室内試験によるバリア井戸設置時の塩水侵入の挙動に関する考察

九州大学工学部 学生会員 藤田優矢 九州大学工学部 技術職員 大石秀人 九州大学大学院工学研究院 正会員 広城吉成

<u>1.背景と目的</u>

近年の地球温暖化による海水面の上昇に伴い,沿岸 部の帯水層では地下水への塩水侵入が進行すると推定 される.これによって,沿岸部における地下水利用では, 水質の悪化や揚水可能量の減少が問題となり,これに 対する対策が重要な課題となっている.

これまで、塩水侵入に対する対策としては、揚水量の 削減、揚水井の再配置、地下ダムの設置、人工涵養、塩 水の揚水など数多くの方法が提案されている^D.特に、 塩水の揚水に関する研究では、仮説モデルを用いた数 値解析に関するものが多く^D、揚水条件の変化による塩 水侵入の時間的な変化などを観察する実験的な研究は ほとんど行われていない.

したがって、本研究では、塩水侵入阻止を目的とした バリア井戸で塩水を揚水した状況における、塩水侵入 の挙動を観察する基礎的な室内試験を行う.様々な揚 水条件の下での塩水侵入の時間的な変化などを観察し、 その結果から、バリア井戸の有効性に関する新たな提 案をすることを目的とする.

<u>2. 実験概要</u>

<u>2-1. 実験装置</u>

室内試験装置は、図1に示すように長さ100cm、高 さ40cm、幅10.6cmのアクリル製である.浸透層部分に は、直径が0.71~1.00mmのガラスビーズを充填してあ り、層厚は約32cmである.また浸透層の両側には、塩 水または淡水を定水位で供給する貯留槽を設置し、浸 透層を一定の動水勾配(i=0.015)に設定している.さら に、実験装置の左下端から右に50cm、高さ15cmの位 置にバリア井戸Aを、右に75cm高さ15cmの位置に生 産井 Bをそれぞれ設置し選択的に取水ができるようバ ルブを設けている.塩水は比重を1.025となるように 調整し、食紅によって赤色に着色したものを使用した.

実験は,事前に間隙率,透水係数を推定したのち,浸 透層左端に差し込んだ仕切り版を除去することで開始 した.実験における塩水侵入の挙動はデジタルカメラ を用いて記録した.



<u>2-2. 実験手順</u>

実験は図 2 に示すように、5つのステップで構成された.各ステップにおいて定常状態に到達したら、連続して次のステップを行い、ステップ 5 が終了した時点で一回の実験を終了とした.

ステップ1では、塩水および淡水の密度差による塩 水侵入過程を観察した.ステップ2では、井戸Aで取 水を行い、取水量の違いによる塩水侵入の形や侵入速 度を観察した.さらに、ステップ3では、井戸Aおよ び井戸Bでの取水を行い、両井戸の取水量比と塩水侵 入の挙動の関係について観察した.なお、ステップ4は、 井戸Bのみ取水を停止したステップ2への後退過程、 ステップ5は、井戸AおよびBでの取水を停止したス テップ1への後退過程である.



図2. 各ステップのながれ(写真は定常状態)

表1に実験の設定条件を示す.密度や水頭に関して は各実験前に調整してあるため,実験中の条件変化は ないものの,実験ごとに若干の誤差を含んでいるもの と考えられる.

表1. 実験条件

淡水水位(cm)	31.5		
塩水水位(cm)	30		
淡水密度(g/cm³)	1		
塩水密度(g/cm³)	1.025		
間隙率(%)	33.1		
透水係数(cm/s)	0.38-0.53		

<u>3. 結果と考察</u>

表 2 にステップ1の結果を示す.塩水侵入長は浸透 層の左下端から塩水楔の先端までの距離であり,31~ 41cmであった.ガイベン-ヘルツベルグの法則³から算 出した同条件の理論値は50 cmであり,実験値は理論値 よりも10~20cm程度小さいことがわかる.この理由と して,ガイベン-ヘルツベルグの法則では,沿岸部の淡 水流出面積を考慮しておらず,塩水侵入長を実際より も大きく評価してしまうためであると考えられる.ま た,塩水侵入時間に関して,透水係数が大きいほど定常 状態への到達が早いことがわかる.このことから,同一 の動水勾配における沿岸部での塩水侵入の進行は,沿 岸部の地盤の透水性が高いほど早いといえる.

表2. 透水係数と定常状態到達時間の関係

透水係数(cm/s)	0.527	0.482	0.452	0.395	0.386
定常状態到達(分)	90	110	130	150	150
塩水侵入長(cm)	35	35	32.5	31	41

表3にステップ1~3での塩水侵入長の結果を示す. 井戸Aでのみ取水を行ったステップ2では、塩水侵入 長は58.5-61 cmとなり、井戸Aより約10 cm程度内陸側 まで侵入していることがわかる.さらに、井戸Aおよ び井戸Bでの取水を行ったステップ3では、井戸Aに 対する井戸Bの取水量が大きいほど塩水は内陸側まで 侵入しており、この取水量比が2倍以上では、井戸B への上昇円錐(Upconing)が観察され、井戸Bでの塩水 化が確認された.一方、取水量比が1.5倍以下では、バ リア井戸が内陸部への塩水の侵入を阻止できているこ とがわかる.井戸Aと井戸Bの取水量比によって揚水 可能量を決定できるとすると、バリア井戸での取水量 が大きいほど内陸部での揚水可能量も大きくなるとい える.そのため、今回の実験にける、揚水量比の結果は 非常に重要であるといえる.

表3.AおよびB取水量と塩水侵入長の関係

A取水量(ml/s)	1.84	2.93	2.47	2.67	2.2
B取水量(ml/s)	1.73	3.47	3.8	5.33	5.7
Aに対するB取水量比	1倍	1.2倍	1.5倍	2倍	2.6倍
Step 1 (cm)	32.5	31	35	41	35
Step 2 (cm)	59	58.5	61	59.5	59
Step 3 (cm)	67	64.5	72	74	75
Bへの塩水侵入	Х	×	×	0	0

表4に塩水侵入過程であるステップ3と後退過程で あるステップ4の定常状態到達までの時間の比較を示 す.結果から,前進過程と後退過程では定常状態到達が 最大30分程度前後していることがわかる.このことか ら,後退過程は,必ずしも前進過程と同じ挙動をして進 行するとはいえないことがわかる.

表4. 侵入過程と後退過程に要する時間の比較

Aに対するB取水量比	1倍	1.2倍	1.5倍	2倍	2.6倍
Step 3 (分)	90	70	80	130	70
Step 4 (分)	120	40	80	100	80

<u>4. 結論</u>

本研究では、沿岸部の不圧帯水層におけるバリア井 戸での揚水を想定した室内試験を行い、取水条件や透 水係数の違いによる塩水侵入の挙動を観察した結果を まとめた.結果から、バリア井戸に対する内陸部の揚水 量比が 1.5 倍まで揚水可能であると結論付けることが でき、バリア井戸の有効性を確認することができた.な お、塩水侵入の挙動に関する写真を用いた詳しい考察 ついては、西部支部発表時に公表する予定である.

<u>参考文献:</u>

 Mohammed S. Hussain, Hany F. Abd-Elhamid, Akbar A. Javadi, Mohsen M. Sherif. : Management of Seawater Intrusion in Coastal Aquifers : A Review, *Water*. 2019, *11*(12), 2467.

2): 例えば, Park, S. Kim, J. Yum, B. Yeh, G. : Threedimensional Numerical Simulation of Saltwater Extraction Schemes to Mitigate Seawater Intrusion due to Groundwater Pumping in a Coastal Aquifer System, Journal of Hydrologic Engineering, 2011,17,10-22.

3):藤縄克之.環境地下水学,共立出版,2010.p.136-137