

### 喜界第2地下ダム湖の移流分散現象

Advection-dispersion phenomena in Kikai second subsurface dam

○ 稲口 知花\*・井上 一哉\*・鈴木 麻里子\*  
Tomoka Inaguchi, Kazuya Inoue and Mariko Suzuki

#### 1. 緒論

地表水に乏しい喜界島では農業用水を確保すべく、2003年より貯留型の喜界第1地下ダムを供用している。更なる農業の発展に向けて新設される喜界第2地下ダムは塩水阻止型であり、第1ダムよりも水質管理が難しい。また、図1に示すように北堤付近の深部に高透水層を有する<sup>1)</sup>ことから、北堤と南堤では異なる移流分散現象が生じると想定される。本研究では喜界第2地下ダムの水質管理に資する知見の獲得を目的として、塩水浸入を伴う溶質輸送実験を実施した。

#### 2. 溶質輸送実験

本実験で使用した実験装置の概略を図2、試料の物理特性を表1に示す。基盤を試料S3、ダム壁をS4、帯水層をS1とS2で構成し、北堤(Dam N)と南堤(Dam S)を反映した層厚に試料を充填した。北堤は塩水浸入あり(N<sub>s</sub>)となし(N<sub>f</sub>)を比較実験し、南堤は塩水浸入あり(S<sub>s</sub>)の実験を実施した。いずれの実験も上流と下流の水頭差にて動水勾配0.006を与えた。

定常流状態を確認後、点a~dの1点にトレーサを注入し、溶質挙動を撮影した。溶質挙動を定量化するため、空間モーメントM<sub>ij</sub>を

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

にて求めた<sup>2)</sup>。ここに、Uは1ピクセルの面積、Iはピクセル明度、tは時間、iとjは各軸の空間次数である。溶質の重心をx<sub>G</sub> = M<sub>10</sub>/M<sub>00</sub>、z<sub>G</sub> = M<sub>01</sub>/M<sub>00</sub>にて算出し、注入点から重心までの距離Lを経過時間で除して流速vを求め、縦分散係数D<sub>L</sub>、横分散係数D<sub>T</sub>を導出した。

$$D_L = \frac{v}{2L} \left( \frac{M_{20}}{M_{00}} - x_G^2 \right), D_T = \frac{v}{2L} \left( \frac{M_{02}}{M_{00}} - z_G^2 \right) \quad (2)$$

#### 3. 結果と考察

北堤を対象として、塩水浸入の有無に応じ

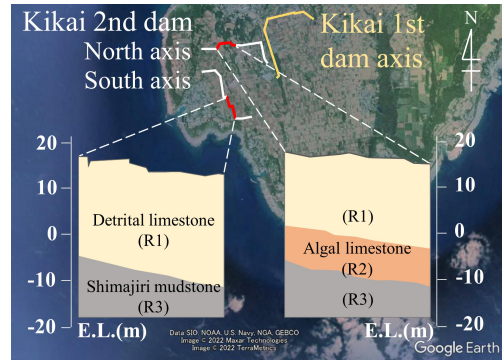


図1：喜界島の地層

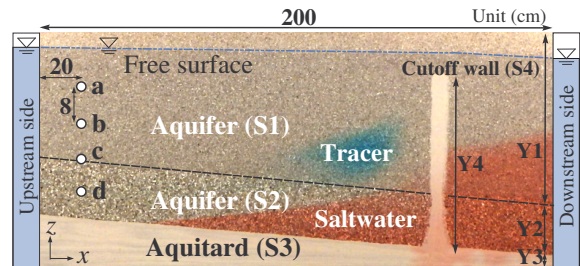


図2：実験装置の概略

表1：試料の透水係数と層厚

試料	透水係数 (cm/s)	Dam N (cm)	Dam S (cm)
S1	1.9 × 10 <sup>-1</sup>	Y1 = 55.3	Y1 = 70.3
S2	4.0 × 10 <sup>-1</sup>	Y2 = 15.0	Y2 = 0.
S3	4.8 × 10 <sup>-3</sup>	Y3 = 9.7	Y3 = 9.7
S4	4.2 × 10 <sup>-3</sup>	Y4 = 47.5	Y4 = 47.5

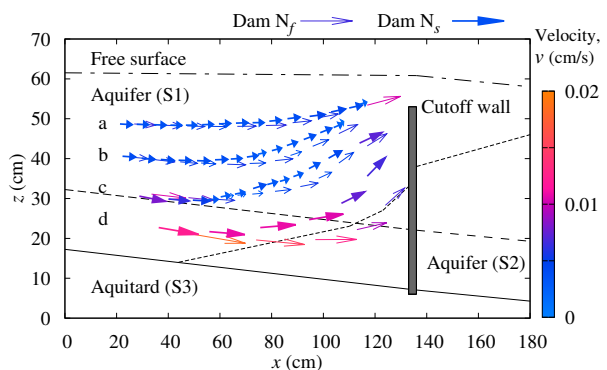


図3：Dam Nの流速ベクトル

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

喜界島，地下ダム，移流分散現象，溶質輸送実験，塩水浸入

た流速ベクトルを図3に示す。Dam N<sub>s</sub>の溶質輸送経路は塩水くさびの影響を受けて塩水侵入のないDam N<sub>f</sub>より鉛直方向に高くなる。また、高透水性のS2層を流れる点dの溶質の流速は他の溶質より大きくなる点に特徴がある。

北堤を再現したDam N<sub>s</sub>に対して、溶質輸送距離と分散係数の関係を図4に示す。点c、dの溶質の分散性は他の2点より高くなる。一方、南堤を再現したDam S<sub>s</sub>の分散係数を示す図5を見ると、溶質の注入位置が深いほど分散性は高くなる傾向にあるものの、図4の点c、dほど顕著な差はない。したがって、Dam N<sub>s</sub>の点c、dの溶質の分散性の拡大は高透水層に起因するといえる。

溶質分布全体の変化を定量化するために Shannon エントロピー  $H$  を導入する<sup>3)</sup>。

$$H(t) = - \sum_{k=1}^n P_k(x, z, t) \log P_k(x, z, t) \quad (3)$$

ここに、 $k$ はピクセルの位置指標、 $n$ は総ピクセル数、 $P$ は初期濃度に対する正規化濃度である。エントロピーの時系列変動を図6に示す。Dam N<sub>s</sub>、S<sub>s</sub>ともに点aとbの変化はほぼ同じであり、地下水表面付近の移流分散現象に差はないといえる。一方、Dam N<sub>s</sub>の点c、dに注入した溶質のエントロピーは大きく増大する。エントロピー増大は溶質分布の拡大と平均濃度の低下を意味することから、北堤帯水層の深部に流入した溶質は希釈されやすいことを表している。そこで、点dに注入した溶質分布を図7に示す。Dam N<sub>s</sub>とDam S<sub>s</sub>の分布形状は大きく異なり、Dam S<sub>s</sub>の溶質は希釈されにくい点とDam S<sub>s</sub>のエントロピーは小さい点は呼応している。したがって、北堤より南堤帯水層の方が観測濃度は高くなる可能性がある。

#### 4. 結論

喜界第2地下ダム湖における溶質輸送経路は塩水くさびの影響を受けて上昇し、北堤帯水層の高透水層は溶質分布の拡大に寄与する。また、地下水表面付近の移流分散現象は北堤と南堤で差異はなく、ダム壁建造後は、北堤より南堤の方が観測濃度は高くなる可能性がある。

参考文献：1) 農林水産省九州農政局ダム技術検討委員会資料, 2019. 2) Fernández-García, D. et al., *Adv. Water Resour.*, 2005. 3) Camesasca, M. et al., *Macromol. Theory Simul.*, 2006.

謝辞：本研究は、(一社)土地改良建設協会「2021年国営事業地区等フィールド調査学生支援事業」による支援を受けました。

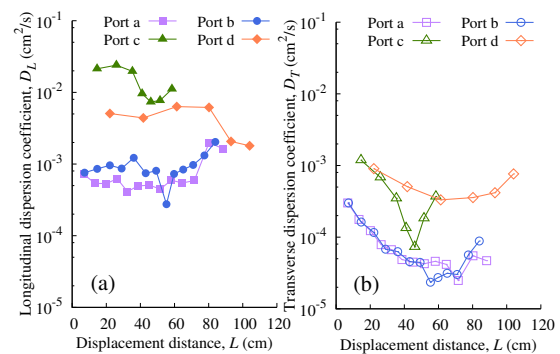


図4：Dam N<sub>s</sub>の分散係数

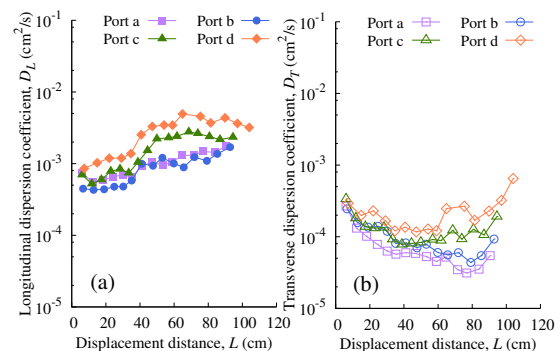


図5：Dam S<sub>s</sub>の分散係数

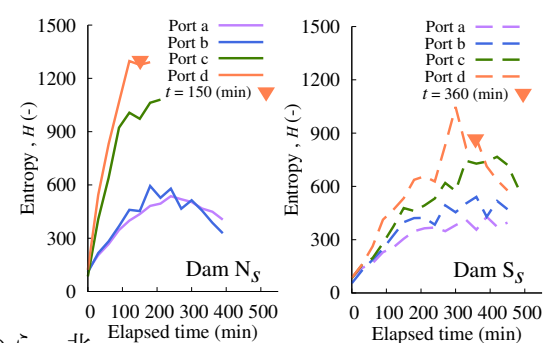


図6：エントロピーの時系列変動

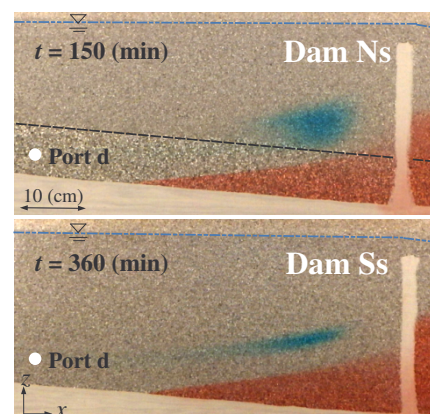


図7：点dを起点とする溶質の分布