土木学会第44回年次学術講演会（平成元年10月）

I-453　一地点の観測記録を含む地震波形の時空間関数のシミュレーション

埼玉大学工学部　正員　川上　英二
建設省土木研究所　正員　小嶋　伸一
三井建設　正員　城内　正徳

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，これらの挙動は，応答変位法を用いて検討する事が多い．まず，管路・地盤・基盤を含む力学モデルを作成し，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．

従来，時間に関する入力地震動としては，エル・セントロ地震，タフト地震，十勝沖地震，新潟地震等の過去のある一地点で実測された強震観測記録に基づく波形が用いられる事が多い．また，得られた波形を場所に関して伝播させる際には，

(1) 全く同一の波形が，ある一定のみかけ速度で水平方向に伝播する場合，または，

(2) 入力地震動の場所による違いが管路の挙動に及ぼす影響は，表面層の不均質性の影響に比べ少ないと考え，場所によらず同一波形，同一位相の波形を基盤から入射させる場合，

を想定する事が多い．

しかし，(1)の考えに基づいた場合，みかけ速度として，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こと，また，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しているため，危険側の評価を与える可能性があること等が問題である．

また，(2)の考えは主に地盤構造が場所により大きく異なる地盤に対して用いられている．しかし，例えば，地表層が水平方向に一様な場合には，地表面ではひずみが生じないという問題を含んでいる．

一方，近年，アレー観測結果を用いて，地震波動の場所による変形に関する研究が行われ，また，この波形変形が地盤のひずみに与える影響が検討されている．更には，最近，時間・空間の関数としての地震動のシミュレーションに関する研究が，幾つか行われている．相互相関関数またはクロススペクトルを満足する，場所と時間との関数としての波形のシミュレーションが，Shinozukaら[1]，Naganumaら[2]，星谷ら[3]，否笠・原田[4]等により行われている．しかしながら，これらのシミュレーションでは，何れの方法においても，観測された強震記録をどの地点においても正確には満足していないために，入力波形として用いるには実際的でなく，解析結果の説得力が弱い．

本研究の目的は，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関数としての入力波をシミュレートするための手法を展開する事である．

まず，地盤の変位 $F(x,t)$ を埋設管路に沿った一次元の場所 x と時間 t とに関する二重フーリエ級数に展開する．関数 $F(x,t)$ は次の 2 つの条件を満足するものと仮定する．

(1)　従来の研究に基づき与えられた相互相関関数を満たす．この相互相関関数により，波動の伝播速度，波形の変形の程度（コヒーレンシー）等が与えられる．

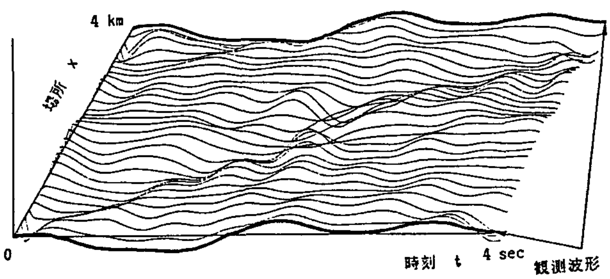
(2)　一地点の観測地点においては観測記録を厳密に満たす．

本研究においては，これら２つの条件を満たす地盤変位をシミュレートする方法を 参考文献 5)-7)で示す２種類の方法で定式化した．5)6)で示す理論１は二重フーリエ級数の係数を未知数として最適化問題と

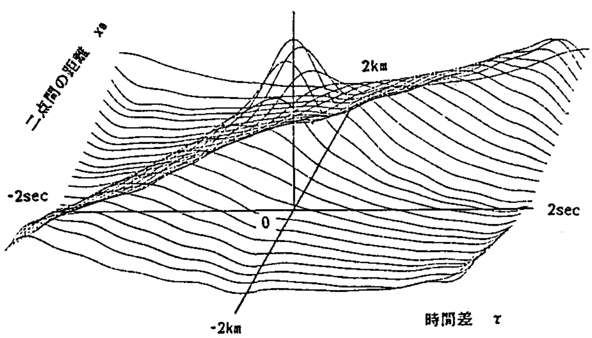
して定式化するアルゴリズムである．また，7)で示す理論２は二重フーリエ級数の係数を変数変換する事により，未知数を位相角とし，理論１の場合と同様に最適化問題として定式化したものである．

２．数値計算結果

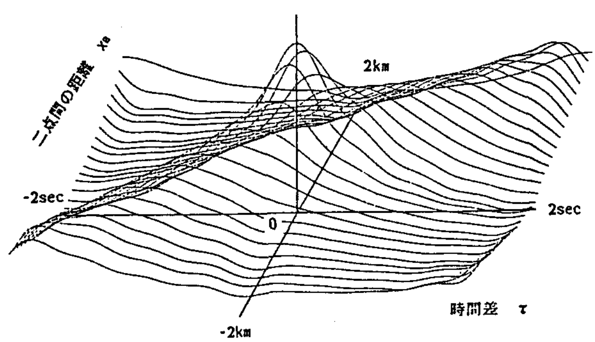
本手法を適用した計算結果の一例を以下に示す．ただし，最適化の数値計算に使用したプログラムは，東京大学大型計算機センター，数値計算プログラム・ライブラリ，非線形最適化プログラム MPLSUMT[8] である．まず，時間領域としては $0 \le t \le 4$sec を，場所領域としては，$0 \le x \le 4$km を設定する．Goto, Kameda[9] による地震波のパワースペクトルに対する経験式を用いて，波形を作成し，これを観測波形とした（図—1 参照）．また，波が正方向に伝播し，また，二地点間距離が離れる程，相関が減少するような，相互相関関数を図—2 に示すように仮定した．計算された時空間関数としての波形を図—1 に，この波形の相互相関関数を図—3 に示す．図—2 と図—3 の相互相関関数はよく一致しており，仮定した相互相関関数及び観測記録を満たす収束結果が得られている事がわかる．



図—１　観測波形，および，波形の時空間関数 F(x,t)



図—２　仮定した相互相関関数 $R_{XT}(x_0, \tau)$



図—３　求められた波形の相互相関関数 $R_{XT}(x_0, \tau)$

謝辞　本研究をまとめるにあたり埼玉大学工学部渡辺啓行先生に貴重な御助言を頂きました．また，文部省科研費（重点領域研究(1)，代表者：佐武正雄教授）の御援助を受けました．記して感謝の意を表します．

参考文献

1) Shinozuka & Lenoe, Engineering Fracture Mechanics, Vol.8, 1976.
2) Naganuma, Deodatis & Shinozuka, ASCE, EM, 1987.
3) 星谷・石井・栗田，土木学会論文集，No.386/I-8, 1987.
4) 否笠・原田，土木学会第43回年講，1988.
5) 川上，土木学会第43回年講，1988.
6) 川上，科研費重点領域研究(1)報告書（代表者：佐武正雄教授），1988.
7) 川上，科研費重点領域研究(1)報告書（代表者：佐武正雄教授），1989.
8) HITAC 数値計算プログラム・ライブラリ，MPLSUMT 解説書.
9) Goto & Kameda, Proc., 4WCEE, Vol. 1, A-1, 1969.