

(84) 液状化領域の空間分布推定における分布特性評価法

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
金沢大学大学院		福島 聡一郎

1. はじめに

著者らは、液状化領域の空間分布推定法として地盤統計手法であるKriging法を用いた方法を提案している¹⁾。この中で、液状化の判定手法としてはボーリングデータを用いた F_L 値法を使用し、 F_L の分布特性はsemi-variogramという関数で表現している。これまで、過去の被害地震で確認されている液状化の発生した地盤に対して本手法を適用し、その有効性について検討を行ってきたが、推定対象領域の設定方法や推定精度の定量的な検討、また分布特性のモデル化など実利用に向けての検討課題は少なくない。この様な観点から本研究では、幾つかの仮定した地盤モデルを用いて、液状化領域の分布特性の評価法について考察した。

2. 空間分布推定手法

Kriging法は次式に示すように、既知点での物性値に最適な重みを乗じたものの線形和から未知点での物性値を推定するものである。

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \dots (1)$$

ここで、 n は既知データ数、 $\hat{Z}(x_0)$ は推定する地点 x_0 における物性値、 $Z(x_i)$ は i 番目の地点 x_i における既知の物性値である。また、 λ_i は i 番目のデータに与えられる重みであり、推定値の不偏条件と推定誤差分散を最小化することにより求まる。また、物性値の分布特性を示すsemi-variogramは次式より求める。

$$\gamma'(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N \{Z(x_i + \bar{h}) - Z(x_i)\}^2 \dots (2)$$

$$\bar{h} = h \pm \Delta h$$

ここで、 N は距離 \bar{h} だけ離れたデータの組数である。Kriging法の計算では、この実験semi-variogram: $\gamma'(h)$ をある関数モデルで近似し、理論semi-variogram: $\gamma(h)$ として用いる。

3. 分布特性とsemi-variogram

物性値の分布パターンがsemi-variogramに与える影響を検討するため、Fig.1に示すように数ケースの地盤モデルを設定した。図中の数値は各領域の F_L を示し、何れの地盤モデルも縦横11km四方内に計144個のデータが1km間隔で均等に存在している。なお、地盤全体での F_L の平均値は1.0、分散は0.25と全て一定である。

0.50000	0.29280	0.13390
1.5000	1.3536	1.2887
Case 2-1	Case 2-2	Case 2-3
0.38760	1.0000	1.6124
1.0000	1.6124	0.38760
1.6124	0.38760	1.0000
Case 3-1	Case 3-2	Case 3-3
0.32920		
0.77640		
1.2236		
1.6708		
Case 4-1		

Fig.1 Patterns of F_L -value.

Fig.2(a)は分割数を変化させた結果であり、 F_L の分布並びの変化の度合いによる影響を調べたものである (Case2-1, 3-1, 4-1)。また、Fig.2(b)は分割数が2で両者の面積比を変化させた結果であり、 F_L の分布の均一性による影響を調べたものである (Case2-1, 2-2, 2-3)。何れのケースもほぼ同様の傾向であり、距離 h の増加と共にsemi-variogramは増加し、すなわち2地点間の間隔が大きくなるほど物性値のばらつきが大きくなることを示しており、分割数及び面積比による明瞭な違いは見られない。次に、Fig.2(c)は分割数が3で分布序列を変化させた結果であり、 F_L の分布並びによる影響を調べたものである (Case3-1, 3-2, 3-3)。Case3-1のように F_L の並びが線形的に変化している場合には、semi-variogramも同様に線形的に変化するが、Case3-2とCase3-3のように序列が非線形な場合には、地盤境界を跨ぐ距離 h が約4km以上の部分で振動しながらある一定値に収束するような傾向を示し、明らかに他のケースとは異なっている。

以上より、地盤全体の物性値から判断して一見均一な地盤の様であっても、領域内に人工地盤や旧河道など明らかに地盤条件が異なる不均一な領域が存在する場合には、semi-variogramの分布特性が大きく影響を受けることは明白である。従って、推定領域の設定においては、得られたサンプルデータの値や配置などを十分に吟味し、対象領域全体の特徴をある程度把握しておく前処理が必要と思われる。

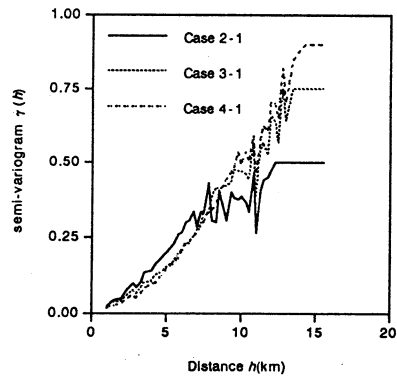
4. Kriging法の推定精度

4.1 地盤モデルの作成

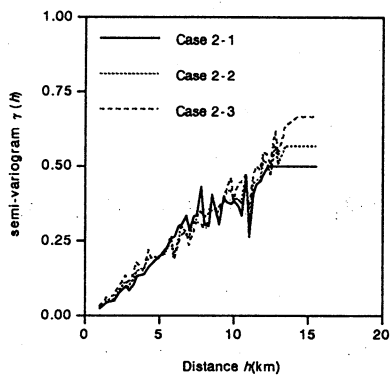
実際のサンプルデータを用いて本手法の推定精度の検討を行う場合、対象地盤の地域性が反映され、またsemi-variogramの分布も大きくばらつくことが予想される。そこで、予め仮定した次式に示す理論semi-variogramを基に、Fig.3に示すような20個のデータの分布する地盤モデルを作成した。

$$\gamma(h) = 0.50 \{1.0 - \exp(-2.0h)\} \cdots (3)$$

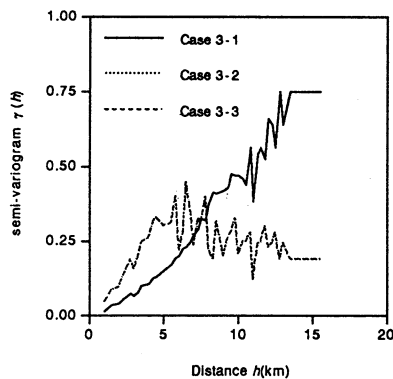
データの座標値は0~1の一様乱数で決定し、物性値である F_L は平均値1.0、分散0.25の一様正規乱数で決定した。なお、設定した F_L の分布 $N(1.0, 0.25)$ に対して作成された分布は $N(1.1, 0.27)$ であった。



(a)



(b)



(c)

Fig.2 Comparison of semi-variogram.

Fig.4に仮定した式(3)の理論semi-variogramと、作成された実験semi-variogramを併せて示す。

4.2 推定精度の検討

上記の地盤モデルを対象として、Kriging法により推定した F_L とその推定誤差分散の分布をFig.5に示す。Fig.3のデータの分布と比較すると、データの粗な所では F_L の分布は比較的単調であり推定精度は低くなっている。従って、サンプルデータは領域内に均等に分布していることが望ましい。また、20個のデータから1個のデータを除外した19個のデータを用いて同様に推定を行い、除外点での実際値と推定値を比較した。Fig.6は20個全てのデータについて上記の手順で算出した結果を示したものである。非常にばらついており、各データの推定値±標準偏差の区間内に実際値が存在する割合は9/20と非常に低い確率となっている。semi-variogramの仮定によりこの結果は異なるが、この推定誤差が実際問題への適用においてどの程度まで許容可能であるかの判断が重要な課題である。

4.3 関数モデルによる影響

式(3)の指数関数モデルに対し、実験semi-variogramを線形1次関数モデルで近似すると次式の通りであり (Fig.4参照)，これを用いて同様に推定したものをFig.7に示す。

$$\gamma(h) = 0.46h \quad \dots (4)$$

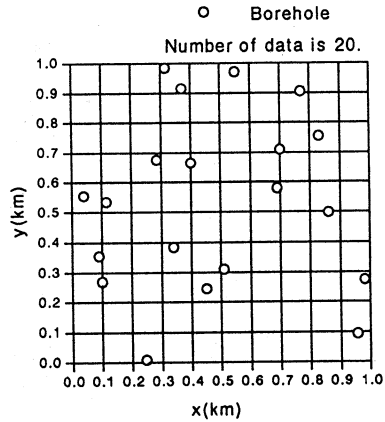


Fig.3 Distribution of boreholes.

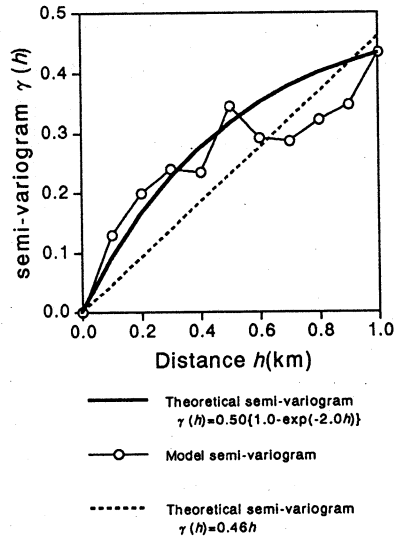


Fig.4 Semi-variogram

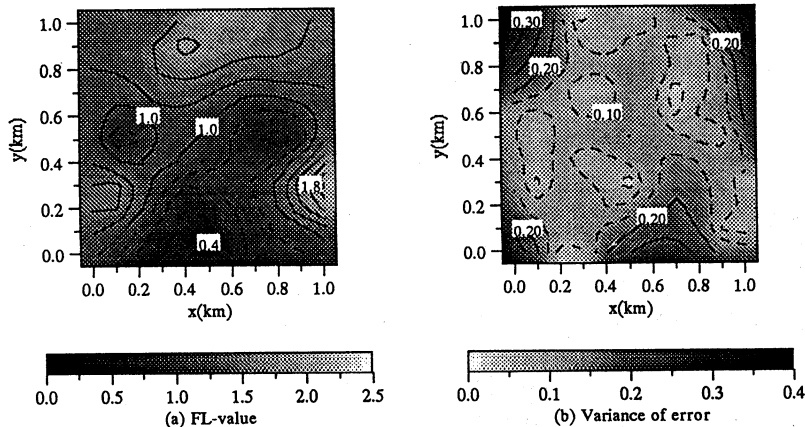


Fig.5 Results of estimation (an exponential function).

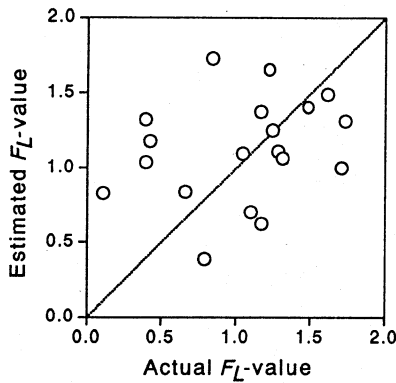


Fig.6 Relationship between actual and estimated F_L -value.

F_L の分布はFig.5と比較的似通った分布となり、地盤全体の推定誤差分散の平均値も約0.14とほぼ同一の結果となった。ただ、Fig.4からも明らかのように式(4)の場合では距離 h の小さな所で実験 semi-variogramとの整合性が悪く、その影響がFig.7の推定誤差分散の分布に表れている。実験 semi-variogramの関数モデル化については、上で述べた推定誤差の許容値により、どこまで精度良くフィッティングさせるべきかが決定されるものと思われる。

4.4 データ数による影響

Fig.8はサンプルデータ数を1個から20個まで変化させた場合の推定誤差分散の変化の一例を示したものである。ただし、semi-variogramは全て式(3)を使用している。データ数の減少に伴い推定誤差分散が増加しており、データ数の増加が推定精度の向上に繋がることは明白であるが、対象領域内のデータ密度や配置などが推定結果に与える影響については別途検討を要する。

5. おわりに

以上、液状化領域の空間分布推定における F_L の分布特性評価法について、数種類の地盤モデルを対象に検討を行った。今後更に検討を進め、実利用に向けての指針を示していきたい。

参考文献 1) 吉田雅穂・宮島昌克・北浦 勝：液状化領域の空間分布推定法に関する検討，第29回土質工学研究発表会平成6年度発表講演集，3分冊の2，pp.1047-1048。

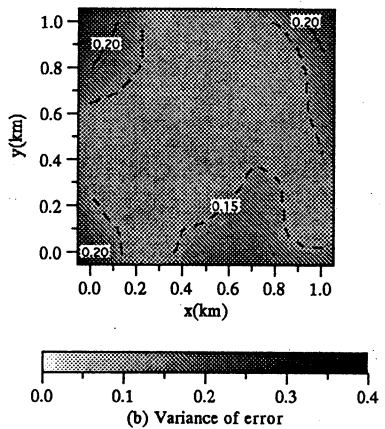
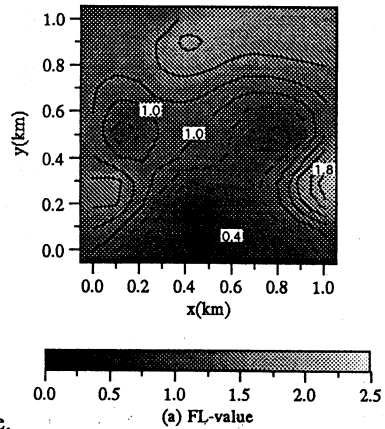


Fig.7 Results of estimation (a linear function).

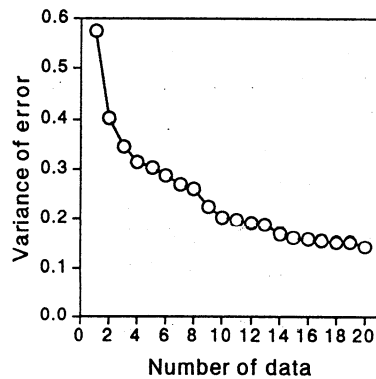


Fig.8 Relationship between number of data and variance of error.