

断層を有する石灰岩帯水層の物理的不均質性の可視化

Visualization of physical heterogeneity in limestone aquifers with faults

藤田帆夏*・○岡部北斗**・鈴木麻里子**・井上一哉**

Honatsu Fujita, Hokuto Okabe, Mariko Suzuki and Kazuya Inoue

1. 緒論

南西諸島では石灰岩の多孔質特性を活かした地下ダムによる水資源の安定的確保を図っている。水資源の維持管理において透水係数は重要な指針であるものの、石灰岩の特性上、密に計測することは技術的に難しい。そこで本研究では、簡便な単孔式希釈試験による透水係数分布の推定に加えて、帯水層の地質構成を考慮した透水係数の不均質性の可視化について提示する。

2. 単孔式希釈試験

対象地域は鹿児島県喜界島の喜界第2地下ダム建造予定地である。図1にダムサイトにおける観測孔と断層を示す。数多くの断層を有する点が喜界島の地質的特徴であり、図2に示すように断層による岩種のずれが生じている。本研究では34点の観測孔にて単孔式希釈試験を実施し、平面座標や標高の異なる151箇所のデータを取得した。

単孔式希釈試験では、 $C_0 = 0.744 \text{ mg/cm}^3$ の初期濃度となるように孔内にNaClを投入し^{1,2)}、電気伝導度(EC)の変化を計測して濃度 $C(\text{mg/cm}^3)$ に変換した。また、断層と透水係数の関連性を検討するため、同じ断層帯に位置する観測孔を用いて動水勾配 I を算出した。観測孔S12を例として、濃度低下曲線を図3に示す。深度が増すにつれ緩やかな濃度低下を呈しており、地下水流动と透水係数は不均一であることを示している。

3. 透水係数の同定と結果

単孔式希釈試験にて得られた濃度低下曲線より、ダルシー流速 $|v_a|(\text{cm/s})$ と透水係数 $K(\text{cm/s})$ を経過時間 $t(\text{s})$ 、孔半径 $R(\text{cm})$ を用いて求めた⁴⁾。

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -\frac{2|v_a|t}{\pi R}, \quad K = \frac{|v_a|}{2|I|} \quad (1)$$

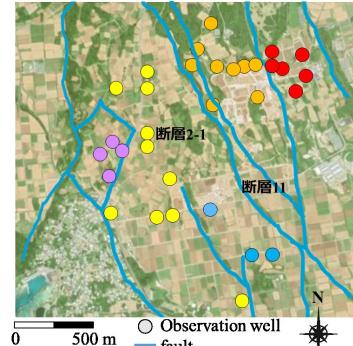


図1：地下ダムサイトの観測孔と断層の位置
EL.(m)

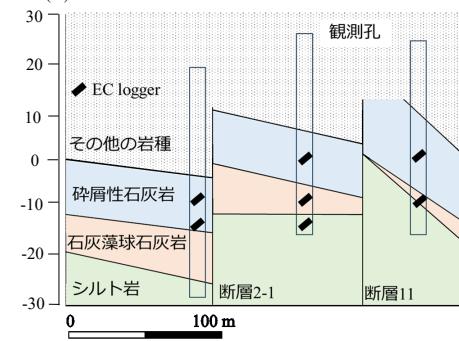


図2：断層を含む地質構成とEC logger 設置例

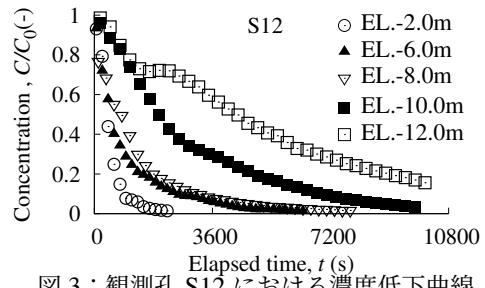


図3：観測孔S12における濃度低下曲線

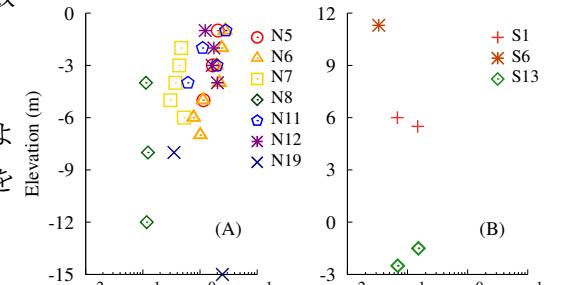


図4：透水係数の鉛直分布の例 (A) 北部, (B) 南部

* 農林水産省農村振興局：Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Rural Development Bureau.

** 神戸大学大学院農学研究科：Graduate School of Agricultural Science, Kobe University.

キーワード：単孔式希釈試験、透水係数、石灰岩帯水層、断層、逆距離加重法

透水係数の鉛直分布の同定結果を図4に示す。図中、図1の橙色の点に対する結果を(A)、青色の点に対する結果を(B)に示す。(A)と(B)では断層帯が異なり、北部に位置する(A)の透水係数はばらつきが大きく、南部に位置する(B)は 10^{-1} cm/s付近に集中しており、断層帯ごとに傾向は異なる。

4. 補間による空間モデルの作成

透水係数の空間分布を可視化するため、図1に示す地下ダムサイトの2000 m四方の補間領域を標高-49.0 m ~ 6.0 mまで $50\text{ m} \times 50\text{ m} \times 1\text{ m}$ の要素で区分した。各要素の重心位置に対して標高ごとに逆距離加重法(IDW)を適用することで平面的に透水係数分布を求めた。図5に標高-2.0 mに対する2次元IDWの結果を示す。北部で透水係数はばらつく傾向は捉えられているものの、断層による岩種のずれを考慮できていないため、断層が形成された約20万年前の地層状態⁴⁾に戻すことを考える。つまり、基盤標高を揃えて標高ごとにIDWを行い、元の標高に戻すと図6のようになる。断層の考慮により透水係数分布には明確な違いが生じている。これは、標高ごとに観測点数が異なり精度が不均一な補間結果を元の標高に戻す際に統合することに起因する。

そこで、より自然な透水係数分布の作成のため、基盤標高を揃えて空間全体でIDWを実施すると図7になる。透水性は相対的に北部で高く南東部で低いことを視覚的に捉えることができる。得られた分布の標高-2.0 m地点を抽出した結果を図8に示す。2次元IDWと比較して補間の際に使用する観測点数が増えるため、図5や図6より詳細に透水係数の不均質性を表すことができている。

5. 結論

本研究では、単孔式希釈試験により石灰岩帶水層の透水係数を同定し、逆距離加重法にて透水係数分布を可視化した。対象サイトの地下水流动と透水係数は空間的に不均一であり、透水係数の分布傾向は断層帯ごとに異なることがわかった。また、断層を考慮しない2次元IDWと断層を考慮した2次元IDWでは結果が大きく異なる点、3次元IDWを用いることでより自然なモデルを得ることができる点を明らかにした。

参考文献：1) 倉澤ら、土木学会論文集B1(水工学), 2022. 2) 倉澤ら、地下水学会誌, 2022. 3) Piccinini, L. et al, *Hydrol. Sci. J.*, 2016. 4) 松田, 喜界島エコミュージアムガイド育成教室, 2022.

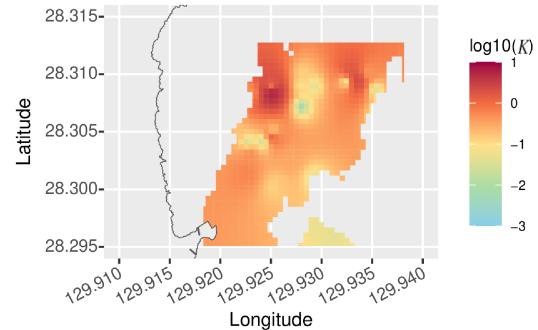


図5：断層未考慮の2次元IDW (EL. - 2.0 m)

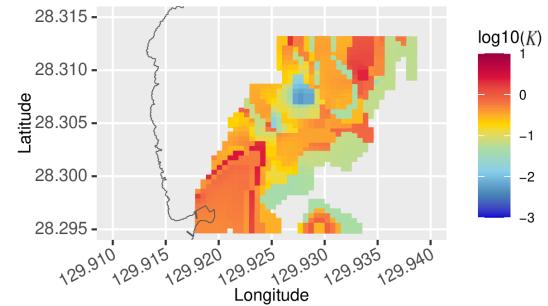


図6：断層を考慮した2次元IDW (EL. - 2.0 m)

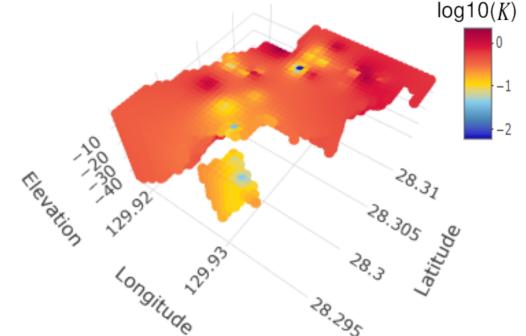


図7：透水係数の3次元モデル

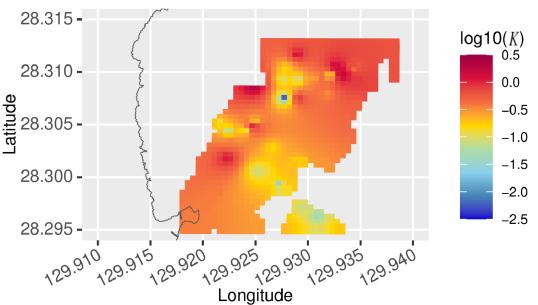


図8：3次元IDWによる結果 (EL. - 2.0 m)