

亀裂頻度を補助情報とした透水係数分布の推定 Estimation of permeability distributions with fracture soft data

○井上 敬資*・小林 晃*・青山 咸康*
Keisuke INOUE, Akira KOBAYASHI and Shigeyasu AOYAMA

1. 概要

地盤内の透水性を推定する際、経済的な理由により情報が限られており、詳細な透水性の分布を推定することは難しい。そこで、透水性と何らかの相関を持ち計測にも比較的安価で容易に手に入る情報を用いて、より精度の高い透水係数分布を推定することが考えられる。本論では計測が比較的簡易な岩盤での亀裂頻度を補助情報として、より精度の良い透水係数分布を地盤統計学の Indicator Simulation により推定する。亀裂頻度から補助情報を作る際、透水係数と亀裂頻度の相関がはっきりするようになる場合とそうでない場合を比較した。

1.1 Indicator Simulation¹⁾

透水係数が実測されていない地点における透水係数の累積確率分布を求める。その際ある閾値以下となる確率を式 (1) の Indicator Cokriging より求める。 i は透水係数の indicator で、式 (2) に与えられ透水係数 $z(u_\alpha)$ が、ある値 z_k 以下の場合には 1、そうでない場合は 0 を与える。 λ_α は i の重みである。 y は亀裂頻度による indicator で式 (3) が示すように、亀裂頻度と透水係数の関係 (図 1) から求まる透水係数の閾値 z_k 以下となる確率を示す (図 2,3)。 $\nu_{\alpha'}$ は y の重みである。式 (1) の $F(z_k)$ は領域全体に対する透水係数の閾値 z_k 以下となる確率で、 λ_0 はその重みで、式 (4) で与えられる。そして推定誤差を最小にするようにそれぞれの重みを求める。その際用いられる共分散は、本論では i の共分散 C_I のみを用いた。

以上により実測値がない所における各閾値以下の確率を推定し、全閾値以下の確率を並べることでその点での累積確率分布が得られる。この累積確率分布に 0 から 1 の一様乱数を発生させ、それに対応する透水係数を求める (図 4)。そして、この求めた値を実測値として加え、次の実測値のない地点へ移動して同様の作業で未知透水係数を推定する。本論では亀裂頻度と透水係数の関係からある透水係数の閾値以下となる亀裂頻度の累積確率分布を求める際、透水係数と亀裂頻度の相関をはっきりさせた場合とそうでない場合を考える。検討ケースは亀裂頻度の補助データなしの場合、累積確率分布を求める際に亀裂頻度を 3 クラスに分けた場合 (図 2)、6 クラスに分けた場合 (図 3) の合計 3 ケースである。

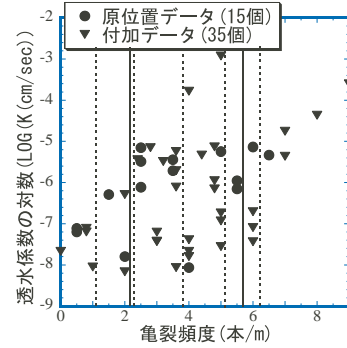


Fig.1 Scattergram between permeability and fracture
透水係数と亀裂頻度の離散図

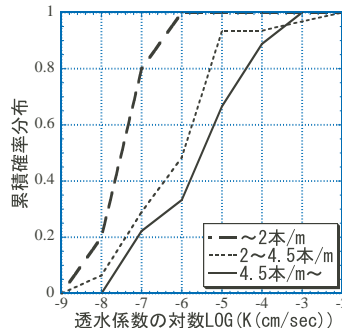


Fig.2 Cumulative probability in case of three classes
3クラスに分けた場合

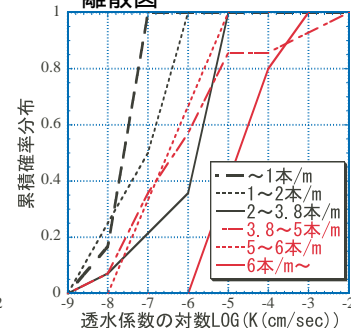


Fig.3 Cumulative probability in case of six classes
6クラスに分けた場合

$$I_k(u) = [Prob\{Z(u) \leq z_k | (n + n')\}]_{IK}$$

$$= \lambda_0 F(z_k) + \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha(u; z_k) i(u_\alpha; z_k) \text{ 乱数 } R$$

$$+ \sum_{\alpha'=1}^{n'} \nu_{\alpha'}(u; z_k) y(u_{\alpha'}; z_k)$$

$$i(u_\alpha; z_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } z(u_\alpha) \leq z_k \\ 0 & \text{if not} \end{cases}$$

$$y(u_{\alpha'}; z_k) = Prob\{Z(u_{\alpha'}) \leq z_k\}$$

$$\lambda_0 = 1 - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha(u; z_k) - \sum_{\alpha'=1}^{n'} \nu_{\alpha'}(u; z_k) \quad (4)$$

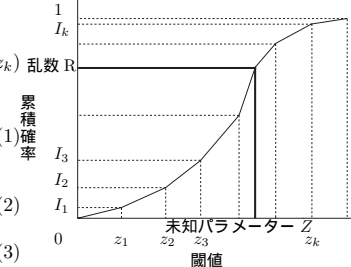


Fig.4 Cumulative probability distribution
累積確率分布の概要図

*京都大学大学院農学研究科 ; Graduate School of Agricultural Science, Kyoto Univ.

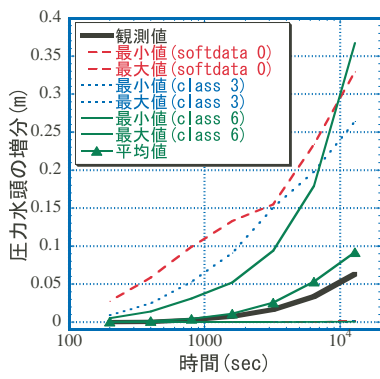


Fig.6: 観測点 ,Point

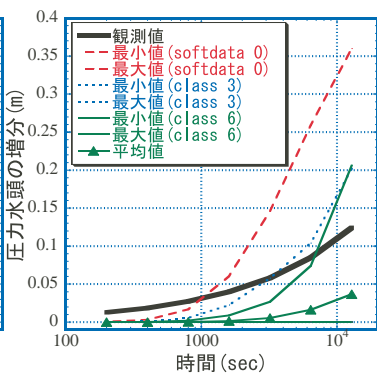


Fig.7: 観測点 ,Point

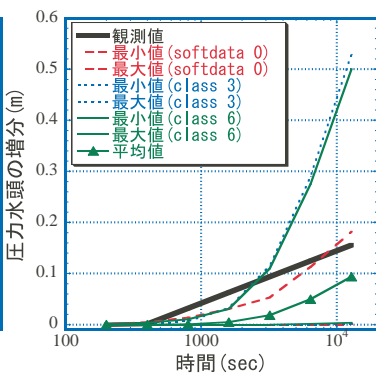


Fig.8: 観測点 ,Point

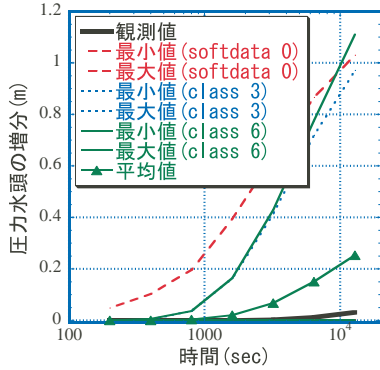


Fig.9: 観測点 ,Point

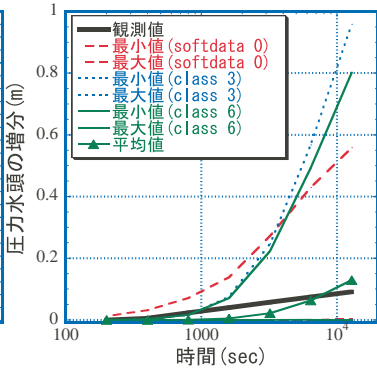


Fig.10: 観測点 ,Point

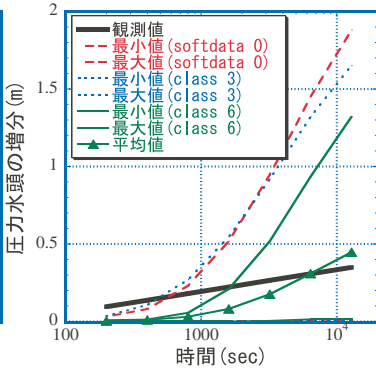


Fig.11: 観測点 ,Point

2. 原位置試験²⁾³⁾

実際のデータを用いて本手法の適用性を検討する。試験は岩手県釜石鉱山原位置試験場において動燃事業団が行った試験結果を用いる。本試験場は栗橋花崗岩地帯で、土被りは約 260m である (図 5)。ボアホール KH-5 孔で単一透水試験が 15 点行われ、ボアホール KH-4,5,6,7 孔では 200 点の亀裂頻度が実測された。また、KH-5 孔の A,C を注入点、KH-4,6,7 孔の ~ を観測点とする孔間透水試験が行われ観測点 ~ では間隙水圧の変化が観測された。

3. 浸透流解析

図 5 の端に位置する試錐孔 KH-4,6,7 から約 10m の余裕を持たせた、44m × 60m × 32m の直方体を解析領域とした。1 辺が 2m の立方体要素に分割し、それぞれの要素に透水係数を与え、貯留係数は全領域で一定の $3.00 \times 10^{-6}/m$ とした。全境界面水位固定 (400kPa) を境界条件とし、注入孔 A 点の流量を固定 ($4.45 \times 10^{-6}m^3/sec$) として孔間透水試験を再現した。それぞれのケースにおける 30 通りのリアライゼーションに対してそれぞれ浸透流解析をし、その水圧の時間変化を観測値と比較した。

4. 結論

解析領域における水圧変化の例を図 6 ~ 図 11 に示す。図 6 ~ 図 8 は注入孔から遠い点、図 9 ~ 図 11 は近い点である。30 通りの最大最小の幅を示す。また平均値は 6 クラスの場合のみを示す。最小の応答値はどのケースでもゼロに近く 3 クラスの平均値は 6 クラス平均値とほぼ同じであった。亀裂頻度による累積確率分布を作成する際、細かく分けた方が最大値が小さくなる傾向があり実測値の推定精度が上がる事が分かる。

参考文献

- 1) Clayton V.Deutsch and Andre G.Journal: Geostatistical Software Library and User's Guide,Oxford University Press,1992
- 2) 横井浩一,野口義文,長久,浜辺修二: 釜石鉱山における地下空間利用と物理探査,物理探査第 44 巻第 6 号, pp.350-361,1991
- 3) 奥野哲夫: 透水係数の空間分布推定法と地下水流動の予測に関する研究,名古屋大学学位論文,1994

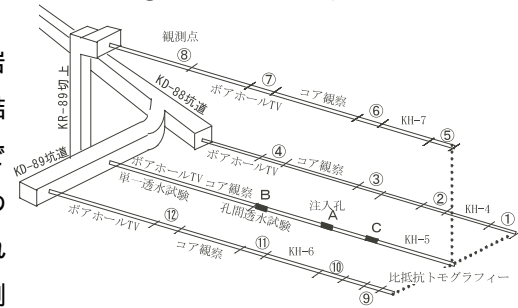


Fig.5 Schematic view of Kamaishi mine 原位置試験の概要図