地下ダム場における溶質輸送現象の定量化

神戸大学大学院農学研究科	学生会員	$\bigcirc$	濱田 莉菜子
神戸大学大学院農学研究科	正会員		井上 一哉
神戸大学大学院農学研究科	正会員		田中勉

#### 1. 緒論

地下ダムは地表水の乏しい地域や島嶼部における農業用水の水源確保を目的として竣工され,安定した 水供給に貢献している.一方で,地下ダム湖内に浸入した汚染物質が滞留することで引き起こされる水質 悪化が懸念されている<sup>1)</sup>ものの,地下ダム湖内,特に止水壁周辺の溶質輸送現象は未解明である.そこ で,地下ダム湖内の溶質輸送現象に関わる有益な知見を得ることを目的として,本研究では,地下ダム場 を対象とした移流分散実験を通して,画像処理,空間モーメント法を用いて溶質輸送現象を定量化した.

# 2. 地下ダム場における移流分散実験

本実験では、図1に示す高さ100 cm,幅100 cm, 奥行き3cmの実験装置を用いた.主たる地盤材料に 透水係数 0.22 cm/s の土質試料 K4 を選定し,実験装 置の中央に透水係数 0.0032 cm/s の土質試料 K8 を充 填して難透水性基盤を模擬した.また,高さ 20 cm, 幅 2 cm, 奥行き 3 cm の止水壁を設置して, 上部に地 下ダム場,輸送挙動の比較のため,下部に均質場を形 成した.止水壁には透水係数 0.013 cm/s の土質試料 K7 を採用し,透水性の影響を検討できるように土質試 料 K8, 不透水性アクリルの三種類を用いた. 各実験を Case 1, Case 2, Case 3 と称する. 定水頭装置により 透水場に動水勾配を与えて越流状態を形成し, 図1の ピエゾメーター孔で地下水面を測定後, a~c, u, hの 各点に濃度 0.2 mg/cm<sup>3</sup>の水溶性色素の Brilliant Blue FCFを20cm<sup>3</sup>注入し,溶質分布の時系列変化を撮影し た.溶質の浸透位置による溶質輸送現象の差異を検討 するため、点a、b、cは地下ダム湖内に設定し、点uは 不飽和領域,点hは均質場にそれぞれ位置している.

## 3. 空間モーメント法

画像データに基づいて溶質分布の変化を定量化すべく,空間モーメント *M*<sub>ij</sub> を

$$M_{ij}(x,z,t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} H(x,z)I(x,z,t)x^{i}z^{j}dxdz \qquad (1)$$

により導出した. ここに, *t* は時間, *i* と *j* は各軸の空 間次数, *H*(*x*,*z*) は 1 ピクセルの面積, *I*(*x*,*z*,*t*) はピクセ ル明度である.式(1)から*x*方向の空間二次モーメン ト*M*<sub>20</sub> と *z* 方向の空間二次モーメント *M*<sub>02</sub> を求めた. さらに, 溶質分布の重心位置を

$$x_G = \frac{M_{10}}{M_{00}}, \quad z_G = \frac{M_{01}}{M_{00}}$$
 (2)

より算出した.ここに, *x<sub>G</sub>* と *z<sub>G</sub>* は色素分布の重心位 置の *x* 成分と *z* 成分である.











# -399

# 4. 結果と考察

## 4.1 地下ダム場の溶質輸送

点 a と c よりリリースされた溶質輸送の様子を図 2 に 示す.溶質はダム湖内に滞留せず,止水壁を越流あるいは 通過して下流へ流出していることがわかる.また,溶質の 重心位置の変化を図3に示す.地盤の飽和度に関わらず, 溶質はダム湖に滞留せずに下流へ流出している.不飽和領 域の流動は飽和領域と同様であると考えられる. 溶質分布 の変化を定量評価するため,空間二次モーメントの算出結 果を図4に示す.均質場の点hと地下ダム湖内の他の点a ~c, uの空間二次モーメントは異なる変化を示している. これは止水壁による流速分布の変化に起因すると推測され る.特に,点cの変動は特徴的であり,止水壁付近でx方 向よりも z 方向の空間二次モーメントが大きくなることか ら,ダム湖の深くを輸送する溶質は止水壁による抑制効果 が大きいと考えられる. そこで, 溶質の伸縮度合を評価す るため,溶質の見かけ面積 $^{2)}A = \sqrt{M_{20}M_{02}}$ と注入時の面 積 A<sub>0</sub> の比を面積変化率として定義し、地下ダム場全体に 対する面積変化率を図5に描く.ダム湖内の面積変化率は 止水壁下流に比べて小さく,特に水深の深い部分で溶質は 拡がりにくいことを示唆している.

## 4.2 止水壁の透水性の影響

伊江島や宮古島など実際に建設されている地下ダム止水 壁の透水係数はばらつきを有している<sup>3)</sup>.透水性の低い止 水壁を用いた Case 2 と 3 の実験結果を点 c について検討 するため, 点 c を起点とする溶質の空間二次モーメントの 結果を図6に示す.止水壁の透水性に関わらず, x 方向, z 方向の空間二次モーメントは止水壁直前でそれぞれ減少, 増加する傾向にある. Case 2 と 3 の z 方向の空間二次モー メントは Case 1 より大きくなり、止水壁の透水性が低い場 合,ダム湖の深い部分の溶質は止水壁に沿ってz方向に伸 びやすいと考えられる. そこで, 地下ダム場全体に対する Case 3の面積変化率を図7に示す.止水壁に近い部分で面 積変化率は図5と比べて大きい値を示しており、透水性の 低下は鉛直方向への溶質の拡がりにつながることが要因と 推測される.溶質の面積変化率を空間的に捉えることは溶 質の濃縮や希釈を解釈できる情報になると考えられ、水質 管理や揚水管理への発展的応用が期待される.

#### 5. 結論

本研究では,地下ダム場の溶質輸送現象を定量化した. その結果,溶質はダム湖に滞留することなく,止水壁を越 流あるいは通過して下流へ流出することが確認された.ま



図4:空間二次モーメント M<sub>20</sub>, M<sub>02</sub>の変化



た,ダム湖内の深い部分を移流する溶質は止水壁の効果により拡がりにくい結果を得た.一方で,止水壁の 透水性が低い場合,溶質の鉛直方向の伸びが促進されることを定量化できた.

参考文献:1)石田聡:沖縄県宮古島における地下水中の硝酸態窒素濃度変化と地下ダム建設の影響,土と基礎,55(8), pp.20–23, 2007.2) Tompson, A.F.B. and Gelhar, L.W.: Numerical simulation of solute transport in thee-dimensional, randomly heterogeneous porous media, *Water Resources Research*, 26(10), pp.2541–2562, 1990.3) 国営伊江土地改良事業 現地調査説明資料, 2016.