

喜界地下ダム湖内の溶質輸送挙動に与える石灰藻球石灰岩の影響 Effects of Algal Ball Limestone on Solute Transport Behavior in Kikai Subsurface Dam Reservoir

○ 木下 遥介*・鈴木 麻里子**・井上 一哉**
Yosuke Kinoshita, Mariko Suzuki and Kazuya Inoue

1. 緒論

地表水に乏しい喜界島は地下ダムより農業用水を確保しており，新たな水源確保を目的として2基目の地下ダム建設を予定している¹⁾．ダムサイトの帯水層は多孔質の琉球石灰岩から成り，帯水層下部の石灰藻球石灰岩は高い透水性を有する．本研究では，ダム湖を再現した溶質輸送実験を実施し，ダム湖内の溶質挙動に与える石灰藻球石灰岩の影響を定量評価することにより，喜界地下ダムの揚水・水質管理に資する知見の獲得を目的とした．

2. 溶質輸送実験

本研究では，実サイトの透水係数比をもとに，透水係数 1.8×10^{-1} cm/s の珪砂を帯水層上部の碎屑性石灰岩(以下 S1 と記す)， 5.3×10^{-1} cm/s の珪砂を帯水層下部の石灰藻球石灰岩(以下 S2 と記す)， 4.8×10^{-3} cm/s の珪砂を難透水性基盤， 4.2×10^{-3} cm/s の珪砂を地下ダム止水壁として図1に示す土槽へ充填し，喜界地下ダム湖を模擬した．実サイトの S2 の層厚 T は場所によって異なるため，S2 の無い場を Base Case とし，Case 1 は $T = 4$ cm，Case 2 は $T = 8$ cm，Case 3 は $T = 12$ cm に設定した．定水頭装置より動水勾配 0.01 を与えた後，A~D 点の1点に濃度 0.2 mg/cm³ の Brilliant Blue FCF を 20 cm³ 注入し，溶質挙動を撮影した．撮影画像をもとに溶質挙動を定量化するため，空間モーメント M_{ij} を

$$M_{ij}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x,z,t) x^i z^j dx dz \quad (1)$$

で求めた²⁾．ここに， t は時間， i と j は空間次数， $I(x,z,t)$ はピクセル明度である．式(1)より，溶質重心 (x_G, z_G) を $x_G = M_{10}/M_{00}$ ， $z_G = M_{01}/M_{00}$ ，重心の鉛直変位を $\Delta z = z_G - z_{G0}$ にて算出した．ここに， z_{G0} は初期重心の鉛直成分 z_G である．

3. 結果と考察

3.1 溶質輸送経路の定量化

B 点を起点とする Base Case と Case 3 の溶質輸送の様子を図2に示す．Base Case に比べて Case 3 の溶質は輸送前半で沈み込む一方，後半は高い位置を輸送することがわかる．比較として，B 点を起点とする各ケースの溶質重心の鉛直変位を図3に示す．図中

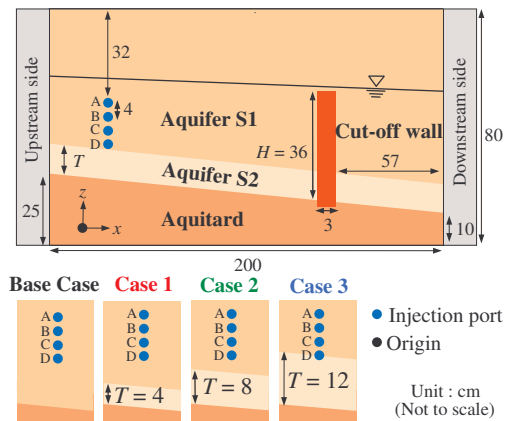


図1：実験装置と実験ケース
Experimental apparatus and cases

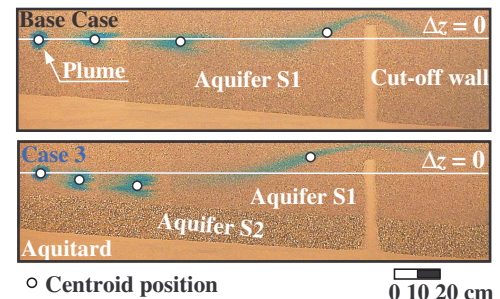


図2：溶質輸送挙動(B点)
Solute transport behaviors (port B)

* 京都大学大学院工学研究科：Graduate School of Engineering, Kyoto University.

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

キーワード：地下ダム，喜界島，溶質輸送実験

の塗りつぶし記号は溶質重心の最下点を表し、溶質が上昇に転じる地点となる。また、 L は最下点と止水壁の水平距離を表す。浸透流は透水性の高い方へ流れるため、溶質はS2へ引き込まれ、S2の厚い場ほど輸送前半において負の変位量が大きくなると考えられる。一方、S2の厚さに呼応して相対的に帯水層下部の流量が増加するものの、止水壁付近では貯水効果が生じて止水壁を越流する鉛直上向きの流速成分が卓越する。止水壁の貯水効果は上流側へ伝播するため、S2が厚くなるほど止水壁と離れた地点から溶質は上昇に転じ、輸送後半において正の変位量が大きくなると考えられる。

3.2 溶質上昇地点の推定

一般に、地下ダムの揚水地点は水深の深い止水壁周辺に設けられるため、止水壁付近の溶質挙動は揚水地点の選定に深く関わる。越流に伴う溶質の上昇を定量評価するため、S2の層厚 T 、溶質が上昇に転じる地点と止水壁の水平距離 L を堤高 H で除した無次元量 T/H と L/H の関係を図4に示す。D点を起点とするCase3の結果を除き、 T/H と L/H は線形関係にあり、輸送起点には依存しない。S2の無い場合は堤高の約1.4倍の水平距離だけ止水壁と離れた地点から溶質は上昇に転じ、S2の厚さが増加すると、溶質の上昇地点は厚さ増分の約3.1倍の水平距離だけ止水壁から遠ざかることを示す。

一方で、D点を起点とするCase3の結果は線形関係から外れており、堤高の約1.5倍の水平距離だけ止水壁と離れた地点から溶質は上昇に転じる。ここで、D点を起点とするCase3の溶質輸送の様子を図5に示す。溶質はS2へ流入し、止水壁付近まで溶質はS2の領域内を輸送することがわかる。実サイトの溶質は主に地表から浸透するため、一般的な流下過程ではS2へ流入する可能性は低いものの、琉球石灰岩地域に発達するドリーネなどの空洞に遭遇し、溶質が突発的にS2へ入り込んだ場合には、溶質の上昇地点がより止水壁に近い地点になると示唆される。以上より、止水壁周辺の溶質挙動の観点からは、止水壁周辺の石灰藻球石灰岩が厚く、空洞の少ない地帯が揚水地点の候補になると考えられる。

4. 結論

本研究では、喜界地下ダム湖内の溶質輸送挙動に与える石灰藻球石灰岩の影響を定量評価した。透水性の高い石灰藻球石灰岩は厚さに応じて溶質の沈み込みと越流に伴う溶質の上昇を促進させる知見を得た。さらに溶質挙動の観点から、止水壁周辺において石灰藻球石灰岩が厚く、ドリーネなどの空洞が少ない地帯を揚水地点の候補として提示した。

参考文献：1) 九州農政局南部九州土地改良調査管理事務所：平成30年度九州農政局ダム技術検討委員会資料，2019。2) Xiong, Y., Furman, A., and Wallach, R. : Moment analysis description of wetting and redistribution plumes in wettable and water-repellent soils, *Journal of Hydrology*, 422–423, pp.30–42, 2012.

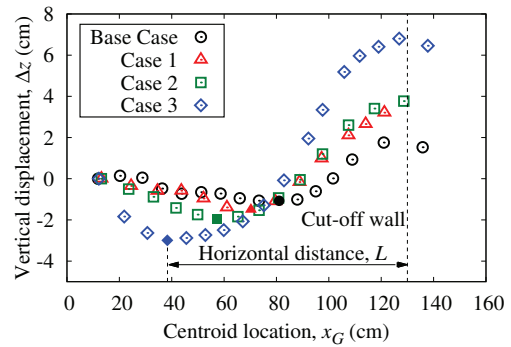


図3：溶質重心の鉛直変位 (B点)
Comparison of vertical displacement (port B)

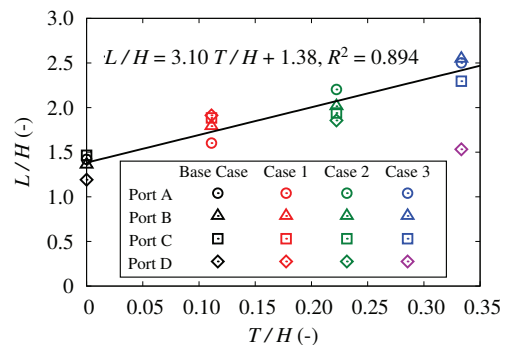


図4： T/H と L/H の関係
Relationship between T/H and L/H

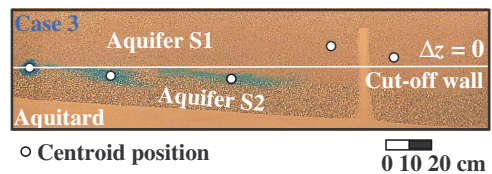


図5：溶質輸送挙動 (D点)
Solute transport behavior (port D)