

室内実験による複数 Barrier 井戸設置時の Production 井戸への塩水侵入挙動に関する考察

九州大学工学部 学生会員 真野こずえ
九州大学工学部 非会員 陶山浩矢
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、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低下などに伴い、沿岸部の帯水層では塩水の地下水への侵入が進行することが懸念されている。沿岸部で塩水侵入が発生することにより、該当地域での地下水利用において水質悪化や揚水可能量の減少といった問題が生じるため、これについての対策を講じることが重要となっている。

地下水塩水化対策の一つとして、内陸部での塩水侵入阻止と塩水化の回復を目的とした Barrier 井戸の設置と揚水については、既に一定の有効性が確認されている。しかしながら、複数の Barrier 井戸を同時に取水する場合については塩水の挙動に対する考察が十分に行われていない。

そこで、本研究では、この Barrier 井戸を 1 か所のみ設置した場合に加え複数設置した場合の塩水侵入の挙動も観察する基礎的な室内実験を行い、両者の挙動の違いについて比較・考察を行うことを目的とした。

2. 実験概要

2-1. 実験装置

図-1 に実験装置を示す。長さ 100cm、高さ 40cm、幅 5cm のアクリル製の容器を浸透槽とし、直径 0.71~1.00mm のガラスビーズで層厚約 33cm になるよう充填した。また浸透層の両側には、塩水または淡水を定水位(塩水位 28.0cm、淡水位 29.0cm(表-1))で供給する貯留槽を設置し、浸透層の動水勾配を一定の値($i=0.010$)に設定した。さらに、井戸 A~C を、浸透槽の左下端から右に x cm、高さ y cm の位置を(x,y)として、A(30,15)、B(55,15)、C(80,15)に設置し、選択的に取水できるようにバルブを設けた。塩水は比重が 1.025g/cm^3 程度となるように調整し(表-1)、目視での観察を可能にするため食紅によって着色した。浸透層の間隙率は装置作成時に測定・推定し、透水係数は各実験毎に計測をして求めた(表-1~3)。また、実験開始前に塩水槽

から塩水が浸透するのを防ぐため、塩水槽と浸透槽の間には取り外し可能な止水壁を挿入した。実験における塩水侵入の挙動はデジタルカメラにより記録した。

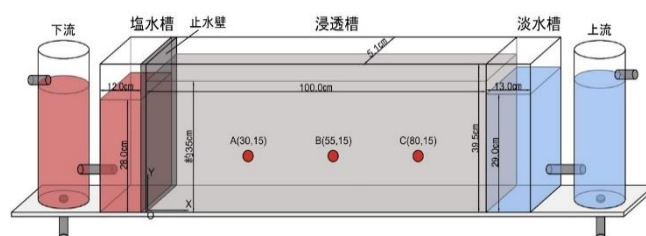


図-1 実験装置

表-1 実験条件

実験条件	淡水	塩水
水位(cm)	29.0	28.0
密度(cm^3)	1	1.025
間隙率(%)	36.4	
透水係数(cm/s)	0.48~0.76	

2-2. 実験手順

2-2-1. 実験 1

実験 1 では井戸 A の 1 か所のみ Barrier 井戸、井戸 C を Production 井戸として塩水侵入の挙動を観察した。まず、淡水槽と塩水槽の水位が一定の水頭差に保たれていることを確認した後、止水壁を除去し、井戸 A,C に塩水を侵入させた。この時点を実験開始時刻とし、A,C は予め設定した一定の取水量で計測終了まで揚水した。計測開始後は定常状態に到達するまで両井戸で取水を継続し、C への塩水侵入の有無等の塩水侵入挙動と両井戸の取水量比の関係について観察した。さらに、定常状態に達した後に C での取水を止め、以降の塩水の挙動を観察し塩水の後退が起これるかに確認した。以上の結果を踏まえて、C への塩水侵入が発生する限界の取水量比(A:C)を推定した。なお、C での取水を止めた時点を実験終了時刻とした。

2-2-1. 実験 2

実験 2 では、井戸 A,B の 2 か所を Barrier 井戸、井戸

C を Production 井戸として塩水侵入の挙動を観察し、実験 1 と比較を行った。実験手順と方法については、実験 1 の場合に加えて B での取水も行った。定常状態に達した後は実験 1 と同様に C での取水を停止して計測終了とし、その後は塩水の後退の状況を観察した。取水量比は実験 1 での限界取水量比(A:C)を基準に、(A+B):C=【実験 1 の限界取水量比】と設定し、さらに取水比を変化させたケースについても実験・観察を行った。

3. 結果と考察

3-1. 実験 1

表-2 に実験 1 を 5 段階の取水量比でそれぞれ行った結果を示す。但し、1-1 は Barrier 井戸での取水を行わなかったケースであり、1-2~1-5 は取水量比 A:C を 1:7.8~1:10.6 にかけて段階的に変化させたケースである。

1-2 と 1-3 では C への塩水侵入は全く起きないまま定常化し、その時の最大塩水侵入長は 76 cm 程度となった。また、1-4(A:C=1:9.6)においては定常到達後に C で upconing が発生しわずかに塩水が侵入したが、その後は 15 分程度取水した水の色に変化はなく、その状態で定常化したため、この取水量比は限界取水量比に近いことが推測された。従って、今回の実験ではこの時の取水量比 1:9.6 を限界取水量比とみなし実験 2 に用いることにした。さらに、1-5 においては 1:10.6 で取水したところ C には塩水侵入がはっきりと確認でき、定常状態となった。C への塩水侵入が確認されたケースの塩水侵入長はいずれも 79~80 cm 程度であった。

表-2 各取水量比における各値(実験 1)

実験 1	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5
A取水量(ml/s)【Barrier】		0.515	0.438	0.364	0.361
B取水量(ml/s)					
C取水量(ml/s)【Production】	4.15	4.00	3.84	3.50	3.84
取水量比(A:C)		1:7.8	1:8.8	1:9.6	1:10.6
透水係数(cm/s)	0.666	0.476	0.762	0.577	0.762
最大塩水侵入長(cm)	81.5	76.1	76.7	79.9	79.5
定常状態到達時間(min)	100	120	125	140	130
定常までのBarrier井戸総取水量(ml)		3708	3285	3058	2816
Cへの塩水侵入	+	-	-	+	+

3-2. 実験 2

表-3 に実験 2 を 3 段階の取水量比で行ったケースの結果を示す。2-1 と 2-2 は Barrier 井戸全体と Production 井戸の取水量比が実験 1 の限界取水量比(1:9.6)となるように設定し、ともに Barrier 井戸の A,B はそれぞれ 4:1, 2:1 の比で取水した。これは、より海側にある Barrier 井戸の取水量が多い方が塩水侵入阻止の効果が高いという結果²⁾を踏まえた上で取水比を設定した。表-3 から、

A,B の合計取水量が等しい場合、より A での取水量が少ない 2-2 の方が内陸部への塩水侵入が大きくなり、Barrier 井戸 B への塩水侵入が発生したことが分かる。さらに、より Barrier 効果の高い A:B=4:1 に保ったまま Barrier 井戸 A+B と Production 井戸 C の取水比を 1:10.4 に設定して塩水の挙動を観察したところ、C への塩水侵入が発生した。但しこの場合も実験 1 の 1-4 と同様に僅かに塩水が入りそのまま定常化したため、この時の取水量比が実験 2 における限界取水量比と推定した。

この結果を実験 1 と比較すると、Barrier 井戸全体の取水量 A+B が等しい場合、海側の 1 つの Barrier 井戸 A に加え内陸部でも Barrier 井戸 B によって取水を行うことで、より内陸への塩水侵入を抑えることが可能となり、それにより Production 井戸 C への塩水侵入も阻止する効果が期待できることが分かった。

表-3 各取水量比における各値(実験 2)

実験 2	2-1	2-2	2-3
A取水量(ml/s)【Barrier】	0.294	0.265	0.275
B取水量(ml/s)【Barrier】	0.0705	0.131	0.0692
C取水量(ml/s)【Production】	3.50	3.76	3.60
取水量比(A:C)	1:9.6	1:9.5	1:10.4
取水量比(A:B)	4:1	2:1	4:1
透水係数(cm/s)	0.577	0.508	0.505
最大塩水侵入長(cm)	74.1	78.7	78.7
定常状態到達時間(min)	150	140	140
定常までのBarrier井戸総取水量(ml)	3281	3326	2891
Bへの塩水侵入	-	+	+
Cへの塩水侵入	-	-	+

4. 結論

本研究では、沿岸部の不圧帯水層における Barrier 井戸での揚水を想定した室内試験を行い、Barrier 井戸を 1 か所のみと 2 か所設置した場合の Production 井戸への塩水侵入挙動の違いを観察した結果をまとめた。実験 1 と実験 2 の結果より、Barrier 井戸は 1 か所よりも複数設置した方が Production 井戸への塩水侵入を抑制する効果を高くすることが可能だった。但し、Barrier 効果をより高めるための Barrier 井戸同士の取水比などについては検討の余地があり、実験 1 及び実験 2 に関するさらなる実験を行い、西部支部発表時に公表する予定である。

〈参考文献〉

- 1) 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(藤田優矢・大石秀人・広城吉成 土木学会西部支部研究発表会講演概要集(CD-ROM), 2020年3月)
- 2) 室内実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(広城吉成, 陶山浩矢 Kansai Geo-Symposium2022 論文集, 47-51, 2022年11月)