

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、まず、構造物・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、これら長い構造物を対象とする場合には、構造物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¹⁾⁻³⁾をどのように想定するかは、構造物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られた値を用いるかでは、構造物の応答が著しく異なる。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、波形の変形の影響を無視すると、危険な設計を行う可能性がある⁴⁾⁵⁾。

本研究の目的は、参考文献4)で展開した地震波形の想定方法を、更に具体的に発展させることであり、従来、耐震設計において代表的な入力波形である Imperial Valley (El Centro) 地震波形を例えば構造物の両端における波形とするような、時空間関数としての地中埋設構造物に対する入力波をシミュレートすることである。ただし、この波形の相互相関関数は、観測波形の自己相関関数を含み、波動の伝播速度、波形の伝播に伴う変形の程度(コヒーレンシー)から求めた相互相関関数に一致するという条件を設定した。

埋設構造物に沿った一次元の場所 x と時間 t における地盤の変位を $F(x, t)$ で表し、関数 $F(x, t)$ は次の2つの条件を満足するものと仮定している。

- 1) $F(x, t)$ の相互相関関数は、観測波形の自己相関関数を含み、波動の伝播速度、波形の伝播に伴う変形の程度(コヒーレンシー)から求められる相互相関関数に一致する。
- 2) 管路の両端の地点における波形は、観測記録と厳密に一致する。

2. El Centro 変位記録を含む時空間関数

本手法をImperial Valley 地震の観測記録に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 MPLSUMT⁷⁾ である。まず、観測波形としては、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記録を対象とした⁸⁾。本方向の加速度記録は、 341.7 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⁸⁾、本解析では、Fig.1 に示す変位記録(最大値 = 10.9 cm)を観測波形として使用した。時間領域としては $0 \leq t \leq 48 \text{ sec}$ を、場所領域としては、 $0 \leq x \leq 12 \text{ km}$ を設定し、12 km 離れた二地点で同一の観測波形を示す場合を想定した。Fig.2 の太線($X_0=0$)は Fig.1 の変位波形から求められた自己相関関数であり、細線($X_0 \neq 0$)は、みかけ速度 $c=1000 \text{ m/s}$ 、変形定数⁵⁾⁶⁾ $\sigma = 0.2 \times 2\pi$ として想定された相互相関関数である。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、相互相関関数が想定されていることがわかる。また、時間軸方向の成分としては、約0.02Hz刻みに 0Hz から約0.6Hzまで 30個の成分が重なりあった波形と考え、場所軸方向の成分としては、0から7波までの二重フーリエ級数に展開した。なお、未知数である位相角の初期値としては一様乱数を用いた。

シミュレートされた時空間関数としての波形を Fig.3 に、この波形の相互相関関数をFig.4 に示す。Fig.2 と Fig.4 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を満たす収束結果が得られて

いる事がわかる。また、Fig.3 の太線とFig.1 は良く一致しており、シミュレートされた時空間関数は、両端の地点で観測記録を満たしていることがわかる。

謝 辞： 本研究の数値計算を行うにあたり、埼玉大学建設工学科の学生であった深石哲也君にご協力を頂きました。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) 星谷・石井・栗田：土木学会論文集，No.386/I-8，1987.
- 2) Naganuma, Deodatis and Shinozuka: J. of EM, ASCE, Vol.113, No.2, 1987.
- 3) 否笠・原田：土木学会第43回年次学術講演会，I-463，1988.
- 4) 川上：土木学会論文集，No.410/I-12，1989.
- 5) 川上・佐藤：土木学会論文集，No.337，1983.
- 6) 石井：第16回地震工学研究発表会講演概要，1981.
- 7) HITAC 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 解説書.
- 8) Hudson, et al.: EERL 71-50, California Institute of Technology, 1971.

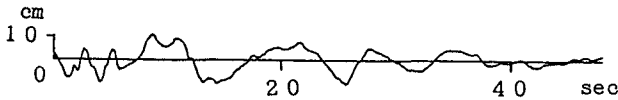


Fig.1 Double integrated displacement record of the 1940 Imperial Valley earthquake

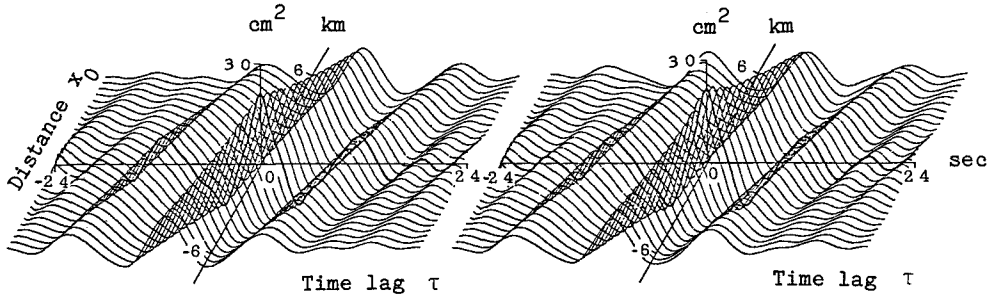


Fig.2
Auto-correlation function
 $R_{XT}(0, \tau)$ and assumed
cross-correlation function
 $R_{XT}(x_0, \tau)$

Fig.4
Cross-correlation function
of the simulated wave

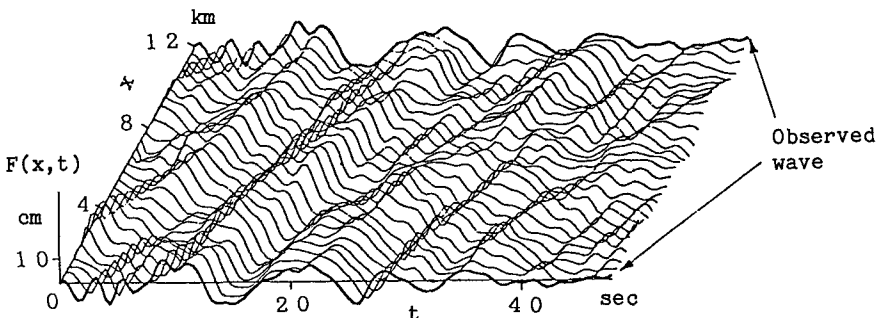


Fig.3 Simulated space-time variation $F(x, t)$