

## 液状化領域の空間分布異方性に関する研究

福井工業高等専門学校 正会員 ○吉田雅穂  
 金沢大学大学院自然科学研究科 正会員 宮島昌克  
 金沢大学工学部 正会員 北浦 勝

### 1. はじめに

液状化による側方流動が発生すると大きな地盤変位が広範囲に生じるため、当該地点の土木建築構造物には大きな破壊外力が作用することとなる。1995年兵庫県南部地震を契機に、道路橋示方書の中でも基礎の耐震設計においてこの側方流動を考慮することが規定されたが、その発生範囲、流動量、さらに流動方向を決定する明確な基準は設けられていない。著者らはこれまで、地盤統計手法であるKriging法を用いた液状化領域の空間分布推定法に関する研究を実施しており<sup>1)</sup>、現在はそれによる地盤の側方流動や沈下等の変位予測法について検討を行っている。その検討結果のひとつとして、1964年の新潟地震をケーススタディとして解析を行い、液状化層上面の傾斜と表層付近に存在する地盤軟弱部、すなわち地盤条件の平面的、また空間的な分布特性の変化が<sup>2)</sup>、側方流動の変位量及び方向に大きく影響していることを指摘した<sup>3)</sup>。

地盤を構成する土の物性値は、その材料、組成構造、成因などによって様々であるが、それをある領域として捉えた場合、水平及び鉛直方向に対してその分布にある特徴を持つ場合が多い。本研究は、これを地盤物性値の空間分布異方性と称して液状化問題に適用するものであり、その異方性が液状化による側方流動の量や方向、また分布特性に与える影響について検討するものである。

### 2. 解析概要

対象とした地区は、1964年の新潟地震で液状化被害の発生した、信濃川とJR新潟駅に挟まれた東西0.6km×南北1.1km×深度20mの領域である。対象地区の地表面はほぼ平坦であったが、地震後に生じた永久変位は最大で地盤沈下約2.0m、地盤隆起約1.4m、側方流動約4.0mであった。図1は対象地区の地震後の鉛直変位と水平変位を示したものであり、航空写真測量によって求められた値<sup>3)</sup>をそれぞれ50m四方のメッシュデータに変換してある。

標準貫入試験より得られるN値は地盤の硬軟を示す値であり、側方流動のような地盤の変形に影響を及ぼす代表的な地盤物性値である。本研究では、このN値の空間分布異方性と側方流動の関係について検討を行った。なお、N値のデータは対象地区内外に存在する計26本のボーリング柱状図より得られている。

地盤物性値の分布特性を表現する指標として、本研究では次式に示すSemivariogram:  $\gamma(\bar{h})$  を用いる。式中、 $x_i$  と  $y_i$  は距離  $\bar{h}$  だけ離れたデータの物性値であり、 $N(\bar{h})$  はその組数である。

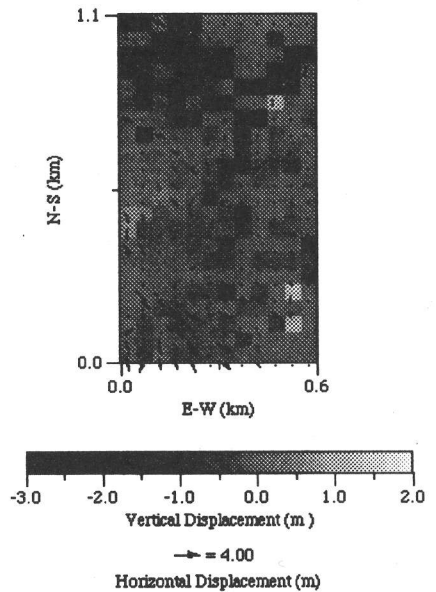


図1 地盤変位

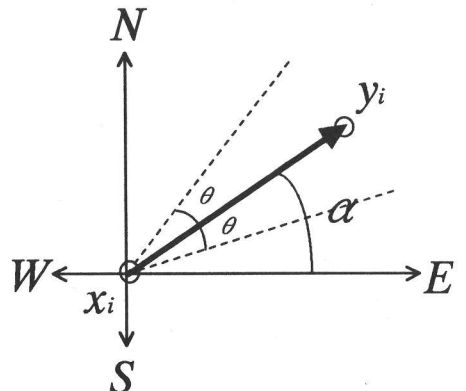


図2 方向軸の概念

$$\gamma(\bar{h}) = \frac{1}{2N(\bar{h})} \sum_{i=1}^{N(\bar{h})} (x_i - y_i)^2 \quad \bar{h} = h \pm \Delta h$$

上式を用いて任意の方向軸，例えば図2に示すように基準線から $\alpha$ の角度を有するSemivariogramを求めるには， $N(\bar{h})$ 個のデータの組から図のような配置のデータのみを抽出して算出すればよい<sup>2)</sup>。しかし，同一方向軸を持つデータの組は数に制限があるため，本研究ではその方向に $\pm\theta$ の幅を持たせている。本解析では， $h$ を0.1km刻み， $\Delta h$ を0.05km， $\theta$ は $20^\circ$ とした。

### 3. 解析結果

側方流動により変位した部分は表層付近の地盤であると思われるため，本研究では地表面から5mの深さまでの層を対象として検討を行った。図3は計26本のボーリングデータより得られた，深度1mから5mにおける $N$ 値の分布特性を示したものである。なお，同一深度に存在しない $N$ 値については上下の値を用いて線形補間した。 $N$ 値10以下のデータが多く比較的軟弱な地盤であることが分かる。なお，土質は粗砂，中砂を主体としており， $F_L$ 値による液状化判定の結果では，対象地区の液状化層は深度約10m以浅に存在していることが明らかとなっている<sup>2)</sup>。

図4に深度5mまでの平均的なSemivariogramを，方向軸ごとに求めた結果の一部を示す。図には最小自乗法により指数関数で近似した分布曲線も併せて示した。方向の違いで分布特性が大きく変化する様子が良く分かる。図5は各方向軸について同一なSemivariogramの得られる距離 $h$ を図4の回帰式より求め，方向軸ごとに極座標にプロットしたものである。すなわち，この値が $N$ 値の相関距離を表すものである。これは，基準線からの角度 $\alpha$ を $20^\circ$ ずつ変化させた結果であり，東西方向を軸に南北で対称となっている。

図より北東から南西方向の値が小さく，逆に北西から南東方向の値が大きくなっており，方向軸の特徴が明確に表れていることが分かる。この方向は図1に示される大きな側方流動の変位方向と一致しており，両者の因果関係を示唆するものとして大変興味深い。今後はさらに多くのケーススタディを実施し，上で示した方向軸と側方流動との関係について調べていきたい。

参考文献 1) Masaho YOSHIDA et al : Estimation of Spatial Liquefaction Potential using Kriging Technique, Proc. of the First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Vol.2, pp.911-916, 1995. 2) Masaho YOSHIDA et al : Evaluation of Liquefied Ground Flow Based on Estimation of Spatial Liquefaction Potential, Proc. of the Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Vol.2, No.1051, 1996. 3) Hamada, M.: Large Ground Deformation and their Effects on Lifeline, 1964 Niigata Earthquake, Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes, Vol.1, NCEER, 3.1-3.123, 1992. 4) Edward H. Isaaks and R. Mohan Srivastava : An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, 1989.

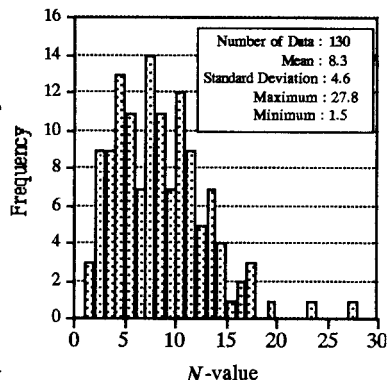


図3 N値の分布特性

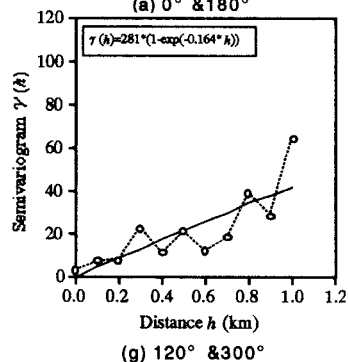
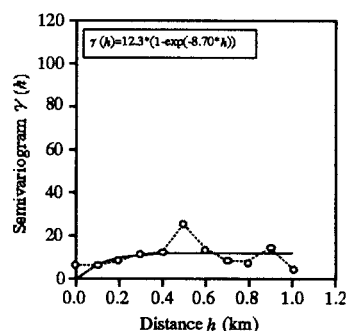


図4 Semivariogram

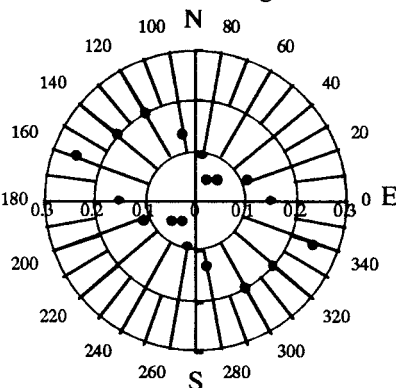


図5 方向軸の分布