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$\varepsilon(X_r)$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．

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

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

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

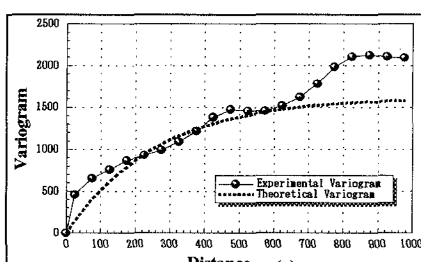
$$\sigma^2{}_{\varepsilon(X_r)}=\sigma^2{}_{W(X_r)}-\tfrac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\lambda_i(X_r)\sigma^2{}_{W(X_r)}-\tfrac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\lambda_i(X_r)\sigma^2{}_{W(X_i)}+\sum_{i=1}^{N}\lambda_i(X_r)\gamma_{ir} \qquad (4)$$

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，$\varepsilon(X_r)$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．

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

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．



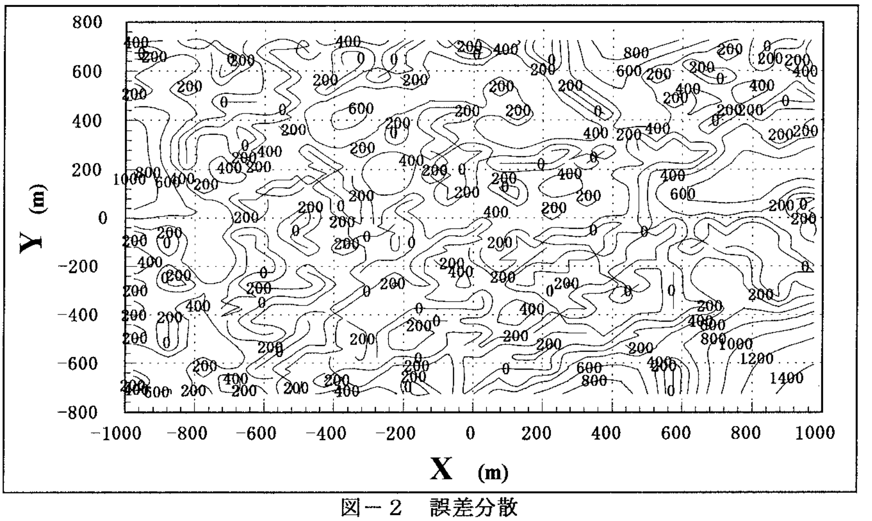
図－１　Variogram

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

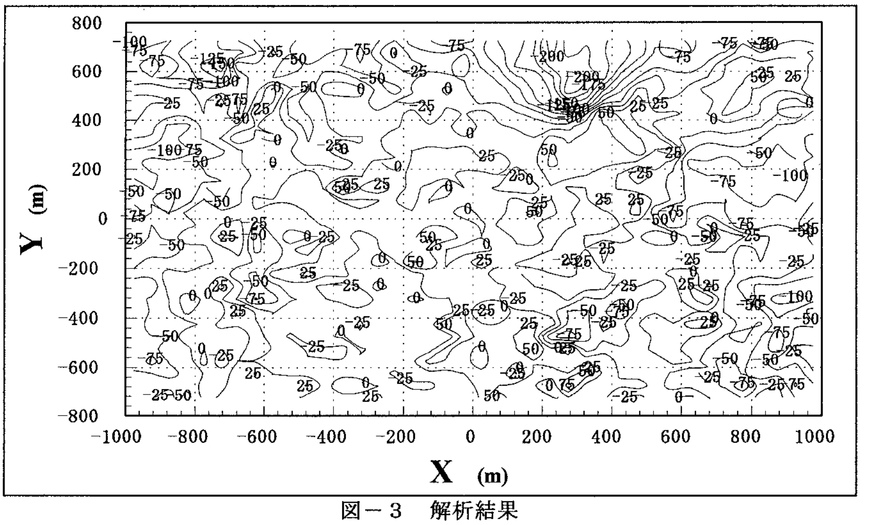
$$\gamma(d)=1614.5\left[1.0-\exp\left(-|d|/256.5\right)\right] \qquad (7)$$

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．

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



図－３　解析結果

４．まとめ

確率場の未知である期待値を座標関数により表し，確率場の空間特性を示すVariogramを推定することによって，確率場の物性値の空間分布の推定を行った．計算例として比較的観測点の多いPORT ISLANDの地盤の垂直変位量のデータを用いた．問題点として，観測点数の少ない場合は信頼性が低くなる場合が多く，対象とする地域の広さと，観測点数との関係が推定結果に重要な影響を与えると考えられる．

＜参考文献＞

1) 星谷 勝：条件付確率場のシミュレーション理論，土木学会論文集　No. 459 / I-22, pp. 113～118, 1993. 1
2) 星谷 勝・山本欣弥：Intrinsic Random Fieldの条件付シミュレーション，土木学会第50回年次学術講演概要集，第１部(B), pp. 1290～1291, 平成７年９月
3) 濱田政則・磯山龍二・若松加寿江：1995年兵庫県南部地震液状化・地震変位及び地盤条件，（財）地震予知総合研究振興会，1995.9