

## クリッキング手法を用いた地盤物性値の空間分布推定とその応用

鳥取大学工学部 正会員 白木 渡  
鳥取大学工学部 正会員 松保重之  
鳥取大学大学院生 学生員○西谷高広

1. まえがき 構造物を設計し、建設するにあたって、まず必要となる重要な情報の一つとして、建設対象地域における地盤に関する情報、すなわち地盤物性値が挙げられる。地盤物性値は、本来空間上にばらつきを持って分布しているが、経済的な制約のためそれらを正確に把握することができない。したがって、このような地盤物性値の空間的バラツキをいかに合理的に把握するかということが重要な問題となる。

本研究においては、地盤物性値の空間分布を確率場の一つの実現象である標本場における地盤物性値の空間分布推定法として、クリッキングと呼ばれる推定法<sup>1)</sup>を用いて、地盤物性値の内N値に注目し、その空間分布をモデル化する手法の定式化を行い、推定したN値の空間分布モデルを道路橋橋脚の杭基礎の支持層推定に適用することにより、その有効性を検討する。

2. クリッキング理論 一般に均質な確率場としてモデル化する事が出来ない物理量 $Z(x)$ の空間分布を推定する場合、確定値で表されるトレンド成分 $m(x)$ と均質な確率場 $W(x)$ で扱うランダム成分の和で式(1)と表す。

$$Z(x) = m(x) + W(x) \quad (1)$$

$$W^*(x_r) = \sum_{i=1}^N \lambda_i(x_r) W(x_i), \quad \lambda_i(x_r): \text{重み係数} \quad (2)$$

$$C\{W(x_r), W(x_m)\} = \sum_{i=1}^N \lambda_i(x_r) C\{W(x_i), W(x_m)\}, \quad m=1 \sim N \quad (3)$$

$$\rho(\Delta x, \Delta y) = \exp \left\{ - \left[ \left( \frac{\Delta x}{L_x} \right)^2 + \left( \frac{\Delta y}{L_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \quad (4)$$

また、標本場 $Z(x)$ において、Nカ所で標本値 $Z(x_i); i=1 \sim N$ が観測されており、共分散関数 $C\{Z(x_r), Z(x_m)\}; (x_r, x_m)$ は任意座標ベクトルは推定されているものとする。

N個の標本値 $Z(x_i)$ を用いて、任意の点 $x_r$ における確率場 $W(x_r)$ を線形和として式(2)と表せると仮定する。式(2)において期待値をとれば、標本場のエルゴード性の仮定により $E[W^*(x_r)] = E[W(x_r)] = 0$  となり、不偏推定式となる。

ここで、誤差分散 $\sigma^2(x_r) = E\{[W(x_r) - W^*(x_r)]^2\}$ を最小とするように重み係数 $\lambda_i(x_r)$ を決定すると、式(3)となる。この連立方程式を解けば、重み係数 $\lambda_i(x_r)$ は求まる。

3. 地盤物性値の空間分布推定法 ここで、鳥取県東伯郡関金町浅井地区の一般国道313号「犬狹峠道路」の浅井第2橋(橋長375m)建設対象区間で行われたボーリング調査データ<sup>2)</sup>を用い、この区間内のN値の空間分布推定をDL層を対象に行った。調査データについては、表1、図1に示す。

橋脚基礎の設計のためのN値の推定を行うことを目的として、P5橋脚位置とその近傍でのN値の空間分布推定を行った。推定に用いたN値データは、表1に示した事前調査で得られた38個(ケ-1)と、それに追加ボーリングで得られた42個を加えた70個(ケ-2)を用いた。

トレンド成分は、統計手法を用いて、DL層に関してデータ処理をした結果、深さ方向に関してだけ見だされ、 $N=4.022+5.235Z$ と与えた。ランダム成分の相関特性は、水平方向、深さ方向の2成分に分解できるとして、式(4)の2次元自己相関関数モデルを用いた<sup>3)</sup>。

DL層について推定した結果、 $L_x=2.982(m)$ 、 $L_y=111.945(m)$ と与えた。推定結果を図2(ケ-1)、図3(ケ-2)に示す。

ここで、P5橋脚位置は地点位置No. 37から82.0mの位置、近傍位置Kは地点位置No. 37から70.0mの位置である。

図2、図3を見ると、かなり形が違っているがその理由としては、ケ-1の場合相関距離内にあるBr. 10, 11, 12の3ヶ所で得られたデータに影響を与えられ、特にBr. 10のデータに引張られるように深さ6~7mのあたりでトレンドに反して、N値がわずかに減少する傾向が見られるのに対して、ケ-2では、推定地点の近傍にBr. B-4, 5, 6の3ヶ所のデータが加えられ、特に最も近い地点Br. B-4の影響を大きく受けているためである。

また、推定誤差に関しても、N値が50に達する深さが、ケース1では4.4~11.7mほどの大きさになっているのに対して、ケース2では7.4~8.0mとかなり小さくなっていることがわかる。つまり、事前調査で得られているボ

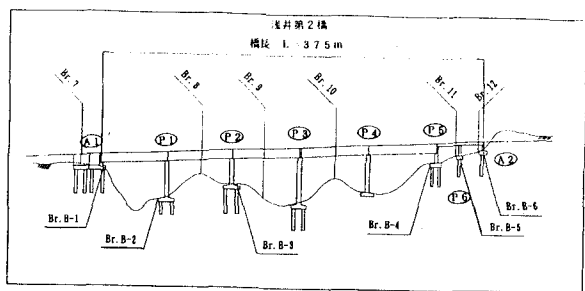


図1 ボーリング調査位置の概略

表1 ボーリング調査データ (DL層)

| 調査本数<br>(本) | 調査深度<br>(m) | 平均調査間隔<br>(m/本) | 標準貫入試験<br>(回) |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|
| 6+1<br>(6)  | 6~          | 27.6            | 38            |
|             | 47          |                 | (42)          |

( )内は追加ボーリングデータ

ーリングデータが橋脚位置付近にない場合、推定誤差は大きくなり、また、追加ボーリング6本を行い橋脚位置近くにボーリングデータが得られた場合、推定誤差は非常に小さくなる。もし、要求されている推定誤差が、ケース2ほど小さくなくて良いなら、追加ボーリングの本数を減らすことが出来るといえる。

#### 4. N値の空間分布の推定を利用した

**深礎杭の設計** ここでは、P5橋脚位置で地層の空間分布を推定し、深礎杭の設計を行なった。N値の空間分布推定結果を用いて、同一のN値を結び各層厚を推定する方法を用いた。N値50をDL層とDM層の境界であるとし、クリッキングによって地層線を推定した。ここで、DL、DM層の境界線はボーリングBr. 11とP5 (No. 37+82、クリッキング)とNo. 37+70 (クリッキング)のN値50の位置を直線で結んで決めている。図4に追加ボーリング無しでの推定地層線を示す。ここで、実線は当初設計<sup>4)</sup>を表わし、深礎杭は、 $\phi 250$ 、 $L=9.0$ mとされていた。また、破線はクリッキングによる推定を表わし、安定計算の結果、杭長が $L=10.0$ mとなった。P5橋脚の深礎杭の施工に際して推定線よりかなり上層でDM層が確認され、各橋脚位置で6本の追加ボーリングが行なわれ、それらの資料をもとに設計の見直し<sup>4)</sup>が行なわれた。その結果、P5橋脚では杭長が10mに変更された。設計の見直しで得られた推定線および追加ボーリングを含む全データを用いて、クリッキングにより推定した地層線を図5に示す。

**5. 考察** 基礎構造物の設計において、支持層あるいはほぼ同じような性質を持つ層、たとえばN値50以上の層の深さおよび層の厚さを正確に推定することは非常に重要である。にもかかわらず、調査費用と時間に制約をうけ、少ないボーリングデータと地形から設計者の経験と感で推定されているのが現状である。今回の研究では、これまで得られているボーリングデータを有効に利用して、クリッキング手法によりボーリングの無い地点のN値の空間分布を求め、その結果をもとに杭基礎設計のための地層の推定を行なう1つの方法を提案した。この方法によれば設計者の違いにより推定線の推定結果が異なるということは生じない。

また、推定値の推定誤差分散 $\sigma^2$ が得られるため、与えられた許容誤差内におさまるような信頼度の高い設計結果を得ることが期待できる。

#### 参考文献

- 1) Ripley, B. D.: Spatial Statistics, John Wiley and Sons, 1981.
- 2) 鈴木 誠: 地盤物性値の空間分布特性の確率論的記述と地盤工学における信頼性設計の基礎的研究, 1990, 4.
- 3) 山口地区地質調査業務報告書(昭和63年度)
- 4) 一般国道313号犬伏峠道路浅井第2橋設計(その2)業務報告書(平成3年度版)および(平成5年度版)

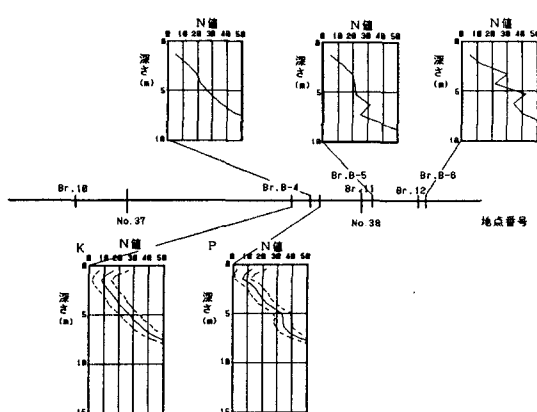


図3 橋脚P5とその近傍のN値の推定(ケース1)

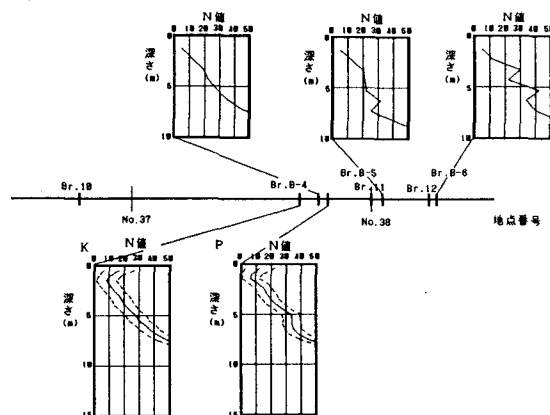


図3 橋脚P5とその近傍のN値の推定(ケース2)

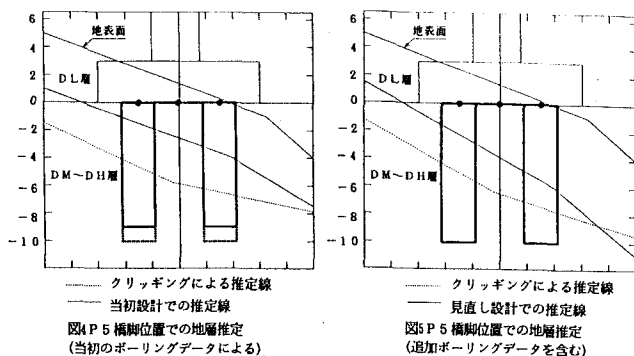


図4 P5橋脚位置での地層推定  
(当初のボーリングデータによる)

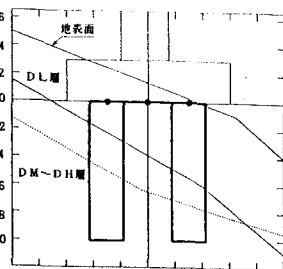


図5 P5橋脚位置での地層推定  
(追加ボーリングデータを含む)