

岩盤水理構造の地球統計学的推定

GEOSTATISTICAL ESTIMATION OF HYDROGEOLOGICAL STRUCTURE IN ROCKS

中屋眞司*・小池章久**・堀江正人***・平山鉄浩***

Shinji NAKAYA, Akihisa KOIKE, Masato HORIE, and Tetsuhiro HIRAYAMA

In this study, by applying block kriging to Lugeon water value measured in many bore-holes, the hydrogeological structure of rocks in 300 m x 200 m x 80 m area is three-dimensionally estimated. As a result, the flow paths, high permeable zone and low permeable zone are appeared in the area. The lineaments formed from very high permeable blocks and very low ones are coincident with the the fault fracture zones that are observed by the geological survey. The fault fracture zone may be surveyed from the lineament of permeability estimated by block kriging.

1. はじめに

亀裂の発達した岩盤では、水みちとなる水理構造が形成されることが少なくない。特に断層破碎帯が領域内に推定されている場合、それが水みちとして領域の地下水流動特性を支配する要因となり得る。このような岩盤領域の水理構造のモデリングには断層破碎帯の位置と規模、透水性を測定することが望まれる。通常、地質調査と試掘孔を利用したルジオン試験（原位置岩盤透水試験）が実施されることが多いが、これらだけでは断片的で領域全体の水理構造を把握するのは困難である。また、断層破碎帯と試掘孔が交差することは希で、その点からもルジオン値の分布から水みちとなる水理構造を抽出するには無理があった。そこで、水みちとなる破碎帯の空間分布を三次元的に推定するため、試掘孔で得られているルジオン値データに地球統計学的手法であるKrigingの適用を試みた。

2. 対象領域の水理的特徴

研究対象としたおよそ300mx200mの領域に分布する基盤岩類は、粘板岩、流紋岩質熔結凝灰岩、花崗斑岩で段丘堆積物、崖錐堆積物でかなりの部分を覆われているため、基盤岩中に発達した断層破碎部を直接露頭で観察することは困難である。図-1に対象領域の地下水位等高線と試掘孔位置、地質調査で推定された断層破碎帯位置を示す。断層破碎帯の位置は標高180mの平面上に推定したものである。4番の断層破碎帯がおよそ65度西方に傾いているのを除くと傾き80度程度の高角度のものがほとんどである。地下水位については観測孔が少ないため水位等高線の精度はやや低くなっているが、全体の傾向は現れている。同図の上方が山側で下端境界は河川に相当している。ダムが存在するためにダム上流側でおよそ210m、下流側でおよそ179mの河

* 正会員 工博 (株)CRC総合研究所

** 正会員 関西電力株式会社

*** 株式会社ニュージェック

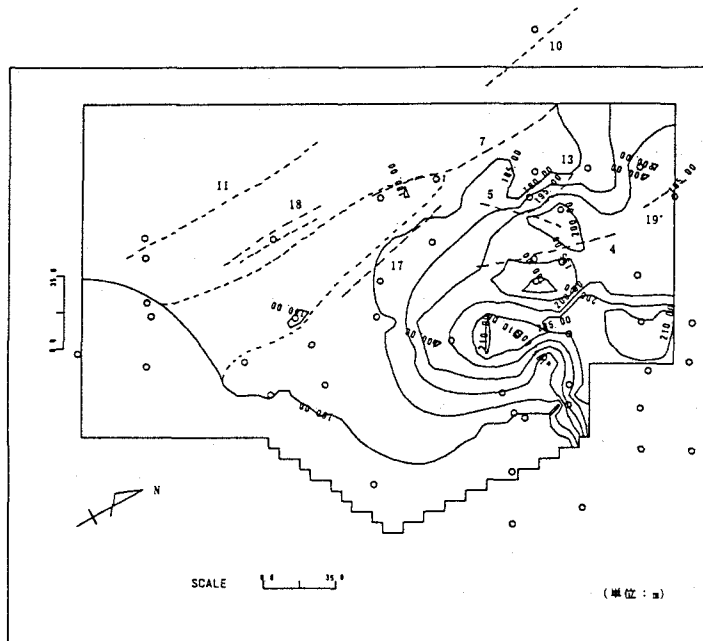


図-1 対象領域の地下水位分布と断層破碎帯位置、試掘孔位置
(破線：地質調査から推定された断層破碎帯)

川水位となり、大きな動水勾配が生じる。そのため、地下水が岩盤内に回り込んでいるのが水位等高線に現れている。また、180m等水位線で示される低水位部が山側に目玉状に現れており、点線で示すような180m等水位線を引いて低水位部が山側に舌状に伸びていると解釈することもできる。

2. 地質統計学的手法

特性値の空間的連続性を用いてある点での特性値を推定する手法の一つにKrigingがある。ここではルジオン値の空間分布推定にこの方法を適用する。KrigingはBLUE(Best Linear Unbiased Estimation)と呼ばれ、次式のように推定したいある点での特性値 W をそれを囲む n 個の測定値 $w_1, w_2, \dots, w_n$ とそれらに与える重み係数 $b_1, b_2, \dots, b_n$ の積で表わして、その重み係数を推定する最も優れた方法と考えられている。つまり、推定値と真値の誤差分散を最小にすることを目的としたもので、誤差の平均を零にするような推定法である^{1), 2)}。Krigingについては従来からよく用いられている方法であるため、ここでは詳細は省略する。

$$W = \sum_{i=1}^n b_i w_i, \quad \left(\sum_{i=1}^n b_i = 1 \right) \quad \dots \dots \dots (1)$$

3. ルジオン値の連続性

Krigingはランダムファンクションモデルを基にしているため、特性値の分布は正規分布を想定している。図-2に33点の試掘孔で実施されたルジオンテストの結果を横軸を対数にルジオン値一頻度分布として示す。この関係はほぼ対数正規分布で表わされると仮定できる。このルジオン値の対数正規分布データは、透水係数が対数正規分布しているという他の多くの報告と一致する。分布のピークルジオン値はおよそ3ルジオンである。ルジオン値の対数値について、その連続性を見るため、測点間距離 h をパラメータとして全ての方向の

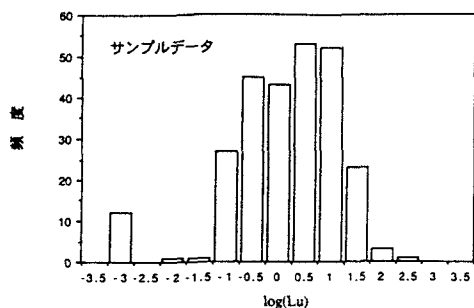


図-2 サンプルのルジオン値の頻度分布

測点ペアのバリオグラム γ を求めた。バリオグラムは次式で表わされる。

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} (w_i - \bar{w})^2 \quad \dots\dots(2)$$

サンプルのルジオン値の対数値についてのバリオグラム(γ - h 関係)を図-3に示す。同図に示す結果から、ルジオン値の対数値について各々、Spherical modelで表わされる空間的連続性が存在するものと考えられる。同図から相関距離はおよそ70mとなっている。

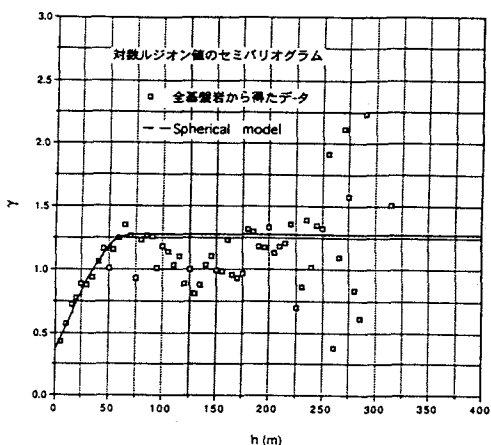


図-3 対数ルジオン値のセミバリオグラム

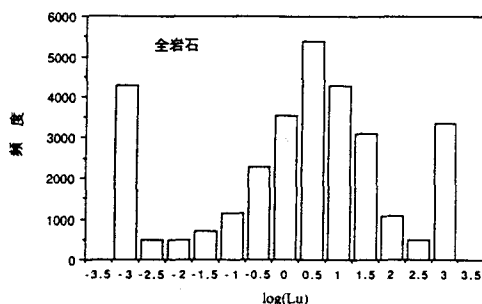


図-4 推定モデルのルジオン値の頻度分布

4. ルジオン値の空間分布の推定

Block Krigingを用いて対象領域の標高140m~220mについてルジオン値の空間分布を推定した。ルジオン試験の注水区間長が5mであるため、各ブロックは一辺5mの立方体としている。図-4にBlock Krigingを用いて推定した後の対数ルジオン値—頻度分布を示す。0.001ルジオン以下、1000ルジオン以上についてはまとめて頻度を示してある。図-5に推定した三次元ブロックルジオンマップを示す。同図から分かるように推定したルジオン値の分布からダム上流部周辺と図-1の破線で示した180m等水位線が河川から山側方向に舌状に伸びる部分に高透水性ゾーンが現われている。また、領域中央から右上方にかけて低透水性ゾーンが確認できる。

地質調査で推定されている断層破砕帯は高透水性ゾーンを形成すると考えられるが、いずれの断層破砕帯にも1cm~1m程度の範囲で粘性土が介在しているため低透水性ゾーンとして現れる可能性も考えなければならない。そこで、両ゾーンを取り出して表示させるため、0.1ルジオン以下、50ルジオン以上のブロックをそれぞれ濃淡表示したものを図-6に示す。180m等水位線の舌状に伸びる高透水性ゾーンに上下方向のリニアメントが現れている。

5. ルジオン値から見たリニアメント

図-5, 6に推定した三次元ブロックルジオンマップを水平面でスライスしたものを0.1ルジオン以下、50ルジオン以上のブロックについて濃淡表示して図-7に示す。同図に補助線で示したようなルジオン値のリニアメントが確認できる。これらのリニアメントは図-1に示した推定断層破砕帯の位置とかなりよく一致している。また、断層破砕帯が推定されていない位置にもリニアメントが現れており、この部分に破砕帯が存在する可

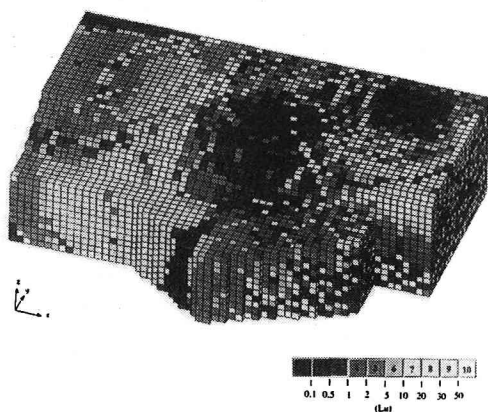


図-5 推定した三次元ブロックルジオンマップ

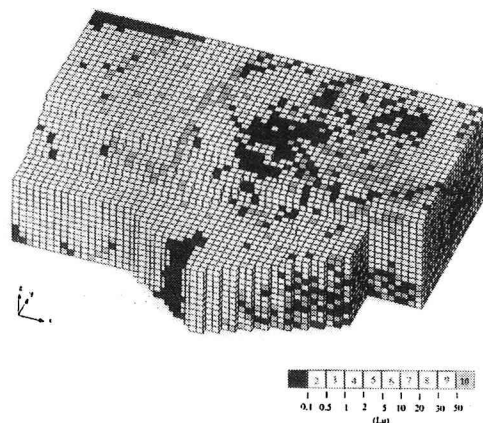
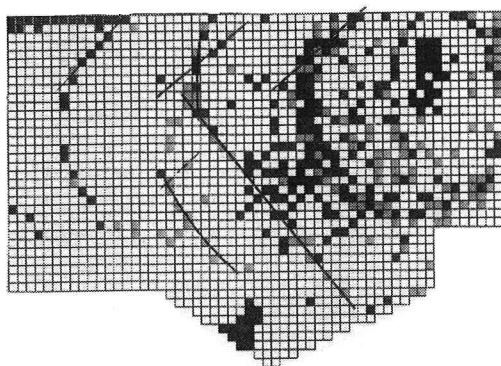
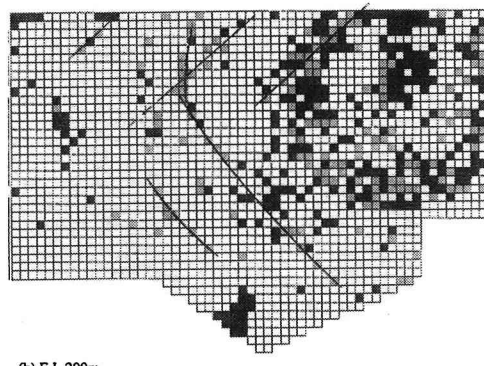


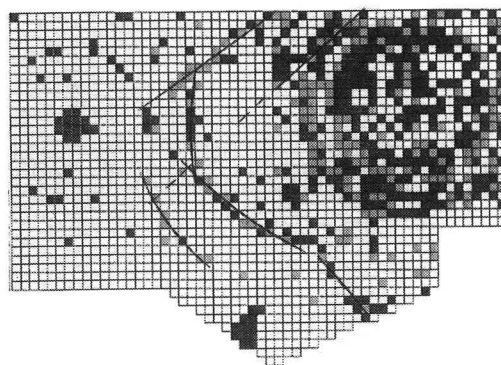
図-6 高・低透水性ブロックルジオンマップ



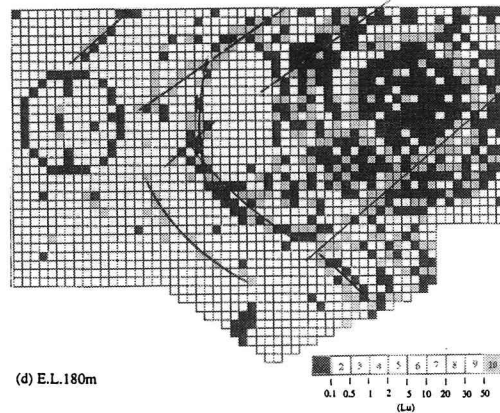
(a) E.L. 210m



(b) E.L. 200m



(c) E.L. 190m



(d) E.L. 180m

図-7 水平面でスライスした高・低透水性ブロックルジオンマップ

能性がある。

6. ま と め

本研究では、試掘孔で計測されたルジオン値に Block Krigingを適用し、比較的広い領域の水理構造を推定した。その結果、ルジオン値の空間分布を三次元的に推定することにより岩盤内の水みちの空間分布をルジオン値から推定できる可能性を示した。また、高ルジオン値と低ルジオン値の空間分布はリニアメントを示し、それらのリニアメントは地質調査で推定されている断層破碎帯の位置と調和的であった。また、地質調査で推定できなかった位置にルジオン値リニアメントが現れ、未調査の破碎帯の存在を推定することができた。

ここでは条件付きシミュレーションのようなKrigingよりさらに精度の高い方法は用いなかった。その理由は三次元モデルによる推定では条件付きシミュレーションに膨大な計算が必要になるため、現実的でないからである。今後、岩盤の不均質な透水性分布のモデリングを進め、実測した水位分布、地下水流動を説明可能な三次元水理構造モデルの構築方法を模索する予定である。

7. 参考文献

- 1) Edward H. Isaaks & R. Mohan Srivastava: Applied Geostatistics, Oxford University Press, p. 561, 1989.
- 2) 堀野治彦・丸山利輔：年間地下水位変動幅の空間的変動特性-愛知川扇状地を事例として-、地下水学会誌、第32巻、第2号、81-90, 1990.