

## 地盤定数の空間分布を考慮した液状化領域の予測

金沢大学大学院 学生員 ○ 河出和己  
 金沢大学工学部 正会員 北浦 勝  
 金沢大学工学部 正会員 宮島昌克  
 福井高等専門学校 正会員 吉田雅穂

### 1. はじめに

地震時に生じるライフライン構造物の被害は、地盤の液状化に起因するものが多い。これらの構造物は面的に張り巡られており、耐震工学上、地盤の面的な把握が要求される。著者らは、これまでボーリング調査データより算出した $P_L$ 値を基に液状化発生範囲の予測を考えてきた<sup>2)</sup>。この $P_L$ 値はボーリング調査データを基に算定した $F_L$ 値を平面的に捉えたものである。しかし、面的構造物に大きな影響を与える液状化による地盤変状（永久変形・地盤沈下）を考える場合、地盤内部を空間的に考える必要がある。そこで、既存のボーリング調査データの空間分布を基に、任意地点の地盤定数を確率的に推定し、さらにそれを基に液状化領域の予測を試みている。本論は、絶対数の不足が問題になっているボーリングデータを有効的に活用することにより、地中埋設管等の面的構造物の耐震性を向上させるための基礎的研究である。

### 2. 推定方法

ボーリングデータによって得られた3次元的な $F_L$ 値を基に、ボーリング点が存在しない任意地点の $F_L$ 値を推定する。既存点を基に未知点を推定する確率場の方法論には、多次元ガウス分布を用いる方法<sup>1)</sup>、Kriging法<sup>2)</sup>がある。本論では、既存点が少ないときに有効と考えられる後者を用いた。このKriging法とは、不偏推定と最小2乗分散推定を基にした線形補間法であり、推定値のみならず推定誤差までも評価することができる。本論ではこの推定誤差を正規分布に従うとして推定に取り込んでいる。

ここで、確率場をどのように取るかが問題になる。ここでは、推定地点を中心としたある楕円面を仮定し、その領域内のボーリングデータにおける確率場 (semi-variogram) を形成して、それを基に推定を行なっている。さらに、確率場における推定精度を上げるため、既存点における推定誤差の空間分布も考慮して推定を修正している。すなわち、誤差の大きい地点からの自己相関性を減少させている。

この推定は、メッシュ毎に推定を行なっているが、メッシュにおいては、空間平均や見掛け上の分散の低減等を考慮する必要がある<sup>3)</sup>。

この推定方法の概念図をFig.1に、フローをFig.2に示す。

### 3. 推定対象地域と液状化発生確率

金沢市北部に位置する粟崎地域を推定対象地域とする。この地域は、約100年前の濃尾地震(1889)の際、液状化したことが記されており、地震時の液状化による被害の甚大さが懸念されている地域である。この地域には、13のボーリング地点が約2.25 (km<sup>2</sup>)の範囲から得られている。このボーリング調査データを基に $F_L$ 値を算定し、これを基本データとして液状化領域の予測を行なう。 $F_L$ 値は1.0以下のとき、動的せん断応力比が地盤抵抗応力化を

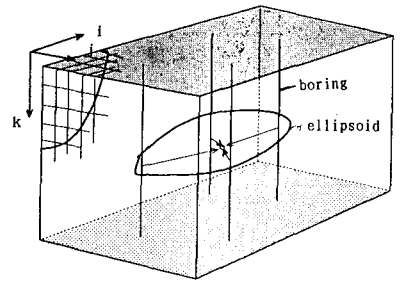


Fig. 1 空間推定の概念図

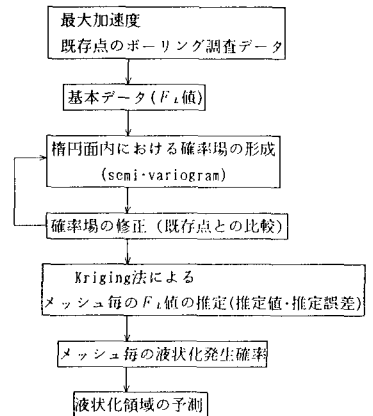


Fig. 2 推定方法のフロー

化発生確率（百分率表示）と称し、これを求める。

$$P_x(x < 1.0) = \int_{-\infty}^1 p(x | x_1, \dots, x_n) dx = \Phi\left(\frac{1.0 - x_0}{\sigma_0}\right)$$

ここで、 $P_x(x < 1.0)$ :  $F_L$  値の液状化発生確率、 $p(x | x_1, \dots, x_n)$ : 既存点による  $F_L$  値の確率密度、 $\Phi(\cdot)$ : 標準ガウス分布関数、 $x_0$ : Kriging法による推定値、 $\sigma_0$ : Kriging法による推定誤差を表わす。

本論で用いる液状化発生確率とは、最大加速度を確定値としたときの、条件付き確率である。したがって、地震動も考慮した液状化の発生確率を考える場合は、地震動の発生確率(ポアソン分布)と本論での液状化発生確率との積でそれを表現する必要がある。

4. 推定結果

深さ  $k$  において、対象地域全体の液状化のしやすさを表す指標 ( $LR$ ; Liquefaction Ratio) を以下に定義する。

$$LR_k = \frac{\sum a_{ij,k} \cdot P_{ij,k}}{A_k}$$

ここで、 $k$ : 深さ、 $i, j$ : 水平座標、 $P$ : 液状化発生確率、 $a_{ij}$ : メッシュにおける面積、 $A_k = \sum a_{ij,k}$  を表す。深さ方向の  $LR$  を Fig. 3 に示す。これより、最大加速度が 120 (gal) を境として急に  $LR$  値が大きくなっている。これは、この地域の液状化に対する脆さを表している。

最大加速度が 120 (gal) における推定結果の一例を Fig. 4.1, 2 に示す。Fig. 4.1 は、深さ 12 (m) における液状化発生確率のコンターラインを示したものである。60 (%) 以上のところをハッチング表示した。地盤を深さ方向に面的に見ることにより液状化発生面を推測することができる。Fig. 4.2 は、ある断面における液状化発生確率のコンターラインを示したものである。このように、断面方向から液状化発生面を推測できることより、液状化に起因する地盤沈下、永久変形を予測することができる。これらの図より、地盤内部の液状化による影響を総合的に評価できる。

5. おわりに

地盤定数の空間分布特性を確率論的に評価することによって、対象地域の液状化危険度を予測することができた。これらの予測が耐震設計に反映され、面的構造物（地中埋設管等）がより安全性の大きい機構となることが望まれる。

参考文献

- 1) 河出 和己・北浦 勝・宮島 昌克: 地盤物性値の空間分布を考慮した液状化予測, 土木学会第47回年次学術講演概要集 第3部, III-84, pp. 208~209, 1992.
- 2) 例えば, 宝 馨・岡 明夫・浅井 学: 豪雨極値の地域総合化へのKrigingの適用と地形効果の導入, 土木学会中部支部平成3年度研究発表会講演概要集 第2部, II-11, pp. 139~140, 1992.
- 3) Vanmarcke, E. H.: Probabilistic modeling of soil profiles, Jour. of Geotech. Eng., ASCE, Vol. 10, No. GT11, pp. 1227-1246, 1977.

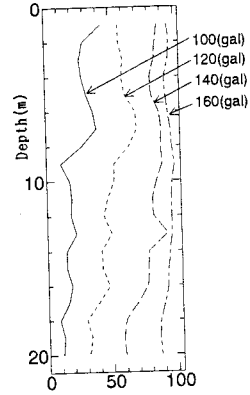


Fig. 3 LRと深さとの関係

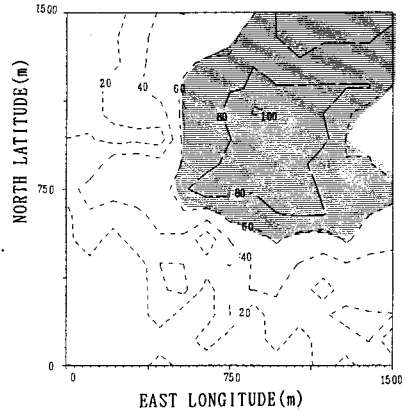


Fig. 4.1 深さ12(m)地点の液状化発生確率:  $P(F_L < 1.0)$

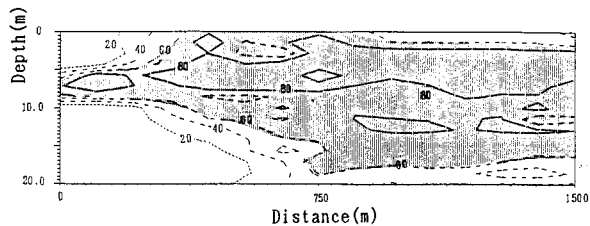


Fig. 4.2 ある断面における液状化発生確率:  $P(F_L < 1.0)$