

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580362

研究課題名(和文) 帯水層の塩水化を抑止する地下水揚水手法の開発

研究課題名(英文) A technique of pumping simultaneously from two depths to prevent saltwater upconing in aquifer

研究代表者

石田 聡 (ISHIDA, Satoshi)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所資源循環工学研究領域・上席研究員

研究者番号：30414444

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：良好な水質の地下水と、水質が良くない地下水が混在している箇所における揚水手法として、1本の井戸内に仕切り(ここでは空気パッカーによる止水装置)を設け、仕切りによって隔てられた複数の深度にポンプを設置することによって、それぞれのポンプから独立に地下水を揚水する技術(二重揚水技術)を開発した。試作機による試験では、それぞれの深度から揚水された地下水の水質の違いが保たれ、両者の混合は起こらなかった。本技術により、沿岸地域や津波の被災地域等、帯水層の一部が使用できない地域においても、良好な水質の地下水が利用可能になることが期待される。

研究成果の概要(英文)：We developed a technique of pumping simultaneously from two depths to prevent saltwater upconing in aquifer. The pumping system needs only one well, and consists of an air packer which prevents groundwater flow in well and two pumps located above and below the packer. In the field test by a trial system, the difference in the water quality of the groundwater pumped up from the respective depth was kept, and both of them didn't mix. This result shows that this technique is effective in use of fresh groundwater in the area for which a part of the aquifer can't be used, such as coastal area and the area hit by a tidal wave.

研究分野：地下水学

キーワード：地下水 二重揚水 水質保全 淡水レンズ アップコーニング マーシャル諸島

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化による海面上昇によって深刻な影響を受けるとされる島嶼域の地下水は、帯水層の中で密度差によって淡水が塩水(海水)の上に浮く淡水レンズの形で存在していることがある。このような地域で淡水地下水の揚水を行うと、局所的な圧力減少によって塩水が淡水域に浸入することで帯水層の塩水化が発生し、水資源の効率的な利用の妨げとなっている。沖縄県および鹿児島県の離島では、水資源の安定供給のため地下ダムが建設されているが、今後は淡水レンズも水源として開発・保全することとされており、将来の水資源利用可能量に対する関心は高い。

淡水レンズ地下水資源の有効利用策としては、集水井を用いて地下水面付近から取水を行う方法が一定の効果を挙げているが(岸ら 1998)、海面上昇等による地下水位の変化等には対応していない。このような状況下、淡水レンズ地下水の効率的な利用手法を開発することは、将来の水資源施策の策定に大きく資するものである。

2. 研究の目的

本研究では、淡水域と塩水域の両方から揚水して圧力バランスを保つことで帯水層の塩水化を抑止する手法を開発し、淡水レンズ地下水の持続的かつ効率的利用を図るとともに、将来の海面上昇に対する適応策の一つとなることを目的とする。

このような深度別揚水手法は古くからあり、水質の良好な層に1本の井戸を、水質が良くない層にもう1本の井戸を設置するものである(Zack and Candelario, 1983 など)。この手法は水質の境界深度(沿岸域では塩淡境界深度)が一定であるという前提に立っている。しかし実際には沿岸域の地下水位や塩淡境界深度は潮位によって変化する。石灰岩起源の小島嶼は透水性が良好であり、島の規模が小さく海岸からの距離が短いとこの傾向は特に顕著となる。このような場合、揚水に2本の井戸を用いる方式では、ストレーナ深度は固定されているため、塩淡境界の移動に合わせて取水深度を変化させることは難しい。

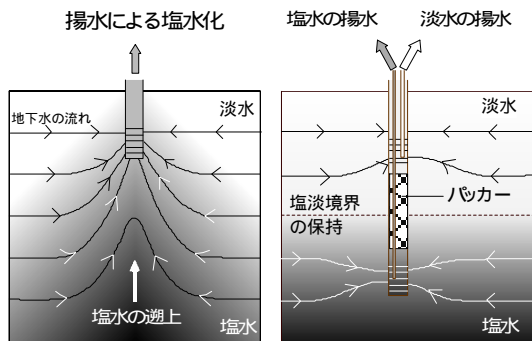


図1 アップコーニングのイメージ(左)と、本研究で開発する手法(右)

この問題に対処するため、本研究では1本

のオールストレーナ井戸の塩淡境界深度に止水性の仕切り(エアパッカーを想定)を設け、その上下からそれぞれ地下水を揚水する方法(単井式)を開発する(図1)。

3. 研究の方法

(1) 揚水装置の製作

開発する揚水装置に求められる条件は次のとおりである。

- 特定の深度のみから揚水することが可能なこと
- 塩淡境界の移動に合わせて取水深度を変えられること
- 揚水中の地下水圧を測定できること
- 揚水量を調整できること

これらの条件を勘案して作成した揚水装置の模式図を図2に示す。

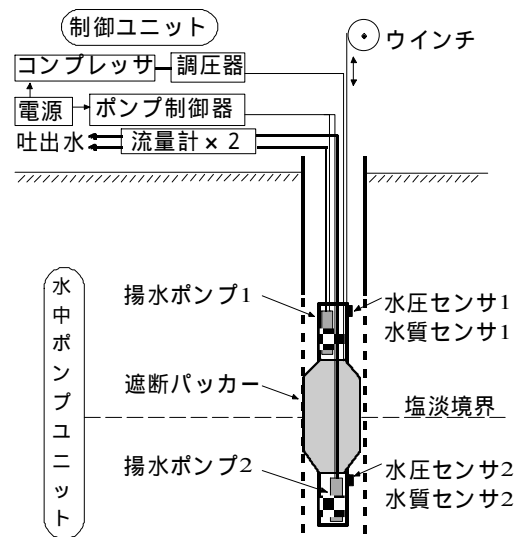


図2 揚水装置模式図

対応する井戸の口径は100mmとし、パッカー長は1mである。パッカー上下にそれぞれ水中モーターポンプ(φ37mm:揚程20m時の最大揚水量2.7L/min)、水圧センサ、温度・電気伝導度センサを配している。揚水量はポンプに接続された揚水チューブ末端に接続した電磁流量計によって測定し、揚水強度は可変インバータによって水中モーターポンプの電源電圧を変化させることによって制御している。

(2) 揚水試験

試作した揚水装置により深度別揚水が実際に行えるかを確認するため揚水試験を行った。揚水に用いた井戸は農村工学研究所敷地内にあるオールストレーナ井戸で、保孔管の材質は硬質塩化ビニル管(VP-100)である。地質は上位より表土(層厚0.9m)、ローム(層厚2.6m)、凝灰質シルト層(層厚2.0m)、第四紀更新世の砂質土である。試験時の観測孔内の地下水位は概ねGL-8.4mであった。

パッカー設置深度はパッカー中心をGL-10.4m(地下水面下2m)とした。試験地

周辺にはより浅い地下水面（宙水）が存在しており、パッカーの設置によりパッカー上段の地下水位は約 1.8m 上昇した。この状態でパッカー上部および下部より、2L/min の強度で 15 分間揚水を行い、その後 1L/min の強度で 45 分間揚水を行った。揚水強度を途中で変更したのは上段の地下水位低下によって揚水量の維持が難しくなったためである。



図 3 製作した揚水装置(左)と、井戸に挿入する様子(右)

4. 研究成果

図 4 に揚水中のパッカー上下の水位を示す。パッカー上段の水位は揚水により急激に低下しているが、パッカー下段の水位は一定であり、上段・下段とも独立に揚水が行われていると考えられる。

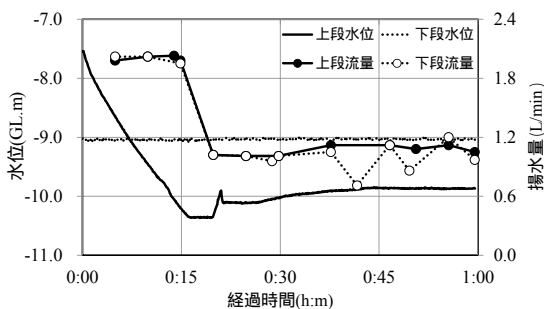


図 4 揚水量とパッカー上下の水位

図 5 に揚水した地下水の電気伝導度（EC）を示す。

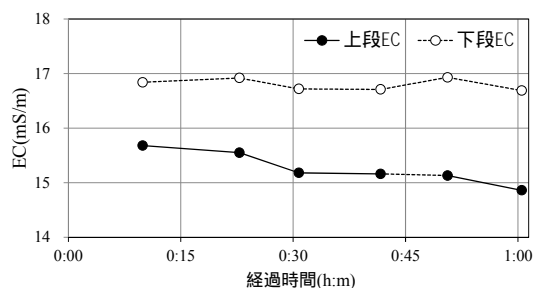


図 5 揚水中のパッカー上下の電気伝導度

パッカー上段の地下水は浅い地下水面の水であり EC が若干低い、揚水中も上段と下段の EC が一定の差を保ち続けた。また、図には示していないが、pH、DO、ORP についても測定を行っており、いずれもパッカーの上下で値に違いがあり、その差は EC 同様に揚水中もほぼ変わらなかった。さらに、パッカー上段のみ、パッカー下段のみで揚水を行った場合においても、揚水を行っていない側の水位に変化はなかった。

これらの結果は、作成した装置により 2 深度の地下水を別々に揚水することができることを示しており、塩淡境界を持つ帯水層に設置された井戸において、パッカーを塩淡境界深度に合わせれば、アップコーニングを抑止する揚水が可能であると考えられる。本装置の留意点としては、孔壁と保孔管の間を上下方向に地下水が流動する井戸では止水効果が十分でなくなるので、予めパッカー片側の揚水に対して、反対側の水位が反応するかを確認しておく。また、井戸を新設する場合は一定間隔で保孔管外部に止水措置を施すことが望ましい。

<引用文献>

岸 智、浜谷 直史、長田 実也、原 郁男、楠本 岳司、沖縄県津堅島における集水井を利用した淡水レンズからの地下水開発、応用地質、39 巻(3)、1998、298 - 305

Zack, A. and Candelario, R. M.: A Hydraulic Technique For Designing Scavenger-Production Well Couples To Withdraw Freshwater From Aquifers Containing Saline Water: Final Technical Report To U.S. Department Of The Interior Washington, D.C. 20240, 1983, 1-50

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 8 件)

石田 聡、白旗克志、土原健雄、吉本周平、帯水層の塩水化を抑制することができる単孔式二重揚水技術、平成 26 年度農村工学研究所成果情報、査読有、2015、印刷中

石田 聡、白旗克志、土原健雄、吉本周平、帯水層の塩水化を抑止する深度別揚水手法、地盤工学会誌、査読有、62(11/12)、2014、36-37

幸田和久、小林 勤、石田 聡、吉本周平、マーシャル諸島共和国マジロ環礁ローラ等における淡水レンズに関する数値シミュレーション、地盤工学会誌、査読有、62(11/12)、2014、30-33

石田 聡、吉本周平、小林 勤、幸田和久、中里裕臣、小島嶼での淡水レンズ地下水調

査における物理探査の適用性について、地盤工学会誌、査読有、61(6)、2013、32-35

幸田和久、小林 勤、石田 聡、吉本周平、ローラ島における淡水レンズ帯水層の水理パラメータ推定、農業農村工学会誌、査読有、81(7)、2013、33-37

石田 聡、吉本周平、白旗克志、今泉眞之、淡水レンズ地下水厚の経時変化を把握する深度別電気伝導度測定法、平成 24 年度農村工学研究所成果情報、査読有、2013、7-8

Kazuhisa KODA, Yuzo MANPUKU, Tsutomu KOBAYASHI, Satoshi ISHIDA, Shuhei YOSHIMOTO, Masaaki OKUBO, A Study of the Sealing Effect in the Observation Well of the Freshwater Lens at Laura Island, Republic of the Marshall Islands, JARQ, 査読有, 47(3), 257-272
<http://dx.doi.org/10.6090/jarq.47.257>

石田 聡、吉本周平、白旗克志、今泉眞之、土原健雄、深度別電気伝導度連続測定による淡水レンズ動態把握手法、農村工学研究所技報、査読有、214、2013、163-174

〔学会発表〕(計8件)

幸田和久、小林 勤、石田 聡、吉本周平、マーシャル諸島共和国マジュロ環礁ローラ島の淡水レンズの状況、平成 26 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、新潟コンベンションセンター 朱鷺メッセ(新潟県・新潟市) 2014、618-619

Satoshi Ishida, Shuhei Yoshimoto, Tsutomu Kobayashi, Kazuhisa Koda, Mapping of Freshwater Lens using Geophysical Exploration on Laura, Majuro Atoll, Republic of the Marshall Islands, Abstract book of 40 Congress of International Association of Hydrogeologists, Perth(Australia), 2013, pp.68

石田 聡、白旗克志、土原健雄、吉本周平、今泉眞之、沖縄県多良間島における淡水レンズ地下水厚の変動について、平成 25 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、東京農業大学(東京都・世田谷区) 2013、536-537

高橋昌弘、石田 聡、多良間島における淡水レンズ検討、日本地下水学会 2013 年秋季講演会講演要旨、秋田県民会館ジョイナス(秋田県・秋田市) 2013、20-23

Kazuhisa KODA, Tsutomu KOBAYASHI, Satoshi ISHIDA, Shuhei YOSHIMOTO, Yoshikazu KONDO, Yoshinobu KAWAMITSU, Masami UENO, Drought impact on freshwater lens and the countermeasures for

sustainable irrigation, Proceedings of 1st World Irrigation Forum, Mardin(Turkey), 2013

吉本周平、石田 聡、幸田和久、小林 勤、礁島淡水レンズにおける水質分布と地下水流動機構の関係性の検討 マーシャル諸島共和国マジュロ環礁ローラ島を対象として、日本地下水学会 2013 年春季講演会講演要旨、千葉大学(千葉県・松戸市) 2013、134-137

Shuhei Yoshimoto, Satoshi Ishida, Kazuhisa Koda, Tsutomu Kobayashi, Chemical composition of groundwater in the Laura freshwater lens, Majuro Atoll, Republic of the Marshall Islands, Abstract book of 40 Congress of International Association of Hydrogeologists, Perth(Australia), 2013, pp.108

幸田和久、万福裕造、小林 勤、石田 聡、吉本周平、マーシャル国ローラ島の淡水レンズにおける観測孔の塩水浸入調査、平成 24 年度農業農村工学会大会講演会、北海道大学(北海道・札幌市) 2012、626-627

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称：地下水揚水システムおよびそのシステムを用いた揚水方法

発明者：石田 聡、白旗克志、土原健雄、吉本周平

権利者：独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構

種類：特許

番号：特願 2014-212060

出願年月日：平成 26 年 10 月 16 日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/pres/s/laboratory/nkk/056963.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石田 聡 (ISHIDA, Satoshi)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・資源循環工学研究領域・上席研究員

研究者番号：30414444

(2) 連携研究者

白旗 克志 (SHIRAHATA, Katsushi)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・資源循環工学研究領域・主任研究員

研究者番号：10648281