $341.7 \text{ cm/s}^2$ の最大値を示したものであ

り, El Centro 地震波として, 建築物等の動的解析に用いられる代表的な地震波形の一つである. この加速度記録を積分した変位記録も発表されており, 本解析では, 図-1に示す変位記録(最大値 = 10.9 cm)を原点  $x=0$  での観測波形とし, 記録長  $T$  を 48sec として, 1 波から 29 波までのフーリエ級数に展開した.

ここで, 観測記録が 2 つの場合のシミュレーションを考える.  $x=12\text{km}$  地点をもう一つの観測地点とし, そこでの観測記録として, 図-1の El Centro 波形の位相を伝播時間分だけ遅らせたものを用いた. また, 相互相関関数は, 図-2(波動の伝播速度 = 1000m/s, 変形定数<sup>1)</sup> =  $0.2 \times 2\pi$ ) のように想定した. 波形をシミュレートする地点(場所)は, 伝播方向に原点 0km から 12km まで地点間距離 400m で, 29 地点である.

数値計算の結果, 与えられた観測波形と相互相関関数に対して, 時空間関数としての波形をシミュレートすることができた(図-3). そして, 得られた時空間波形が, 多(2)地点(図-3太線)において観測波形と一致している事が確認できる. 図-3の時空間波形から相互相関関数を, 時間差  $-24\text{sec} \leq \tau \leq +24\text{sec}$ , 2 地点間距離  $-6\text{km} \leq x \leq +6\text{km}$  の範囲で計算した. この時空間波形の一つのサンプルから得られる自己または相互相関関数は, 仮定した自己または相互相関関数(図-2)に近似的な事を確認した.

参考文献

- 1) 川上英二: Imperial Valley 地震の観測記録を含む時空間関数としての地震波形のシミュレーション, 第8回日本地震工学シンポジウム, pp.1311-1316, 1990.
- 2) 川上英二・小野牧夫: 一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, 土木学会論文集, No. 441, pp.167-175, 1992.

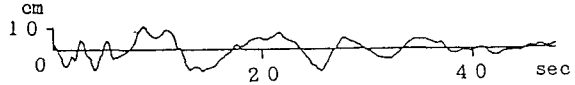


図-1 Imperial Valley 地震(1940)の観測波形

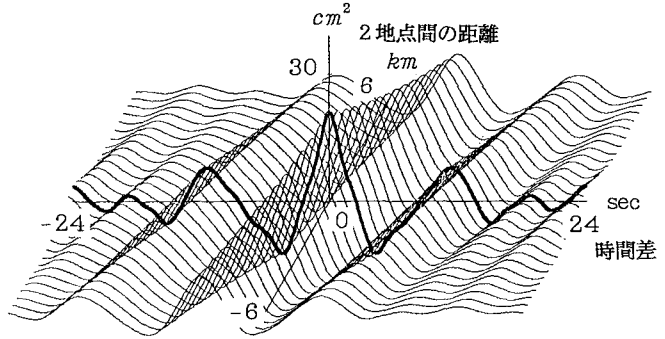


図-2 想定した相互相関関数

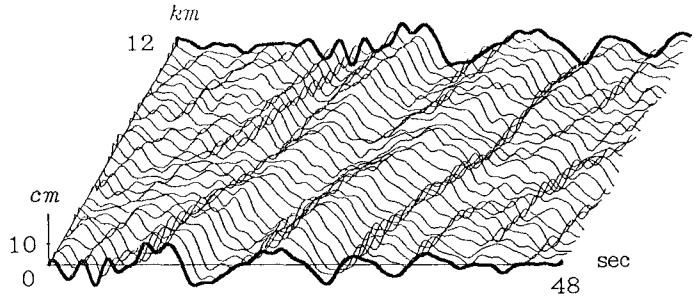


図-3 時空間地震波形のシミュレーション結果