

I - B425 Indicator Kriging による地盤危険度分布の推定

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
 攻玉社工科短期大学 フェロー 大野春雄

1. はじめに

ライフラインの地中埋設管の地震による被害予測を行うためには、構造物の強度の検討とともに、地盤の地震に対する危険度分布（ハザードマップ）をとらえることは重要である。しかし、ライフラインが布設されている範囲すべてを調査することは、時間や費用等の問題から考えてあまり実用的ではない。また、地盤と地中埋設管の被害との関係については、未だ研究中の部分が多い。そこで、現実には、特に重要と考えられる箇所の調査を行い、それ以外の部分については、調査結果や過去の地震被害データを用いて、推定を行っている。未観測点でのデータの推定方法としては、Kriging に代表される補間理論が研究されている。信頼性工学では、ある現象が危険事象を超過しない確率を「信頼性」と定義している。これより、ここでは、ハザードマップは、地盤の持つ特性がある危険事象を超過する確率の分布であると定義する。この超過確率の分布は、Solow²⁾ の Indicator Kriging を用いて推定することができる。

本研究では、Indicator Kriging の数値計算例として、1995 年兵庫県南部地震でのポートアイランドの垂直地盤変位データ³⁾を用い、垂直変位量 +30(cm) を危険事象であると仮定して、その超過確率（インディケーター）を計算する。

2. ポートアイランドの垂直地盤変位データ

地盤の垂直変位の分布（ $Z(x)$ ）：地盤の垂直変位量， x = ベクトル座標）を Intrinsic Random Field¹⁾ と仮定し、観測された 672 個のデータを用いて、確率場の期待値（(1)式）および場の性質を表すバリオグラム（(2)式，図-1）を推定した。

$$E[Z(x)] = -30.585 + 0.02522x - 0.04141y \quad (1)$$

$$\gamma(d) = 3427.7 \left[1.0 - \exp\left(-\frac{d}{231}\right) \right] \quad (2)$$

ここで、 d ：2点間の距離， $\gamma(d)$ ：距離 d に関するバリオグラム

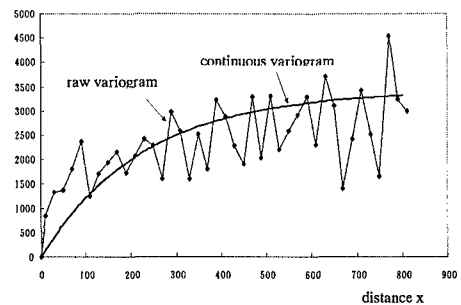


図-1 バリオグラム

3. 地盤の危険度分布の推定

ベクトル座標 x における垂直変位量を $Z(x)$ とするとき、 $Z(x)$ のインディケーター $I(Z(x))$ は次式で定義される。

$$I(Z(x)) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z(x) \geq h \\ 0 & \text{if } Z(x) < h \end{cases}, \quad h=30(\text{cm}) \quad (3)$$

このとき、 $Z(x)$ が、 $h=30(\text{cm})$ 以上となる確率は、 $\Pr(I(Z(x))=1) = p_1(x)$ で与えられる。 n 個の観測点でサンプルが得られたとき、未観測点 x_j でのインディケーター $I(Z(x_j))$ が 1 となる確率は、次式で得られる。

$$\Pr[I(Z(x_j))=1 | I(Z(x_i))=j_i, i=1 \cdots n] = E[I(Z(x_j))=1 | I(Z(x_i))=j_i, i=1 \cdots n], \quad j=1 \text{ or } 0 \quad (4)$$

未観測点 x_j でのインディケーターの最適推定値は、次式で求められる。

$$\hat{I}(Z(x_j)) = w_r + \sum_{i=1}^n w_i I(Z(x_i)) \quad , \quad w_r : \text{未知係数} \quad , \quad w_i : \text{未知係数} \quad (i=1 \cdots n) \quad (5)$$

（キーワード）ライフライン，ハザードマップ，Indicator Kriging，地盤変位

（連絡先）〒141 東京都品川区西五反田 5-14-2 TEL 03-3493-5671 FAX 03-3495-4071

w_r および w_i を線形不偏最小誤差推定より求めると次式を得る。

$$\mathbf{W} = \mathbf{K}^{-1} \mathbf{k} \quad , \quad \mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T \quad (6)$$

$\mathbf{K}$ および $\mathbf{k}$ はそれぞれ次式で与えられる。

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} C_I(d_{11}) & C_I(d_{12}) & \cdots & C_I(d_{1n}) \\ C_I(d_{12}) & C_I(d_{22}) & \cdots & C_I(d_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_I(d_{1n}) & C_I(d_{2n}) & \cdots & C_I(d_{nn}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{k} = [C_I(d_{r1}), C_I(d_{r2}), \dots, C_I(d_{rn})] \quad (8)$$

ここで、 $C_I(d_{ij})$ は $I(Z(x_i))$ と $I(Z(x_j))$ の共分散関数。 d_{ij} は座標 x_i と x_j の距離。

共分散関数は、サンプル実現値より推定したバリオグラム (2) 式より推定する。 w_r および $\hat{I}(Z(x_r))$ は、それぞれ次式で求められる。

$$w_r = p_1(x_r) - \sum_{j=1}^n w_j p_1(x_j) \quad (9)$$

$$\hat{I}(Z(x_r)) = p_1(x_r) + \sum_{j=1}^n w_j [I(Z(x_j)) - p_1(x_j)] \quad (10)$$

今回の数値計算例では、 $h=30(\text{cm})$ としてインディケーターを計算した。図-2, 3に超過確率 p が 0.7 以上の場合と、0.8 以上の場合のインディケーターの分布を示した。この図の中で、黒く示されている範囲が「危険地帯」となる。

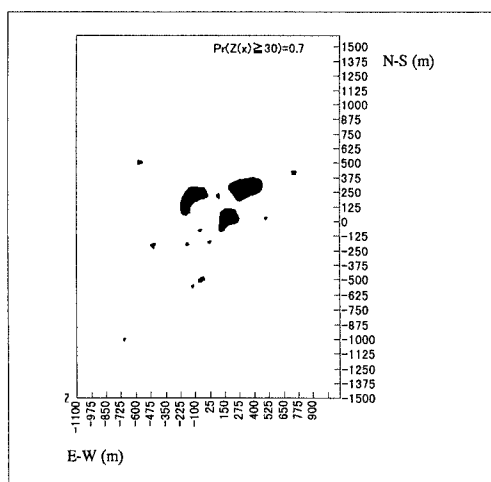


図-2 ハザードマップ ($p \geq 0.7$)

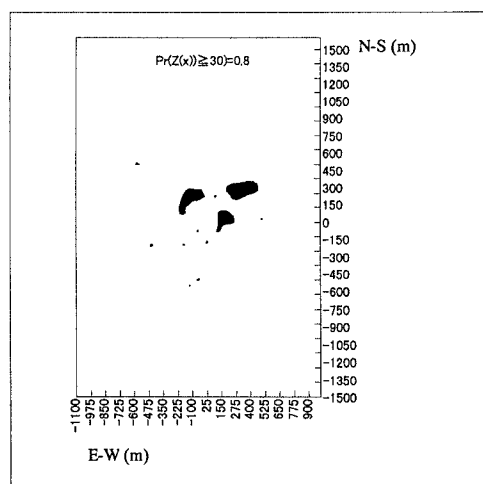


図-3 ハザードマップ ($p \geq 0.8$)

4. まとめ

ハザードマップを、地盤の持つ特性がある危険事象を超過する確率の分布であると定義し、Indicator kriging を用いて、その超過確率の分布の推定を試みた。数値計算例として、比較的観測点が多いため、1995 年兵庫県南部地震におけるポートアイランドでの地盤の垂直変位データを用いた。 $+30(\text{cm})$ 以上の垂直変位が発生するところを危険地帯と仮定し、その超過確率 $p \geq 0.7$ および $p \geq 0.8$ の分布をハザードマップとして求めた。今回求めたハザードマップは、あくまで数値計算例であり、この結果から地中埋設管の被害予測ができるというものではない。

参考文献 1) Yamamoto, K. and Masaru, H.: Application of Conditional Stochastic Field to Mapping of Ground vertical Displacement, Proceeding of the Sixth Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasure Against Soil Liquefaction, pp.153-162, 1996

2) Solow, A.: Mapping by Simple Indicator Kriging, Mathematical Geology, Vol.18 No.3, pp.335-352, 1986

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・地盤変位及び地盤条件, (財) 地震予知総合研究振興会, 1995, 5