

III - A143

液状化地盤の流動方向予測のための地盤の硬軟分布推定

福井工業高等専門学校 正会員 吉田雅穂
 金沢大学工学部 正会員 宮島昌克
 金沢大学工学部 正会員 北浦 勝
 福井大学工学部 辻慎一朗

1. はじめに

液状化に伴う地盤流動に関して、変位量については従来よりその予測法などが提案されているが、変位方向についてはあまり検討がなされていない。これは、流動現象の多くが傾斜地盤や護岸近傍地盤で発生しており、前者では標高の高い所から低い方向へと、後者では護岸傾斜方向、すなわち海側や川側へというように、その方向が一次的に定まるためと考えられる。しかし、過去の流動事例を調べてみると、地表面がほぼ水平であり、また護岸近傍にない地盤において、数メートルもの水平変位が生じている事例が確認されている。著者らは、このような水平地盤における流動の方向性を決定づける要因の一つとして、 N 値の平面的な分布特性、すなわち地盤の硬軟分布に注目し検討を行っている。この地盤の硬軟分布特性を示す指標としてバリオグラムを利用し、1964年新潟地震をケーススタディとして検討を行った結果、地盤内に存在する液状化領域や軟弱領域の不均一な分布状態が、流動の方向性に影響を与えている可能性を指摘した¹⁾。本研究では、既に提案している地盤の硬軟分布評価法を一部改良したので、その手法を紹介すると共に、本法を1995年兵庫県南部地震における流動事例に適用した結果について示す。

2. 解析方法

従来の解析では、 N 値の分布特性を示す指標としてバリオグラムを用いていたが、この関数はある2地点の N 値の二乗平均を求める形となっているため結果は全て正となり、2地点の N 値の相対的な大小関係が不明であった。そこで本解析では、次式のように二乗を外した関数を正負バリオグラムと定義し、 N 値の増減方向も考慮できるように工夫した。式中の x_i と y_i は距離 h だけ離れた地盤の N 値であり、 $N(h)$ はその組数である。

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

なお、上式の回帰式としては次式を用いており、式中の a と b は正負バリオグラムごとに定まる係数である。

$$\gamma(h) = a \{1 - \exp(-b * h)\} \quad (2)$$

対象地盤で得られた複数個のボーリングデータを用いて、式(1)より任意の方向の、例えば図1に示すように方位角 α で定まる方向軸についての正負バリオグラムを求める場合には、 $N(h)$ 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。しかし、同一方向軸を持つデータの組には数に限りがあるため、本解析では各方向に $\pm\theta$ の許容角度を設けている。また、計算の際には計算刻み角 β を変化させることによって、任意の方位角の正負バリオグラムが算出可能である。本研究では、 β を 45° 、 θ を $\pm 22.5^\circ$ として解析を行った。なお、同図において方位角が $0^\circ \leq \alpha < 180^\circ$ の範囲にある場合の N 値の大小関係は $x_i \geq y_i$ であり、この時求まるものを正バリオグラムと定義した。また、方位角 $180^\circ \leq \alpha < 360^\circ$ の場合は $x_i \leq y_i$ であり、これを負バリオグラムと定義した。

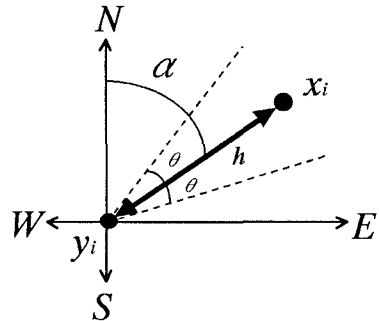


図1 方向軸

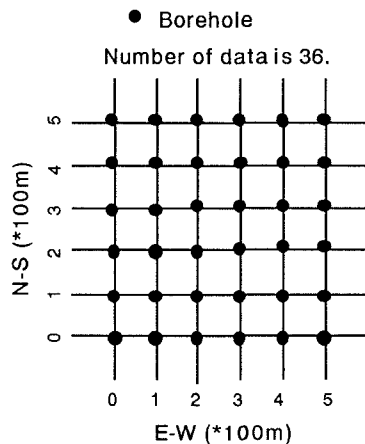


図2 モデル地盤のデータ配置

キーワード：地震、液状化、流動、 N 値、バリオグラム、1995年兵庫県南部地震

連絡先：〒916-8507 鯖江市下司町 TEL: 0778-62-8305 FAX: 0778-62-3416 E-mail: masaho@fukui-nct.ac.jp

3. モデル地盤による硬軟分布のパターン化

まず、図2に示すように500m四方の地盤にボーリングデータが100mごとに36個存在するモデル地盤を想定し、ある深度において図3のようにN値が分布する9種類の地盤について正負バリオグラムを求め、その特徴をまとめた。ここで、各点におけるN値は0から5までの値としており、同図では黒い方がN値の小さいことを示している。なお、図3の地盤は次のように4パターンに分類することができる。(a), (b)はN値が一方向に徐々に変化していく地盤（パターン1）、(c), (d)は周囲から徐々にN値が変化していく地盤（パターン2）、(e)はN値が一方向に徐々に変化し途中で局所的に変化する地盤（パターン3）、(f), (g), (h), (i)は局所的にN値が変化する地盤（パターン4）である。このうち、パターン1の特徴をまとめた結果を表1に示す。以上より、正負バリオグラムを任意の方向軸で求めることによって、対象地盤のどの方向にN値が増減しているか、またその変化の度合いはどの程度かといった、地盤の形成過程で生じたN値の分布の平面的な不均一性が容易に推定できることが明らかとなった。

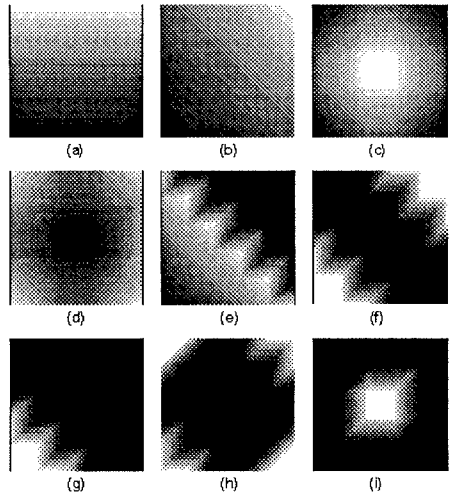
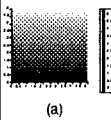
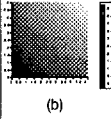
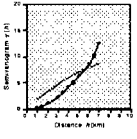


図3 N値の分布パターン

4. 実地盤における硬軟分布と地盤流動との関係

流動方向予測のための検討の一例として、兵庫県南部地震の際に液状化による地盤流動が確認されている、神戸市東灘区の御影・住吉浜を対象とした解析結果を示す。この地盤の地表面勾配は最大でも0.7%程度と工学的にはほぼ水平な地盤と考えられるが、護岸から100m以上離れた内陸部においても、最大で約2mの水平変位が発生していた。正負バリオグラムによりこの地盤の硬軟分布パターンを調べたところ、その特徴として45°で右上がり、0°と180°と315°で小さく一定値という傾向が確認され、これより、この地盤は北東方向にN値が増加する地盤と、南北方向に均一な地盤から構成されていることが推定された。

表1 正負バリオグラムの特徴

地盤パターン	バリオグラム	正バリオグラム	負バリオグラム
N値が一方向に徐々に変化していく地盤  (a)  (b)		(a)の場合 ・0°, 45° は右上がり ・90° は小さく一定値 ・135° は得られない	(a)の場合 ・180°, 315° は右上がり ・270° は小さく一定値 ・225° は得られない
		(b)の場合 ・0°, 45°, 90° は右上がり ・135° は小さく一定値	(b)の場合 ・180° は右上がり ・315° は小さく一定値 ・225° と270° は得られない

また、硬軟分布と地盤流動との関係を調べるため、式(2)による正負バリオグラムの回帰式より各方向軸において同一なバリオグラム値の得られる距離、すなわち相関距離を求め、またその方向軸における地盤の水平変位の平均値を求め、両者の関係を調べた。図4にその結果を示す。これは、相関係数の最も大きな結果であるが、これより右上がりの関係が得られれば、N値の変化の比較的少ない均一な方向に沿って、大きな流動が発生していたことを示すものである。同図よりその傾向が確認でき、この傾向は新潟地震における新潟市の事例解析¹⁾と同様の結果であり、地盤流動の方向性予測における本手法の有効性が示された。

最後に、本研究は文部省科学研究費（奨励研究(A)）の補助によって行われたものであり、記して謝意を表する。

参考文献 1) Yoshida, M., Miyajima, M. and Kitaura, M. : A Simplified Procedure to Estimate Liquefaction-Induced Large Ground Displacement Using Spatial Liquefaction Potential, Proc. of the 7th ICOSSAR, 1997 (in press).

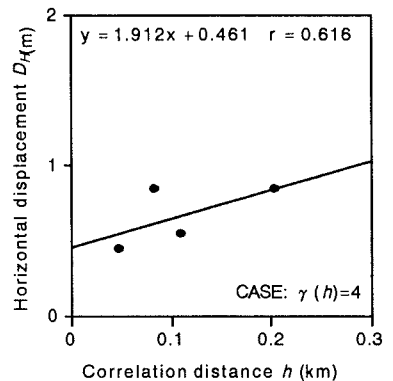


図4 地盤流動と相関距離との関係