

地下遮水壁周辺の塩水輸送過程に関する実験的検討 Experimental investigation on saltwater transport process around subsurface barrier

○ 高田 大輝*・鈴木 麻里子*・井上 一哉*
Hiroki Takada, Mariko Suzuki and Kazuya Inoue

1. 緒論

地下に遮水壁を構築して帯水層への塩水侵入を防ぐ地下ダム事業は、水源に乏しい島嶼地域において農業用水の安定供給を実現している。一方で、貯留域内に残留する塩水塊の挙動予測が課題として挙げられているもの¹⁾、遮水壁や基盤のような低透水域を通じた塩水の輸送過程は不明瞭な点が多い。本研究では、遮水壁周辺において水位に応じて変動する塩水域分布および塩水楔内部の塩水循環の可視化および定量化を目的として、塩水侵入実験および溶質輸送実験を実施した。

2. 実験方法

図 1 に示す高さ 100 cm、幅 100 cm、奥行き 3 cm の淡水で満たした水槽に透水性が異なる 3 種類の試料を充填することで帯水層、難透水性基盤、遮水壁を模擬した地盤を形成した。本実験では、現象の可視化に適した珪砂を試料として用い、各試料の透水係数 k の比が実サイトと同様になるように試料を選定した。

地盤作製後、装置に連結された下流側タンクに表 1 に示す条件の塩水を注水し水位 h_s を 75.0 cm に保った。塩水は赤系色素 New Coccin により着色して分布の可視化を可能にした。上流側タンクの淡水位 h_f は h_s と同じ 75.0 cm (Case 0) に設定し、上流側に侵入する塩水の挙動を撮影した。その後、 h_f を 76.0 cm (Case 1) に上昇させると塩水は後退し平衡状態に到達する。平衡状態にある塩水楔内における溶質輸送特性について検討するため、青色色素 Brilliant Blue により着色したトレーサを注入孔から注入し、トレーサの輸送過程を撮影した。さらに、 h_f を 77.0 cm (Case 2) に上昇させることで平衡状態にある塩水を後退させ、塩水の流出過程を撮影した。比較のため、遮水壁を設けない均質場でも同様の実験を実施した。

3. 画像解析による濃度分布算定

画像のピクセル明度を色素水溶液の濃度に変換するキャリブレーション²⁾を実施し、実験で取得した画像から塩水およびトレーサのピクセルごとの色素濃度をそれぞれ算出した。図 2 に示すように、RGB 画像から B 値のみを抽出した画像 (B 画像) を用いて塩水の濃度分布を算出し、塩水域先端までの長さ L を求めた。また、RGB 画像から R 値のみを抽出した画像 (R 画像) を用いてトレーサの濃度分布を算出した。

4. 実験結果

塩水侵入時 (Case 0) における塩水楔先端までの長さ L の推移を図 3 に示す。遮水壁のない均質場と比較すると、遮水壁を設けることで塩水の侵入が遅れており、 L の増加率はおよそ 1/4 程度になっている。また、塩水侵入時における塩水分布を図 4 に示す。塩水の相対濃度は図のカラーバーに対応

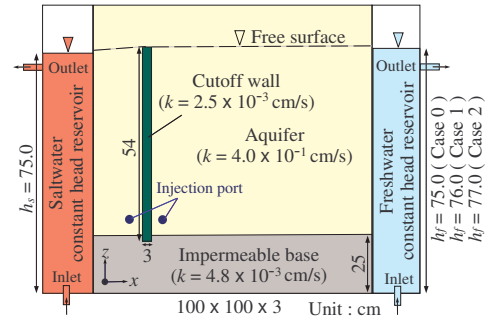


図 1：装置概略図

Schematic diagram of experimental setup

表 1：塩水およびトレーサ条件
Saltwater and tracer conditions

	塩水	トレーサ
塩分濃度	3.5%	3.5%
比重	1.025	1.025
色素	New Coccin	Brilliant Blue
色素濃度	0.1 mg/cm ³	0.2 mg/cm ³

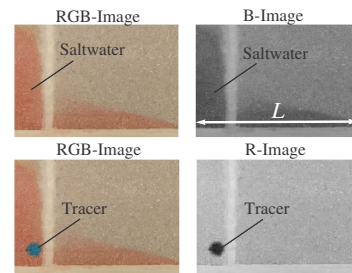


図 2：画像解析例

Examples of image analysis

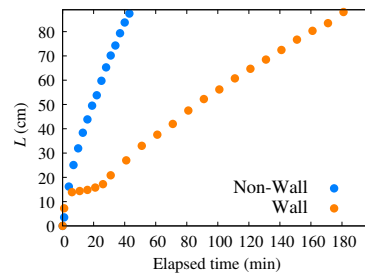


図 3：Case 0 における L の推移
Fluctuation of L in Case 0

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

している。遮水壁により塩水侵入は抑制されるものの、遮水壁下端および基盤から少しずつ塩水が侵入して上流側へ拡大している。遮水壁下流側において低濃度の塩水域が拡大する点は、塩水侵入時の塩水分布において特徴的な現象である。

侵入した塩水が上流端に達した時点で水位を Case 1 に設定し塩水を後退させた。Case 1 において平衡状態に到達した塩水域の分布を図 5 に示す。遮水壁上流側の貯留域内に塩水の一部が残留しており、均質場と比較して低濃度の塩水領域が大きくなっている。遮水壁によって生じる上向きの流線により塩水が希釈され、汽水領域が拡大したと考えられる³⁾。このように平衡状態にある塩水域内の溶質輸送特性を評価すべく注入したトレーサの分布を図 6 に示す。トレーサを注入した時刻を $t = 0 \text{ min}$ としている。均質場ではトレーサは塩水楔内を上流側へ移行した後、淡塩水境界に沿いを移行方向に拡大しながら流下している⁴⁾。一方、遮水壁下流側に注入したトレーサは遮水壁に沿って上方に移行し下流側に流出しており、遮水壁が塩水域内の塩水循環を阻害していることがわかる。しかしながら、塩水楔が平衡状態を保つには下流側からの塩水供給が必要であり、遮水壁下端付近から少しずつ塩水が輸送されていると推察される。遮水壁上流側に注入したトレーサは塩水域内で拡大しながら長時間にわたり貯留域内に滞留した。

塩水後退時の流出過程を評価すべく、 $t = 440 \text{ min}$ において上流側水位を Case 2 に設定した。貯留域に存在するトレーサ面積の推移を図 7 に示す。 $t = 0 \text{ min}$ におけるトレーサ面積を 1 としている。平衡状態において塩水域内で拡大したトレーサが水位上昇とともに少しずつ減少し、最終的にはすべてのトレーサが貯留域外に流出している。流出時におけるトレーサ分布および平衡状態に到達した塩水域の分布を図 8 に示す。トレーサの流出経路は塩水楔の低濃度領域に一致しており、水位上昇時には汽水域を通じて貯留域外に塩水が流出することがわかる。

5. 結論

本研究では、室内実験にて遮水壁周辺において水位に応じて変動する塩水分布および輸送過程について検討した。水位低下時には遮水壁下端および基盤から塩水が貯留域内に侵入する一方で、水位上昇時には汽水域を通じて下流に流出する過程を示した。また、トレーサ注入により平衡状態にある塩水域内の塩水循環を可視化し、遮水壁が塩水輸送を大きく妨げていることを示した。数値モデルによる現象の再現および現場スケールにおけるシミュレーションを今後の課題とする。

参考文献：1) 吉本周平, 土原健雄, 白旗克志, 石田聡: 琉球石灰岩を帯水層とした塩水阻止型地下ダム貯留域における残留塩分塊の分布と挙動, 土壌の物理性, 131, pp.37-43, 2015. 2) 井上一哉, 小林晃, 鈴木克季, 竹之内亮, 田中勉: 色素トレーサと空間モーメント解析を用いたマクロ分散推定法, 土木学会論文集 B1(水工学), 67(4), pp.L613-L618, 2011. 3) Abdoulhalik, A., Ahmed, A. and Hamill, G.A.: A new physical barrier system for seawater intrusion control, *J. Hydro.*, 549, pp.416-427, 2017. 4) Chang, S.W. and Clement, T.P.: Experimental and numerical investigation of saltwater intrusion dynamics in flux-controlled groundwater systems, *Water Resour. Res.*, 48, W09527, 2012.

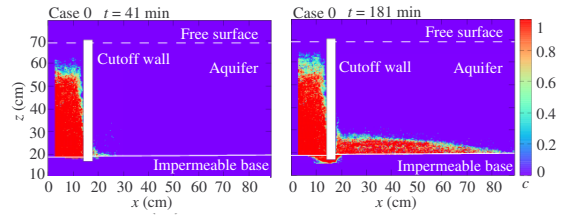


図 4: Case 0 における塩水分布
Saltwater distribution in Case 0

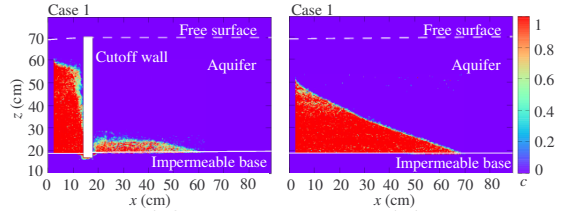


図 5: 定常状態における塩水分布
Saltwater distribution in steady state

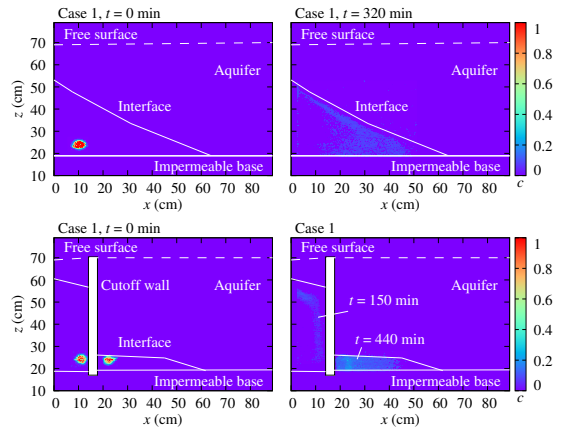


図 6: 塩水域内におけるトレーサ分布
Tracer distribution in saltwater wedge

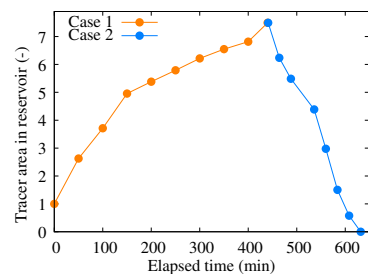


図 7: 貯留域内のトレーサ面積の推移
Fluctuation of tracer area in the reservoir

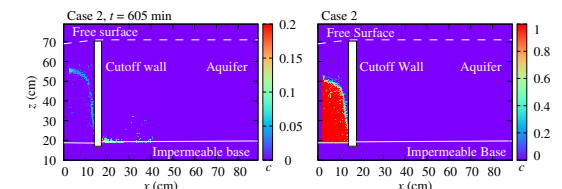


図 8: Case 2 におけるトレーサ分布と塩水分布
Tracer and saltwater distribution in Case 2