

I-340 非均質な確率場を考慮した時空間波形のシミュレーション

京都大学防災研究所 正会員 土岐憲三
 京都大学防災研究所 正会員 佐藤忠信
 京都大学防災研究所 正会員 清野純史
 阪神高速道路公団 正会員 ○水谷治弘

1. はじめに ガス・水道管などの地中管路、さらに共同溝やトンネル、パイプラインなど、その展開距離が地震波の波長に比して長い地下構造物の地震時挙動は2地点間の地盤の相対変位や地盤ひずみに大きく影響される。そのため、これらの構造物の動的応答解析、耐震設計を行う際の入力地震動をどの様に想定するかが重要な問題となる^{1),2)}。特に不整形な構造を有する地盤上での地震動は、地盤の不規則性によって局所的な回折、散乱、反射、屈折が生じるため、地表面での地震動は時間的、空間的に大きく変動する。

本研究では、空間的に非定常な複数の観測波形が得られた場合、それらの波形をもとにして観測点においては観測波形と一致する時空間波形を推定する手法を提案する。この手法は、地質統計学の分野で開発されたKriging法³⁾を応用したものであり、Kriging法は地盤工学にも応用されている^{4)~7)}。

2. 時空間波形推定法へのKriging法の応用 図-1に示すように時空間波形を位置 d と時刻 t の2次元の空間に分布する物理量(ここでは地盤変位)と解釈する。 x を $d-t$ 平面上の点を表す位置ベクトルとして、非定常な時空間波形 $z(x)$ を次式のようにその全体的な挙動を捉えた非定常な時空間波形 $m(x)$ (以下トレンド波とよぶ)と定常な時空間波形 $w(x)$ の和として表現する。

$$z(x) = m(x) + w(x) \tag{1}$$

点 x_0 における地盤変位の推定値 $\hat{z}(x_0)$ が観測波形のデータ $z(x_i)$ により次式で表されると仮定する。(Kはデータ数である)

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^K \lambda_i z(x_i) \tag{2}$$

推定値の不偏性の条件のもとに、推定誤差分散を最小にする λ_i を次式により求める。

$$\sum_{i=1}^K \lambda_i c_{ij} + \mu_1 + m(x_j) \mu_2 = c_{0j} \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^K \lambda_i = 1 \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^K \lambda_i m(x_i) = m(x_0) \tag{5}$$

ここに、 μ_1, μ_2 はラグランジュ乗数であり、 $c_{ij} = Cov\{w(x_i), w(x_j)\}$ である。式(3)、(4)、(5)において共分散とトレンド波がわかれば、重み係数 λ_i が計算でき、その λ_i を用いて式(2)より任意の位置、任意の時刻における地盤変位の推定値を求めることができる。ここで、共分散は観測波形の相互相関関数から求めることにした。

3. 観測波からトレンド波を推定するためのモデル

前節の手法を用いて数個の観測波形から時空間波形を推定する際、観測波形からトレンド波形を推定することになる。また、トレンドを除いた波形が定常であることを定量的に評価する必要も生じる。ここでは、図-2

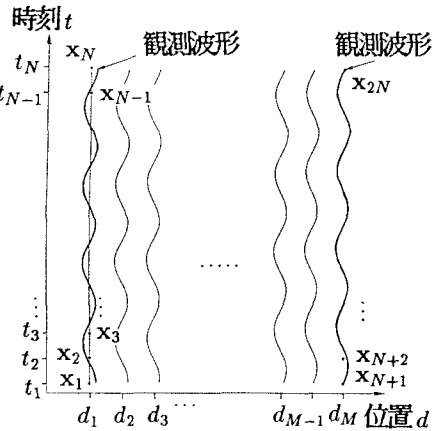


図-1 時空間波形の概念図

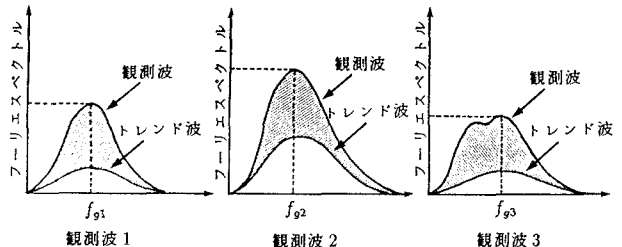


図-2 観測波とトレンド波のフーリエスペクトル

のように観測波形のフーリエスペクトル(上側の実線)が得られた場合、各観測点において観測波からトレンド波を除いた波形の自己相関関数相互の誤差が最小となるようにトレンド波のフーリエスペクトル(下側の実線)をある関数で与えた。この関数はフーリエスペクトルのピーク位置とピーク高さを表す2つのパラメータを含むものである。また、トレンド波の各振動数成分は、観測波1と他の観測波との空間相関関数のピークの値から求まる時間ずれだけ一様にずれるものとして位相を考えた。さらに、観測点のトレンド波形のフーリエスペクトルを表す関数のパラメータを観測点間で線形に補間することにより、推定点におけるトレンド波形のフーリエスペクトルを与えた。

図-3は、離散化波数法により計算した不整形地盤上の応答波形である。図-4はこの応答波形のうち太線で示す波形を観測波形とみなし、上記の方法でトレンド波を考慮することにより推定した波形であり、図-5は、推定波形の平均パワーの空間分布をトレンドを考慮しない場合と考慮した場合について示したものである。図-3のターゲット波形の平均パワーの空間分布も同時に示した。推定波形は、図-3の波形の形状と類似しており、また平均パワーの空間分布も、トレンドを考慮しない場合にはばらつきがあるのに対し、トレンドを考慮することにより、ターゲット波形の平均パワーの形状を比較的良好に反映している。

4.まとめ 非定常な時空間波形をトレンド波と定常な時空間波形の和として表すことにより、Kriging法を応用して、非定常な時空間波形を推定する手法を提案した。また観測波からトレンド波を推定するためのモデルを考えた。この手法によれば、観測波を反映した非定常な時空間波形を推定することが可能となる。

参考文献

1)川上・小野: 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, 第441号/I-18, pp.167-175, 1992. 2)盛川・亀田: 既知波形を条件とした確率波のシミュレーション、土木学会第46回年次学術講演会概要, pp.750-751, 1991. 3)Ohsumi: Linear Estimation of Random Field with Second-order Increments and its Application, Automatica, Vol.24, No.2, pp.203-215, 1988. 4)Ohsumi: Estimation of Vector Nonhomogeneous Random Fields and its Application, Proc. of 14th SICE Symp. on Dynamical System Theory, 1991. 5)土岐・佐藤・清野: 不整形地盤上における地震動の時間・空間分布特性、第20回地震工学研究発表会, pp.157-160, 1988. 6)鈴木・石井: 材料物性値の空間分布推定法、システム最適化に関するシンポジウム, pp.85-92, 1989. 7)清野・土岐・佐藤: 堆積層厚データ処理のためのサンプリング点の最適配置について、第26回土質工学研究発表会, pp.195-198, 1991.

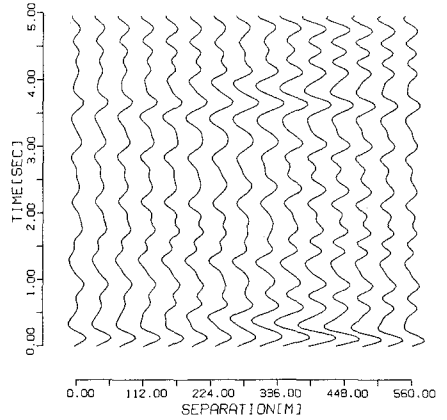


図-3 ターゲット波形

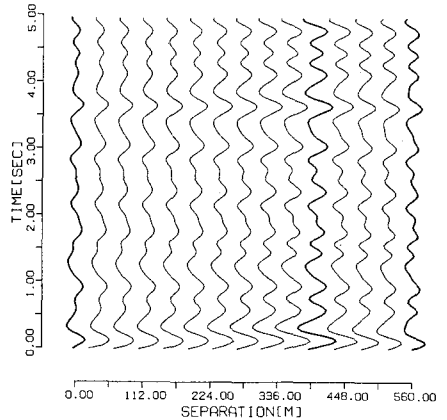


図-4 推定波形(太線:観測波)

- 推定波形(トレンド考慮)による
- △ 推定波形(トレンド考慮せず)による
- + 応答波形(離散化波数法)による
- × 観測波形の平均パワー

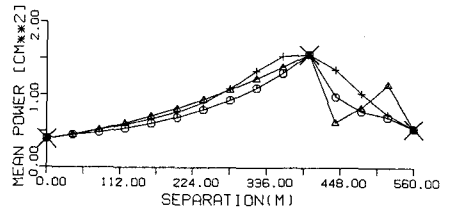


図-5 平均パワーの空間分布