

室内試験によるバリア井戸設置位置と水位差変動が塩水侵入挙動に及ぼす影響評価

九州大学工学部 学生会員 陶山浩矢
 九州大学工学部 非会員 奈木野竜也
 九州大学工学部技術部 非会員 大石秀人
 九州大学大学院工学研究院 正会員 広城吉成

1.背景と目的

近年の地球温暖化による海面上昇や地下水揚水量の増加による地下水位の減少に伴い、沿岸部帯水層では地下水への塩水侵入が進行すると懸念されている。これによって、沿岸部地下水利用においては、水質悪化や揚水可能量の減少が問題となり、地下水塩水化対策が必要とされている。対策の1つとして、沿岸部井戸での塩水の揚水による塩水侵入阻止案が挙げられるが、バリア井戸の最適設置位置の検討や水位差変動に伴うバリア井戸の性能検討が十分なされていない。

そこで、本研究では、バリア井戸の設置位置及び水位差変動が塩水侵入挙動にどのような影響を及ぼすのか室内実験により観察し、バリア井戸の有効・効率的な設置位置を検討することを目的とした。

2.実験概要

2-1.実験装置

図1に実験装置を示す。浸透槽を長さ100cm、高さ40cm、幅10cmとし、直径0.71~1.00mmのガラスビーズで層厚約32cmになるよう充填した。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、浸透層の動水勾配を設定できるようにした。さらに、浸透槽の左下端から右に50cm、高さ15cmの位置に井戸Aを、右に75cm、高さ15cmの位置に井戸Bを、右に90cm、高さ5cmの位置に井戸Cをそれぞれ設置し、選択的に取水できるようにバルブを設けている。なお、実験装置には、左下端から右に90cm、高さ15cmの位置と高さ25cmの位置にも井戸を設置しているが、実験1及び2には使用していないため名称を付けていない。塩水は密度を $1.025\sim 1.027\text{g/cm}^3$ 程度に調整し、食紅によって着色したものを使用した。浸透層の間隙率38.4%、透水係数 0.400cm/s は事前に計測した。また、塩水槽と浸透槽の間には取り外し可能な仕切り版を挿入している。

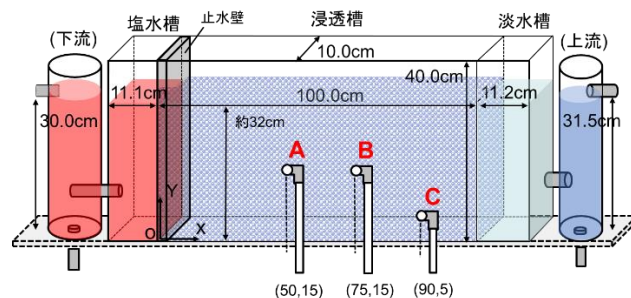


図1. 実験装置

2-2.実験手順

2-2-1.実験1

実験1ではバリア井戸設置位置の違いによる塩水侵入の挙動を確認した。井戸Aと井戸Bをバリア井戸、井戸Cを生産井と想定して行った。ステップ1では、井戸Cでの取水を開始後、仕切り版を除去し、井戸Cに塩水を侵入させた。ステップ2では井戸Aでの取水を開始し、井戸Aの取水量の違いによる生産井Cへの塩水侵入の有無を確認した。ステップ3では井戸Aでの取水を停止し、再びステップ1の定常状態に戻した後、井戸Bでの取水を開始し、井戸Bの取水量の違いによる井戸Cへの塩水侵入の有無を確認した。なお、淡水水位31.5cm、塩水水位30.0cmに固定して実験を行った。

2-2-1.実験2

実験2では、淡水水位の高さを調整することで淡水位を31.5cm、31.0cm、30.5cmに調節し、水位差が変化した状況をそれぞれ再現した。井戸Aをバリア井戸、井戸Bを生産井と想定して行った。実験2は5つのステップで構成されており、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、仕切り版を除去し、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での取水を行い、塩水侵入の形や侵入の速度を観察した。ステップ3では、井戸A及びB取水下での塩

水侵入の挙動を観察した。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。なお、バリア井戸A取水量は $3.1\text{cm}^3/\text{s}$ 、生産井B取水量は $5.0\text{cm}^3/\text{s}$ に固定して実験を行った。

3.結果と考察

3-1.実験1

表1にC取水量 $9.5\text{cm}^3/\text{s}$ 時のステップ2の結果を示す。バリア井戸A取水量 $2.9\text{cm}^3/\text{s}$ 以下では生産井Cへ塩水侵入を観測できたが、 $3.0\text{cm}^3/\text{s}$ 時には塩水侵入を観測できなかった。バリア井戸Aにおいて、生産井の0.32倍以上の取水を行うことで塩水侵入を防ぐことができると確認された。

表2にC取水量 $9.5\text{cm}^3/\text{s}$ 時のステップ3の結果を示す。バリア井戸B取水量 $6.2\text{cm}^3/\text{s}$ 以下では生産井Cへ塩水侵入を観測した。バリア井戸Bにおいて、生産井の0.65倍の取水を行っても、塩水侵入を防ぐことはできなかった。

実験1の結果より、バリア井戸Aとバリア井戸Bの生産井Cへの塩水侵入阻止効果を、取水量の観点から比較すると、バリア井戸Aの効果の方が大きいことが分かる。

表1. バリア井戸A取水量と塩水侵入

A取水量(cm^3/s)	2.0	2.2	2.9	3.0
Cに対するA取水量比	0.21	0.23	0.30	0.32
Cへの塩水侵入	あり	あり	あり	なし

表2. バリア井戸B取水量と塩水侵入

B取水量(cm^3/s)	2.4	2.8	4.6	6.0	6.2
Cに対するB取水量比	0.26	0.30	0.49	0.63	0.65
Cへの塩水侵入	あり	あり	あり	あり	あり

3-2.実験2

表3にステップ1～3での塩水侵入長の結果を示す。塩水侵入長は浸透層の左下端から、塩水侵入の右下端までの水平距離である。淡水水位 30.5cm であるステップ1の侵入長は、 100cm を超えたため測定できなかった。表より、淡水水位が減少するほど塩水侵入長が大きくなることが分かる。また、淡水水位が 30.5cm の場合、ステップ3で生産井Bへの塩水侵入が起きた。よって、塩水水位と淡水水位の水位差が減少すれば、塩水侵入長が増加し、生産井Bへの塩水侵入を引き起こすことが分かる。

また、ステップ2における侵入長に注目すると、淡水水位 30.5cm の場合を除いて、ステップ1での侵入長から増加している。この結果から、ステップ1での塩水侵入長によっては、バリア井戸が塩水侵入を増加させてしまうことがあることが分かる。

表3. 淡水水位と塩水侵入長

淡水水位(cm)	31.5	31.0	30.5
Step1(cm)	29.6	52.3	
Step2(cm)	56.6	60.1	73.5
Step3(cm)	64.7	68.9	77.0
Bへの塩水侵入	なし	なし	あり

4.結論

本研究では、沿岸部の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、バリア井戸の位置や取水条件による生産井への塩水侵入挙動の変化を観察した結果と水位差変動による塩水侵入と後退の挙動の変化を観察した結果をまとめた。実験1の結果を踏まえると、バリア井戸Aの方がバリア井戸Bより塩水侵入を阻止する効果が大きいことが、取水量の観点から分かった。また、実験2の結果から、塩水侵入長によって、バリア井戸の塩水侵入阻止効果が変化するが分かった。以上のことから、帯水層におけるバリア井戸は、塩水侵入を増加させない塩水槽側の設置が望ましいと考えられる。

今回の実験では、バリア井戸の設置位置を帯水層の淡水槽側に集中しまったことや設置数が少なかったことが原因で、生産井への塩水侵入を防ぐ効率的なバリア井戸設置位置を特定するという目的が果たされたとはいえ難い。しかし、実験結果から、確かにバリア井戸設置位置によって生産井への塩水侵入阻止効果が変化するが分かった。

今後の展望として、井戸の設置位置を増加させることによって、実験的に生産井での取水が塩水化しない生産井とバリア井戸の最も有効・効率的な位置関係を特定すると同時に、数値シミュレーションを行い、その妥当性を確認したい。

実験1及び実験2に関する写真を用いた詳しい考察は西部支部発表時に公表する予定である。