

地下ダム止水壁の遮水性能に応じた移流分散挙動の定量化
 Quantification of advective-dispersive behavior in subsurface dam
 corresponding to hydraulic barrier performance of cut-off wall

○ 高田 大輝*・井上 一哉*・濱田 莉菜子*・鈴木 麻里子*・田中 勉*
 Hiroki Takada, Kazuya Inoue, Rinako Hamada, Mariko Suzuki and Tsutomu Tanaka

1. 緒論

地下に構築した止水壁により地下水を貯留する地下ダムは水源に乏しい島嶼地域における農業用水の安定供給に寄与している。一方で、貯留域内の移流分散挙動に関する知見は少なく¹⁾、設計基準や水質管理計画の策定を困難にしている²⁾。本研究では、移流分散挙動に及ぼす止水壁の遮水性能の影響に関する知見を得ることを目的として、溶質輸送実験を実施した。

2. 地下ダム場を対象とした溶質輸送実験

本実験では、図1に示す高さ100 cm、幅100 cm、奥行き3 cmの実験装置に透水係数の異なる土質試料を水中落下させて充填した。各試料の物理特性を表1に示す。難透水性基盤、止水壁、帯水層をそれぞれ試料K0, K1, K3を用いて模擬して、図1のように配置することで地下ダム場を対象とした透水場を形成した。実サイトでは施工段階において、止水壁下端の透水性は高くなる傾向にあり、過度な漏水場では対策工が施されている²⁾。そこで、止水壁の遮水性能による移流分散挙動の変化について検討するため、図2のように止水壁下端を試料K2に置換した透水場、および試料K2を試料K1で補強した透水場を形成した。図1と図2に示すように止水壁なし、止水壁あり、漏水状態、漏水対策後の地下ダム場をそれぞれBase Case, Case α, Case β, Case γと称する。上流水位は止水壁天端より高く設定して越流状態にある地下ダム場を想定した。難透水性基盤の傾斜と同じ1/20の動水勾配を与えて、各透水場の孔a, b, cから濃度0.2 mg/cm³の色素水溶液 Brilliant Blue FCF³⁾を25 cm³注入することで、分布の時系列変動を撮影した。

表1: 試料の物理特性

試料	平均粒径 (cm)	透水係数 (cm/s)
K0	0.010	3.2×10 ⁻³
K1	0.011	4.8×10 ⁻³
K2	0.032	3.2×10 ⁻²
K3	0.12	4.0×10 ⁻¹

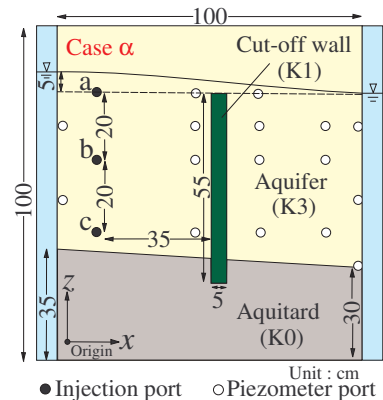


図1: 実験装置の概略

3. 画像解析による物理量算定

Case αにおける実験例を図3に示す。止水壁を越流または通過して流下する水溶液の分布変動を定量化するため、取得した画像のピクセル明度を溶質濃度と対応付けることで空間モーメント M_{ij} を、

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

により求めた⁴⁾。ここに、 H はピクセル面積、 B 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。式(1)より分布の重心位置(x_G, z_G)を $x_G = M_{10}/M_{00}$, $z_G = M_{01}/M_{00}$ にて算出して、重心の移動距離を撮影時間間隔で除すことにより重心位置に応じた速度ベクトルを求めた。また、分布のばらつき指標である x 方向の空間2次モーメント M_{20} , z 方向の空間2次モーメント M_{02} を算出した。

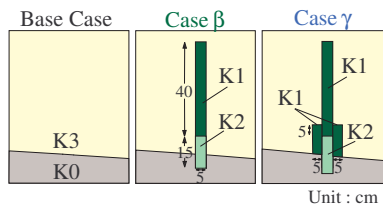


図2: 各ケースの概略

4. 結果と考察

4.1 地下ダム場における溶質の速度分布

画像解析の結果より、Base CaseとCase αの速度分布を図4に、Case βとCase γの速度分布を図5に示す。均質場であるBase Caseに

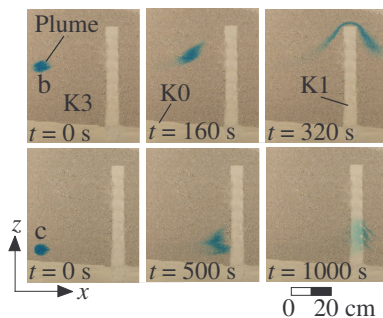


図3: 水溶液分布の例 (Case α)

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

において溶質は一定の速度で流下した一方で、通常の地下ダム場である Case α では多様な速度分布を示している。流れの集中する天端付近において溶質の速度は大きく、深部ほど速度は小さくなることがわかる。また、孔 c に注入した溶質について、漏水状態にある Case β では止水壁下端の高透水性部に流れが集中して速度は増加している。一方で、漏水対策後の Case γ における速度分布は Case α に類似した変化となり、対策工により止水壁下端における遮水性能が向上したことがわかる。

4.2 止水壁の遮水性能と空間 2 次モーメントの関係

止水壁の遮水性能に応じた溶質の伸縮について検討するため、孔 c に注入した溶質の x 方向の空間 2 次モーメント M_{20} 、および z 方向の空間 2 次モーメント M_{02} の推移を図 6 に示す。Case α と Case γ では止水壁直前における M_{20} の減少、Case β では貯留域内の継続した M_{20} の増加が特徴的である。 M_{20} の増減は速度の増減と一致しており、溶質の x 方向への伸縮は溶質の速度変化と連動しているといえる。また、Base Case では溶質は動水勾配と平行に流下したため M_{02} は横ばいに推移している一方で、地下ダム場では貯留域において M_{02} は増加傾向にある。これは、止水壁の遮水効果を受けて溶質が透水性の高い方へ選択的に移行する過程を定量化しており、止水壁の遮水性能が高いほど溶質の z 方向への分布が拡大するといえる。止水壁の遮水性能の変化と連動して空間 2 次モーメント量は変動することから、貯留域における溶質分布は止水壁の施工状況を判定するにあたり有用な情報になると考えられる。

4.3 止水壁の遮水性能と濃度変動の関係

孔 c に注入した溶質について、止水壁の遮水性能に応じた濃度変動、および貯留域に滞留する時間について検討する。画像解析にて算出した溶質の初期面積を既定時刻の分布面積で除すことにより相対平均濃度を求め、時間変動を図 7 に示す。また、溶質を注入してから重心が止水壁に到達するまでの時間を溶質の滞留時間と定義して丸印を併記している。溶質の滞留時間は Base Case, Case β , Case α , Case γ の順に長くなっており、滞留時間は止水壁の遮水性能を反映する指標であるといえる。遮水性能が高い Case α と Case γ では貯留域における平均濃度の増加が見られ、特に Case γ の増加傾向は顕著である。これは漏水対策により止水壁下端の遮水性能が向上することで溶質の濃縮が促されることを示唆している。

5. 結論

本研究では、地下ダム場を対象とした溶質輸送実験を実施して、止水壁の遮水性能に応じた移流分散挙動を定量化した。止水壁の遮水性能と連動して変化する溶質分布は、止水壁の施工管理において有益な情報となることが示唆された。また、止水壁の遮水性能の向上に伴う溶質速度の減少は、滞留時間の増加、溶質の濃縮を顕著に導く知見を得た。

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) 国営伊江地下ダム現地調査説明資料, 2016. 3) Flury, M. and Flüher, H.: Brilliant blue FCF as a dye tracer for solute transport studies - a toxicological overview, *J. Environ. Qual.*, 23, pp.1108-1112, 1994. 4) Massabó, M., Bellin, A., and Valocchi, A.J.: Spatial moments analysis of kinetically sorbing solutes in aquifer with bimodal permeability distribution, *Water Resour. Res.*, 44, W09424, 2008.

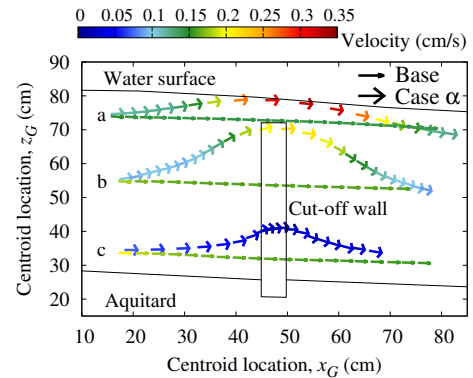


図 4：溶質の速度分布 (Base, Case α)

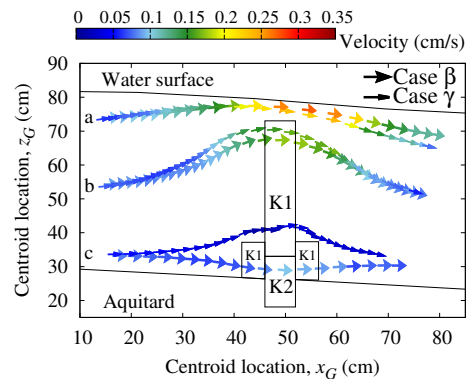


図 5：溶質の速度分布 (Case β , Case γ)

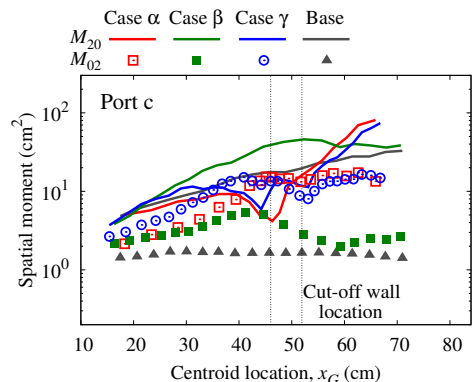


図 6：溶質の空間 2 次モーメント変動

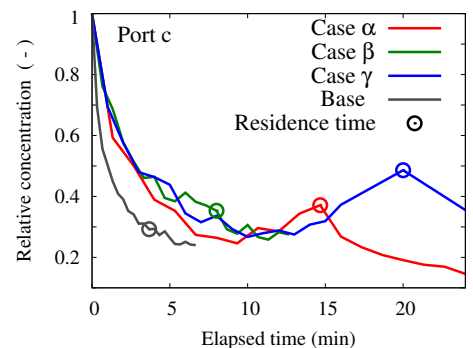


図 7：溶質の平均濃度変動と滞留時間