

京都大学大学院 正会員 大西有三
京都大学大学院 正会員 大津宏康
京都大学大学院 正会員 田中 誠
東京大学大学院 学生会員 ○高橋慶成

1. はじめに 廃棄物埋立ダムにおいては、一般のダムに比べより高い遮水性が基礎岩盤に求められる。そのため、ダム基礎岩盤の性質をできるだけ正確に定量化することが非常に重要となっている。ダム基礎岩盤におけるカーテングラウチングでは、現在多くの場合において経験に頼った施工がなされているが、グラウトされたダム基礎岩盤の遮水性を正確に評価するためには、ルジオン値分布の正確な推定が不可欠である。より精度の高い推定を行うためにはより数多くのデータが必要であるが、経済的あるいは時間的な制約により多くのデータを得ることは難しい。そこで本研究では、限られたデータより最尤法[1]、時間軸も考慮したクリギング[2](多次元クリギング)手法等を用いて、刻々と変化していくダム基礎岩盤のルジオン値分布を推定した。

2. 解析手法 ある地盤物性値Zは次式のように、全体的な挙動をマクロ的にとらえたトレンド成分μと統計的に均質な確率場で扱うランダム成分εとの和で表現できると仮定する。

$$Z = \mu + \epsilon \tag{1}$$

ランダム成分は、平均が0で、共分散関数によって時空間分布特性が表現される。本研究では段階を追って行われるグラウチングに対して、注入による場の変化を考慮するため時間方向にだけ1次のトレンド関数(μ=pt+q)を仮定したもの(1)と、トレンド成分として定数(μ=b)のもの(0)とを設け比較した。時間成分としては、注入の程度を考慮するために累積注入セメント量を用いたもの(c)と、各注入次孔数をそのまま用いたもの(j)とを設け比較した。これらの組み合わせをパターン(0-j),(1-j),(0-c),(1-c)と、4パターンに分類する。またそれぞれのパターンに関して共分散関数として2種類(指数型と球型、これらの概形を図1に示す)の関数形を仮定し、さらにそれぞれで各座標(x,y,z,t)に重みをかけることによって3種類の異方性を表現し、合計6種類のモデルを設定した。トレンド成分、ランダム成分のパラメータ推定に関して本研究では最尤法を用いた。その後、仮定した6種類のモデルの中でAIC[3]が最小になっているものを最適モデルとして採用し、多次元クリギングを行った。研究の流れを図2に示す。

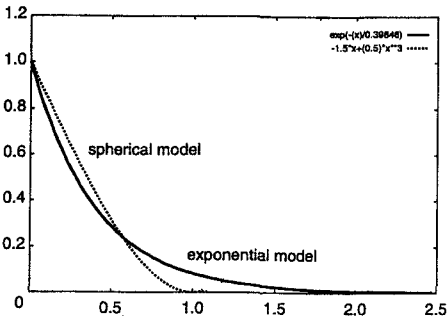


図1 共分散関数の関数形

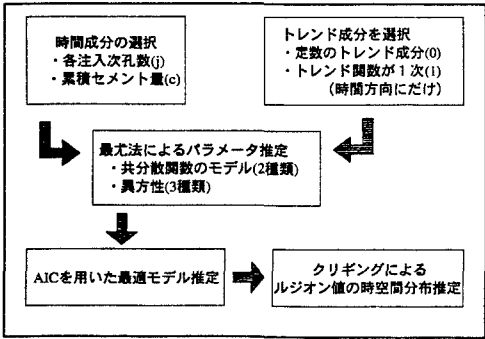


図2 解析の流れ

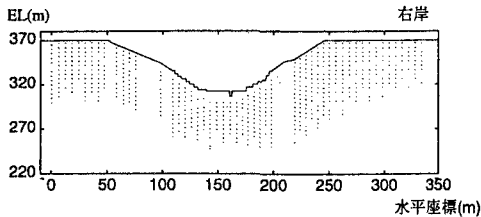


図3 鉛直断面図と1次孔データ位置

3. 解析事例 貯留物の特殊性から廃棄物埋立ダムの基礎岩盤には高い遮水性が要求され、そのためカーテングラウチングが施される。本研究では、その状態遷移する透水係数場を推定する。本サイトでは1ステージ5mのステージ注入工法が採用され、各ステージで得られたルジオン値をステージ中央の値とした。ボーリング孔掘削、清水注入による簡易透水試験、グラウト注入という一連の作業を注入段階ごとにまとめ、その段階における注入は全て同時になされたとし、その段階での注入孔全てをN次孔とする。図3にダム軸での鉛直断面図と1次孔でのデータ位置を示す。本サイトでは4次孔までは前注入段階のボーリング孔間の中央に新しいボーリング孔が施工され、その後6時孔まで簡易透水試験のデータやその分布をもとに、さらに重点的なグラウト注入がおこなわれた。

次に前出の4パターンの比較のため、1～(N-1)次孔のデータを用いて推定されたN次孔位置での推定値とN次孔データそのものの2つを比較した。前者においては、推定値とともに推定誤差 σ_i が得られるが、この σ_i を用いて推定値と実測値の間には何 σ_i の差があるか以下のように調べた。

$$M_i = \frac{Z_i^* - Z_i}{\sigma_i} \tag{2}$$

M_i の平均値 μ' と推定誤差 σ' によって各パターンの比較をした。この結果を空間軸のみでクリギングした場合も含め、図4-(1)、(2)に誤差グラフとして示す。この図を見ると、パターン(0-c)が最も推定の精度が高い。このパターン(0-c)を用いた場合において、ルジオン値分布を推定した例を図5に示す。推定が理想的にできたとすると、この図5を用いることにより次のグラウト注入の位置をより効果的に決めることができる。またのこの時刻におけるルジオン値の非超過確率のグラフを図6に示す。これによりグラウトの改良目標の達成具合などが分かる。



図5 ルジオン値分布(時刻1～4のデータより時刻5を推定)

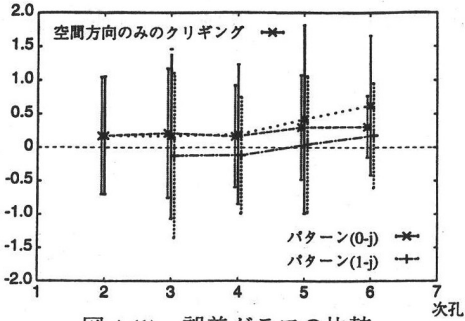


図4-(1) 誤差グラフの比較

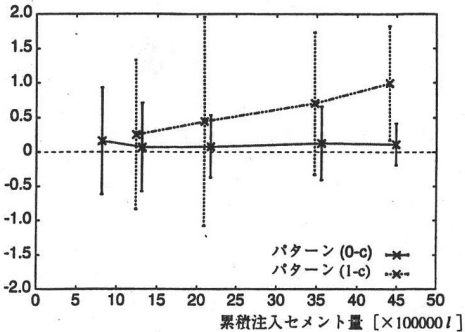


図4-(2) 誤差グラフの比較

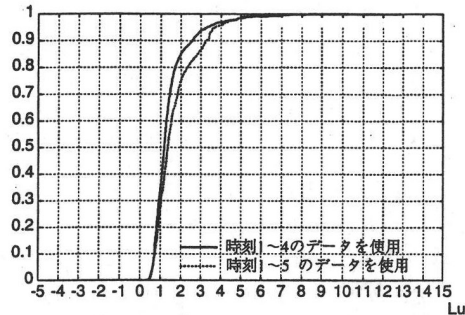


図6 非超過確率

4. 結論

最尤法、多次元クリギング手法により確率・統計的にルジオン値の時空間分布を推定することができた。また、時間軸成分に累積セメント注入量を用いて、時間軸に物理的な量による重みを考慮することにより推定の精度が向上した。

5. 参考文献

- 1) 国府田恒夫・田中一盛・細谷雄三 共訳：統計学序説、培風館、1978. (Wonnacott, T. H. and Wonnacott, R. J.: Introductory Statistics)
- 2) Clark, I.: Practical Geostatistics, Applied Science Publishers, 1982.
- 2) 赤池弘次：情報量基準 AIC とは何か、数理科学、No. 153, pp. 5-11, 1976.