

I-B 111 地震時の地盤変位量の条件付シミュレーション

武蔵工業大学 学生員 小宮 謙一
 攻玉社工科短期大学 正会員 山本 欣弥
 武蔵工業大学 正会員 星谷 勝

1. はじめに

地震による地盤の変位量を確率的性質を有する空間分布として捉え、有限個の観測点におけるサンプル実現値から非観測点での変位量を推定する。ここでは、対象とする確率場を Intrinsic Random Field と考え、その場の特性を示す指標としてサンプル実現値より Variogram を導き、補間理論である Kriging 手法を用いて非観測点での値の予測を行う¹⁾²⁾。

2. 概論

確率場 $Z(X)$; X = ベクトル座標において、サンプル実現値 $Z(X_i)$; $i = 1 \sim N$ が観測されている。非観測点でのサンプル実現値 $Z(X_r)$ は式(1)で表すことができる。右辺第1項は確率場の期待値 ($E[Z(X)]$) で座標関数 $f_j(X)$; $j = 1 \sim P$ および未知係数 β_j ; $j = 1 \sim P$ を用いて表すことができる。そして、 $W(X_r)$ は期待値周辺の変動を表す。 $W(X_r)$ は既知の $W(X_i)$ の線形補間式として、未知係数 $\lambda_i(X_r)$ と誤差項 $\epsilon(X_r)$ を用いて式(2)で表す。確率場 $W(X)$ の期待値はその定義より $E[W(X)] = 0$ となる。これらより、 $Z(X_r)$ を求めるには、まず期待値を求め、次に $W(X_r)$ を求めればよい。ここで、未知係数 β_j ; $j = 1 \sim P$ の推定は式(3)より重回帰分析法を用いて決定する。式(4)は誤差分散を示す。

$$Z(X_r) = \sum_{j=1}^P \beta_j f_j(X_r) + W(X_r) \quad (1)$$

$$W(X_r) = \sum_{i=1}^N \lambda_i(X_r) W(X_i) + \epsilon(X_r) \quad (2)$$

$$\Delta^2 = \sum_{i=1}^N \left\{ Z(X_i) - \sum_{j=1}^P \beta_j f_j(X_i) \right\}^2 \quad (3)$$

$$\sigma^2_{\epsilon(X_r)} = \sigma^2_{W(X_r)} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \lambda_i(X_r) \sigma^2_{W(X_r)} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \lambda_i(X_r) \sigma^2_{W(X_i)} + \sum_{i=1}^N \lambda_i(X_r) \gamma_{ri} \quad (4)$$

式(4)において、 γ_{ir} は任意のベクトル座標 X_i および X_r 間の Variogram である。文献 1) より、 $\epsilon(X_r)$ は $\hat{W}(X_r)$ および $W(X_i)$ と無相関であり、誤差共分散は次式となる。

$$E[\epsilon(X_r)\epsilon(X_s)] = \frac{1}{2} (\sigma^2_{W(X_r)} + \sigma^2_{W(X_s)}) - \sum_{i=1}^N \lambda_i(X_r) \left\{ \frac{1}{2} (\sigma^2_{W(X_r)} + \sigma^2_{W(X_i)}) \right\} + \sum_{i=1}^N \lambda_i(X_r) \gamma_{ri} - \gamma_{rs} \quad (5)$$

3. 数値計算

ここでは、阪神大震災で被害を受けた、神戸の PORT ISLAND の液状化による垂直方向の地盤変位量 (cm) を対象とした。375 カ所の観測値をもとに算出した期待値を式(6)に、Variogram を作成した結果を図-1に示す。なお、異方性を認めず処理は行っていない。式(2)より求めた Variogram は離散型であるため、最小自乗法を用いて連続型にモデルフィッティングする。その際用いたモデルは指数モデルで式(7)に示す。ここで d は距離 (m)、256.5 は影響範囲 (m) である。この影響範囲はある点の値が他の点の値に影響を及ぼしうる範囲を示している。

$$E[Z(X)] = 7.355496 + 0.001101X - 0.020077Y - 0.000048X^2 + 0.000026XY - 0.000073Y^2 \quad (6)$$

$$\gamma(d) = 1614.5 \left[1.0 - \exp\left(-\frac{|d|}{256.5}\right) \right] \quad (7)$$

図-2に誤差分散を示す。観測点では誤差分散は0となることは明らかである。図-3に解析結果を示す。

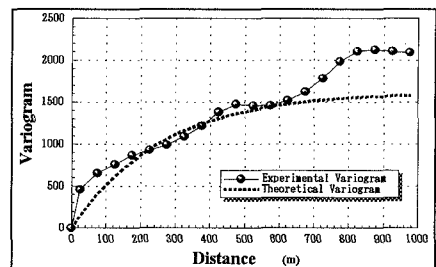


図-1 Variogram

計算した座標は 30×40 の合計 1200 で、その中で観測点は 375、非観測点は 825 である。ここに示した結果は、式(5)の誤差共分散にコレスキー分解を用いた相関同時シミュレーションによりシミュレートされた 1 サンプルセットである。

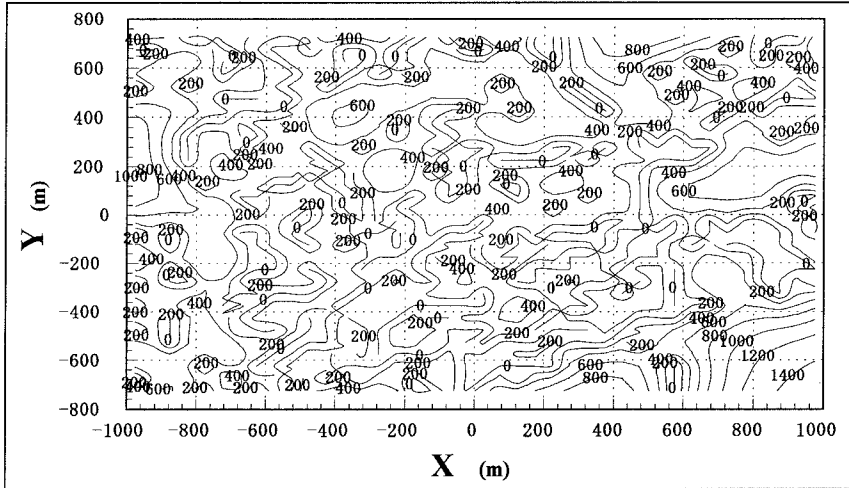


図-2 誤差分散

