

海岸帯水層における塩水侵入制御に関する実験的検討 Experimental Studies on Saltwater Intrusion Control in Coastal Aquifers

○ 梶井 和朗*・高橋 昌弘**・柏 虹輝*・Roger Luyun, Jr.***

MOMII Kazuro, TAKAHASHI Masahiro, KASHIWA Koki, and Roger LUYUN, Jr.

1. はじめに

地下水は、地球上の数十億の人々、特にアジアの途上国の人々にとって、生活や食糧生産を支える重要な淡水資源である。人口の集中する海岸域や淡水資源確保の難しい島嶼域での地下水の過剰揚水は、海水による淡水地下水汚染を引き起こすことが危惧される。海岸域における海水侵入を制御する工学的対策として、井戸からの注水、地下海水揚水、浸透池からの人工涵養、及び止水壁（地下ダム）工法などが考えられる^{1), 2)}。本研究では、止水壁設置に伴う残留塩水の排除過程、及び地表からの人工涵養に伴う塩水侵入制御効果に関する基礎的知見を得るために、室内実験スケールでの検討を加えた。

2. 実験

図 1 にアクリル製実験装置を示す。平均粒径 0.88 mm のガラス球を水槽に高さ約 26 cm まで充填した。多孔質媒体浸透層の両側には、水位制御可能な塩水槽（左側）と淡水水槽（右側）を設定し

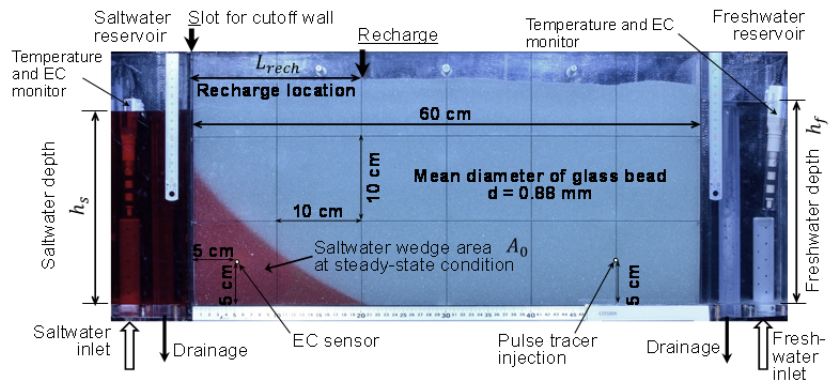


図 1 実験装置 Experimental set-up

表 1 実験条件 Experimental conditions

		Expt. 1		Expt. 2				
		Cutoff Wall		Recharge				
		Case 1	Case 2	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	
Wall height	cm	20.0	18.0	-	-	-	-	
Saltwater depth	h_s cm	23.0	19.9	20.3	↑ These values are the same in the four cases in Expt. 2.			
Freshwater depth	h_f cm	24.0	21.1	21.0	↓			
Density of saltwater	g/cm^3	1.024	1.0235	1.025				
Density of freshwater	g/cm^3	0.999	0.9995	1.000				
Discharge rate	cm^2/s	0.18	0.27	0.12				
Recharge rate	cm^2/s	-	-	0.10				
Recharge location	L_{rech} cm	-	-	5	23.5	35	50	

は 1 cm である。表 1 に実験条件を示す。Expt. 1 では、一定水深 h_s , h_f での定常塩水侵入状態において、Case 1, 2 で、それぞれ高さ 20, 18cm の止水壁を挿入し、塩水の挙動をカメラで撮影した。Expt. 2 では、定常塩水侵入状態（塩水楔先端位置=23.5 cm）が達成された後、涵養位置 $L_{rech}=5$ cm（Case 1）から単位幅当たり一定流量 0.10 cm^2/s で、表面から定量

*鹿児島大学農水産獣医学域農学系 Faculty of Agriculture, Kagoshima University **日本工営(株) Nippon Koei Co., Ltd. ***フィリピン大学 University of the Philippines キーワード：地下水、水資源開発・管理

ポンプで滴下した。塩水楔形状の時間変化をカメラで撮影し、楔形状が変化しなくなるまで涵養を続けた。その後、再度塩水を侵入させ、定常状態を確認後、涵養位置 $L_{rech}=23.5, 35, 50\text{ cm}$ で、同一の一定涵養流量で Case 2~4 を順次実施した。

3. 結果と考察

図 2 に、Expt. 1 における止水壁設置後の塩水排除に伴う定常塩水楔（断面積 A_0 ）の減衰過程を、時刻 t での塩水楔断面積を $A(t)$ 、塩水が完全に排除されるまでの時間 t_{max} とし、 t/t_{max} に対する $A(t)/A_0$ の関係を示す。止水壁高さや淡・塩水深が異なる Case 1, 2 ともに、同じ減衰傾向となった。すなわち、塩水楔の減衰は、止水壁設置直後は速やかに進み、その後、ゆっくりとなる指数関数的な減衰過程を示した。内陸部から塩水側へ流出する淡水流量は、概ね一定であり、塩水楔の減衰とともに、淡水通水断面が大きくなり、塩水楔上部の淡水流速は小さくなる。よって、輸送速度が小さくなり、流速依存型分散による塩分の希釈効果が小さくなり、残留塩分の排除が次第に遅くなるためと考える。図 2 の点線は、縦分散長 0.07 cm 、横分散長 0.0025 cm （図 1 の実験装置でパルス注入実験結果を逆推定して求めた値）を与えた塩水侵入数値解析モデル SEAWAT^{2), 3)} による結果であり、実験と数値解析は概ね良く一致している。

図 3 に、4ヶ所の涵養位置において、涵養に伴い減衰した塩水楔面積 A_{end} を初期定常塩水楔面積 A_0 ($=146\text{ cm}^2$) に対する減衰率 $(A_0 - A_{end}) / A_0$ で示す。塩水楔先端位置 (23.5 cm) 直上部 (Case 2) での涵養が、塩水槽近傍 (Case 1) や内陸部 (Case 4) に比べて、塩水楔を最も塩水槽側に後退させることがわかった。また、Expt. 2 の涵養による塩水楔断面積の減衰は、最大で 42% (Case 2) であり、Expt. 1 に比べると、塩水侵入抑制効果は小さい結果となった。

4. おわりに

本研究では、1) 地下淡水域の侵入塩水に対して止水壁を設置した場合、内陸部から海（塩水槽）側への淡水流れがある条件下では、塩水が塩水槽側に効果的に排除されるが、その排除過程は、初期に速やかに排除され、次第に時間を要すること、及び 2) 地表面からの涵養による塩水侵入制御では、塩水楔先端位置直上部での涵養が、塩水楔を塩水槽側に最も後退させるが、止水壁に比べると、塩水侵入制御効果は小さいことを明らかにした。

参考文献 1) Abdoulhalik, A., Ahmed, A., and Hamill G.A. (2017): A new physical barrier system for seawater intrusion control, J. of Hydrology (in Press) 2) Luyun, R., Momii, K., and Nakagawa, K. (2011): Effects of recharge wells and flow barriers on seawater intrusion. Ground Water, 49, 239-249. 3) 高橋, 靱井(2016): 塩水の侵入・排除過程に及ぼす分散長の影響. 日本地下水学会誌, 58, 9-30.

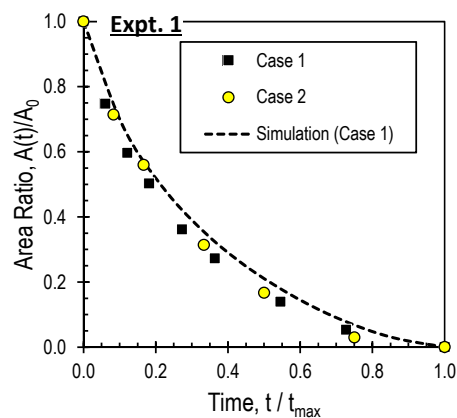


図 2 止水壁設置後の楔減衰過程
Saltwater wedge reduction processes after cutoff wall installation (Expt. 1)

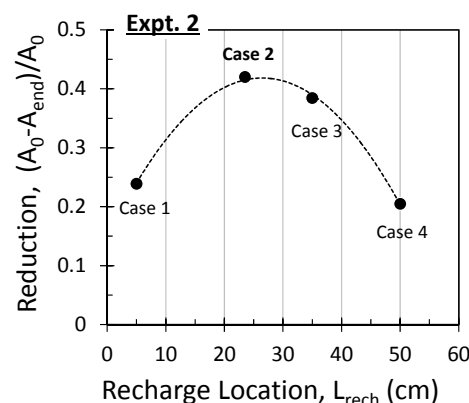


図 3 涵養に伴う塩水楔減衰率
Saltwater wedge reduction ratio due to recharge (Expt. 2)