

I-712

条件付き地震動シミュレーションの数値計算による検証

武蔵工業大学 学生員○秀嶋 桂

武蔵工業大学 正会員 丸山 牧

1. 目的

本研究は複数の観測点で観測ノイズを含む地震波形が得られたという条件の下で、観測点では平滑化(スムージング)、非観測点では補間(推定)値を求める条件付きシミュレーション理論の数値計算による検証を行っている。

2. 最小誤差分散に基づく線形補間

時空間確率場 $Z(X, t)$ において、空間方向に均一、時間方向に定常性を仮定する。ここで、対象としている確率場の期待値は、 $E[Z(X, t)] = 0$ とする。ここでは、ガウス確率場を対象とし、確率場の特性を規定する相互相関関数は推定されており既知とする。本研究で用いる基本式を文献(2)から式(1)で与える。また、観測方程式を式(2)で与える。ここで、式(1)における $\lambda_{ij}(X_r)$ は推定誤差の分散を最小とする様に決定される係数である。

$$Z^*(X_r, k) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \lambda_{ij}(X_r) Y(X_i, k+j) + \varepsilon(X_r, k) \quad (1)$$

$$Y(X_i, k) = g(X_i, k) Z(X_i, k) + \omega(X_i, k) \quad (2)$$

ただし、 $Y(X_i, k)$ は白色ノイズ $\omega(X_i, k)$ を含む観測点における確率場である。観測点 $X_i (i=1, 2, \dots, N)$ においてサンプル実現値が得られた場合の非観測点における条件付き平均値および条件付き分散値は、式(1)より次式で与えられる²⁾。

$$\mu Z^*(X_r, k) / \text{cond.} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \lambda_{ij}(X_r) \underline{Y}(X_i, k+j) \quad (3)$$

$$\sigma^2 Z^*(X_r, k) / \text{cond.} = C(0, 0) - C X_r^T g k^T (g k C g k^T + \omega)^{-1} g k C X_r \quad (4)$$

条件付きサンプル場をシミュレートするために式(1)を、次式のように変形する²⁾。

$$Z^*(X_r, k) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \lambda'_{ij}(X_r) Y(X_i, k+j) + \sum_{l=1}^L \lambda'_{rl}(X_r) Z(X_r, k+l) + \delta(X_r, k) \quad (5)$$

3. 確率場の条件設定

相互相関関数は、相互スペクトル密度関数のフーリエ変換により次式のように与えられる。

$$C(d, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S(d, f) \exp(i 2 \pi f \tau) df \quad (6)$$

$$S(d, f) = S(f) \gamma(d, f) \quad (7)$$

ここで、 $S(f)$: 定常・均一場の代表地点におけるパワースペクトル密度関数、 $\gamma(d, f)$: コヒーレンスである。

本研究では、パワースペクトル密度関数として、後藤と亀田³⁾の提案するモデルを、コヒーレンスとしては、Harichandran・Vanmarcke⁴⁾の提案するモデルを採用した。

4. 条件付きシミュレーションの数値計算例

ここでは、図1のモデルで次のような解析を行う。

①P1で観測波形が得られた場合に条件付きサンプル場、条件付き平均値、および条件付き分散値それぞれについて、理論解と数値計算によるシミュレート解との比較検討を行う。

②P1, P6, P11で観測波形が得られた場合について①と同様な比較を行う。

図2、図3に条件付きサンプル場の一例を示す。図2では、P1において観測された波形が次第に波形変形を伴いながら伝播している。また、図2、図3での観測点におけるサンプル場は観測に伴う観測ノイズを除去するようにシミュレートされている。

図4、図5に条件付き平均値を示す。これらの図では理論解とシミュレート解を重ね

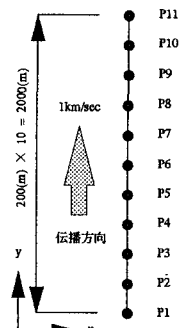


図1 解析対象モデル

書きしているが、精度よく一致していることがわかる。図4では、P1から離れるにつれて無条件の確率場の平均値0に近づいていることがわかる。

図6、図7に条件付き分散値を示す。観測点における条件付き分散値は、観測波形にも観測ノイズが含まれるという観測に対する不確定性を考慮しているので0とはならない。図6では、P1から離れるにつれて無条件の確率場の分散に近づき、図7では、各観測点から離れるにつれて分散値が最大となっている。

5. まとめ

解析対象とする確率場において、観測点が増加するにつれて不確定性が減少し、推定精度が向上する。また観測における観測ノイズの性質が既知となれば観測点における推定精度も増すことを示した。

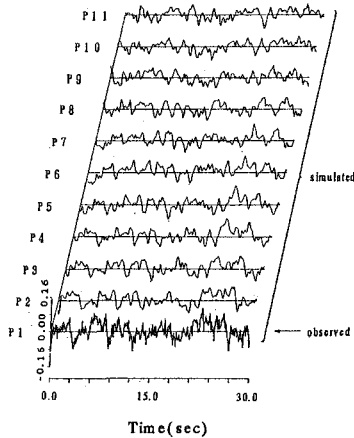


図2 P1で観測波形が得られた場合の1サンプル場

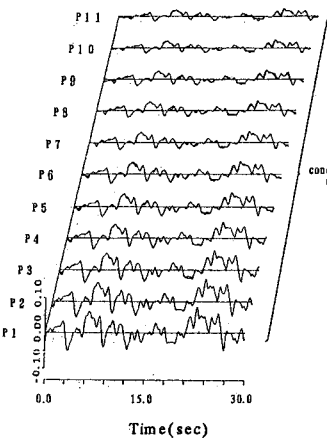


図4 P1で観測波形が得られた場合の条件付き平均値

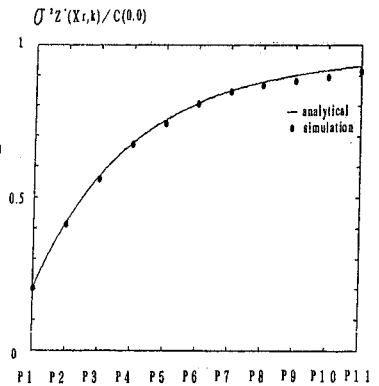


図6 P1で観測波形が得られた場合の条件付き分散値

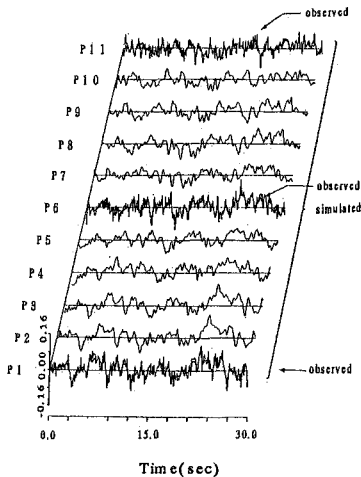


図3 P1,P6,P11で観測波形が得られた場合の1サンプル場

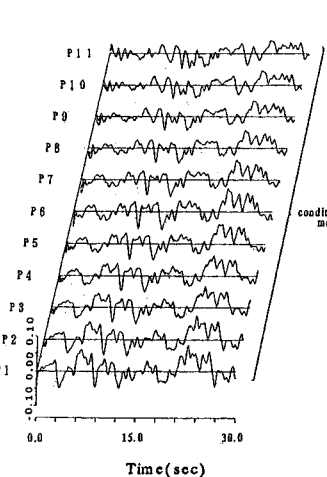


図5 P1,P6,P11で観測波形が得られた場合の条件付き平均値

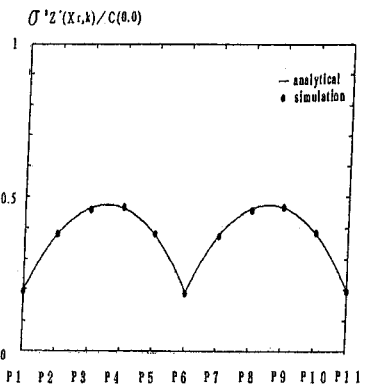


図7 P1,P6,P11で観測波形が得られた場合の条件付き分散値

参考文献:

- (1)丸山,星谷,山口;定常・均一ガウス確率場の条件付き地震動シミュレーション,土木学会論文集,第I部門(1994年4月号に掲載予定),1993年2月
- (2)宮久保・丸山:観測ノイズを考慮した条件付き時空間波形のシミュレーション理論,第49回土木学会講演会,1994
- (3)H.Goto and H.Kameda:Statistical Influence of the Future Earthquake Ground Motion, Proc. 4WCEE, Chile, Vol.1, A-1, pp.39-54, 1969.
- (4)R.S.Harichandran and E.H.Vanmarcke:Stochastic Variation of Earthquake Ground Motion in Space and Time, Jour of EM Div. ASCE, Vol.112, No.2, 1986.