

帯水層蓄熱システム適用による井戸周りの地下水位変動量と地盤沈下量の予測

大阪市立大学大学院
同上
大阪市立大学複合先端研究機構

○学 天満脩平（現 日本工営）
学 一谷浩史 正 大島昭彦
中曾康壽 中尾正喜

1. まえがき

筆者らは、オープンループ型の帯水層蓄熱利用システム（ATES）による季節間の地下水熱源利用の実現研究を行っている。これまでに、大阪市北区うめきた2期地区で単一带水層（第2洪積砂礫 Dg2 層）を対象とした S-ATES、大阪市此花区舞洲で複数帯水層（Dg2 層と第3洪積砂礫 Dg3 層）を対象とした W-ATES の実証実験を行い、それぞれの場合に想定される地下水位変動による繰返し荷重を洪積粘土層に与えた繰返し圧密試験を行い^{1),2)}、その繰返し圧密挙動から沈下量の予測を行った³⁾。さらに、最も浅層の被圧帯水層である第1洪積砂礫 Dg1 層を対象とした S-ATES を想定して沖積、洪積粘土層の繰返し圧密挙動から沈下量を予測した⁴⁾。

本稿では、Dg1 層を用いる S-ATES（舞洲、うめきた、尼崎市築地、大阪市弁天町、神戸市和田岬）及び Dg2、Dg3 層を用いる W-ATES（舞洲、うめきた）において、対象地点の帯水層の実際の値を設定して井戸周りの地下水位変動量とそれに伴う地盤沈下量を予測した結果を報告する。なお、繰返し圧密挙動は文献 2)～4) を参照されたい。

2. 井戸回りの地下水位変動量と沈下量の算定方法

揚水地下水を同一带水層に全量還水することを前提に、被圧帯水層における群井の井戸理論式⁵⁾を応用すると、井戸回りの地下水位変動量は次式で求めることができる。

$$s = \frac{Q_w}{2\pi k D} \left\{ \ln \frac{r_r}{r_p} \right\}$$

(1)

ここに、 s ：地下水位低下量(m)、 Q_w ：揚水・還水流量(m^3/s)、 k ：透水係数(m/s)、 D ：帯水層の層厚(m)、 r_r ：還水井からの距離(m)、 r_p ：揚水井からの距離(m)である。 Q_w は実際にうめきた、舞洲で想定されている 100t/h ($=0.03\text{m}^3/\text{s}$)、井戸径 d は 0.6m 、井戸間距離は 100m とした。

表-1 に各地点の帯水層の性状を示す。層厚 D は粘土分が 10%未満の礫主体の部分として決めた。舞洲の Dg2、Dg3 層及びうめきたの Dg2 層の k は揚水試験による実測値である。うめきたの Dg3 層は舞洲と同じと仮定した。一方、各地点の Dg1 層の k は未定であったが、各地点の Dg1 層の礫分含有率は Dg2 層と同等かそれ以上の 60～70%であることを確認できたので、舞洲及びうめきたの Dg2 層の k の平均値と仮定した。

3. Dg1 層の S-ATES 適用による地下水位低下量と沈下量の予測

図-1～5 にそれぞれ舞洲、うめきた、尼崎、弁天町、和田岬で Dg1 層に S-ATES を適用して井戸 A から揚水、井戸 B に還水する場合の井戸周りの地下水位変動量及び地盤沈下量を示す。地下水位変動量は 1m 間隔で式(1)によって求めた。地盤沈下量は井戸 A、B の中心から 100m までは 5m 間隔、それ以降は 50m 間隔で地下水位変動量に対する繰返し圧密試験による繰返し回数 $N=100$ 回（100 年相当）の沈下量²⁾⁻⁴⁾から求めた。

図-1 の舞洲では、井戸近傍で水位低下量 $\pm 1.7\text{m}$ 、地盤沈下量 $2.8\sim 2.0\text{cm}$ となった。井戸 B の沈下量が小さいのは還水による膨張による（以下、同様）。図-2 のうめきたでは、井戸近傍で水位低下量 $\pm 3.2\text{m}$ 、地盤沈下量 $4.8\sim 4.1\text{cm}$ となっ

表-1 各地点の帯水層の性状

対象地点	帯水層	井戸径 d (m)	揚水・還水量 Q_w (t/h)	帯水層 層厚 D (m)	透水係数 k (m/s)	
舞洲	Dg1	0.6	100 (=0.03 m³/s)	4.4	3.40×10^{-3}	
	Dg2			8.7	3.14×10^{-3}	
	Dg3			15.0	4.90×10^{-3}	
うめきた	Dg1			2.4	3.40×10^{-3}	
	Dg2			10.0	3.67×10^{-3}	
	Dg3			18.5	4.90×10^{-3}	
尼崎	Dg1				3.6	3.40×10^{-3}
弁天町					2.9	
和田岬					2.0	

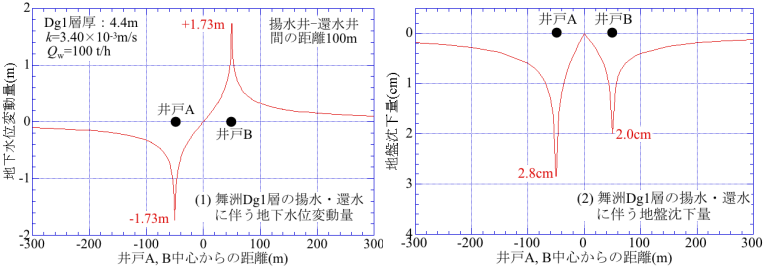


図-1 舞洲 Dg1 の井戸周りの地下水位変動量と地盤沈下量

Key Words：帯水層，地下水位低下，沖積粘土，洪積粘土，繰返し圧密，沈下量
〒558-5855 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 TEL 06-6605-2996 FAX 06-6605-2726

た。図-3 の尼崎では、井戸近傍で水位低下量 ± 2.1 m, 地盤沈下量 4.1~3.2cm となった。図-4 の弁天町では、井戸近傍で水位低下量 ± 2.6 m, 地盤沈下量 6.1~5.1cm となった。図-5 の和田岬では、井戸近傍で水位低下量 ± 3.8 m, 地盤沈下量 2.8~2.5cm となった。また、各地点とも井戸 A, B の中心から 300m 離れると沈下量は 0.2~0.3cm 程度とごく小さいことがわかる。

地盤沈下量は、舞洲、和田岬で小さく、うめきた、尼崎、弁天町でやや大きいといえる。これは舞洲、和田岬の沖積粘土 Ma13 層が他の地点よりも過圧密性が高いためである。

以上の結果から、Dg1 層への S-ATES の適用は、うめきた、尼崎、弁天町では難しいが、舞洲、和田岬では十分可能と考えられる。その条件は Ma13 層の過圧密性が高いこと、帯水層の層厚が大きく、透水性が高いことが必要と考えられる。

4. Dg2, Dg3 層の W-ATES 適用による地下水位低下と沈下量の予測

図-6, 7 にそれぞれ舞洲、うめきたで Dg2, Dg3 層に W-ATES を適用する (Dg2 層は井戸 A から揚水し、井戸 B に還水する、Dg3 層は井戸 B から揚水し、井戸 A に還水する) 場合の井戸周りの地下水位変動量及び地盤沈下量を示す。

図-6 の舞洲では、井戸近傍で Dg2 層では ± 0.9 m, Dg3 層では ± 0.4 m 程度の地下水位変動が生じ、それに伴う地盤沈下量は 1.3cm 程度と予想される。なお、Dg3 層の地下水位変動量が少ないのは層厚が厚いためである。図-7 のうめきたでは、井戸近傍で Dg2 層では ± 0.7 m, Dg3 層では ± 0.3 m 程度の地下水位変動が生じ、それに伴う地盤沈下量は 0.5cm 程度と予想される。

以上から、両地点ともに沈下量はごく小さいものであり、Dg2, Dg3 層に対する W-ATES の適用は十分に可能であると考えられる。

ただし、今回の地盤沈下量の算定は一次元の繰返し圧密に基づくものであり、実際の地盤変位は三次元で生じるため、実際の沈下量はさらに抑制されると考えられる。

参考文献

- 1) 末吉・他：うめきた粘土層の地下水位変動による繰返し圧密挙動と沈下量予測, Kansai Geo-Symposium 2017, pp.108-113, 2017.
- 2) 武野・他：大阪市舞洲の被圧帯水層の地下水位変動による洪積粘土層の繰返し圧密挙動と沈下予測, Kansai Geo-Symposium 2019, pp.7-12, 2019.
- 3) 天満・他：複数帯水層を活用する帯水層蓄熱システムによる地盤沈下の検討, 第 55 回地盤工学研究発表会(投稿中), 2020.
- 4) 一谷・他：帯水層蓄熱システムの Dg1 層への適用の検討, 第 55 回地盤工学研究発表会(投稿中), 2020.
- 5) 地盤工学会：根切り工事と地下水—調査・設計から施工まで— 3.3 群井による地下水位低下解析, p126~133.1991

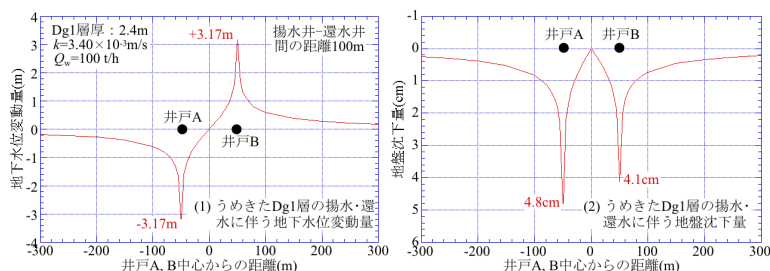


図-2 うめきた Dg1 の井戸周りの地下水位変動量と地盤沈下量

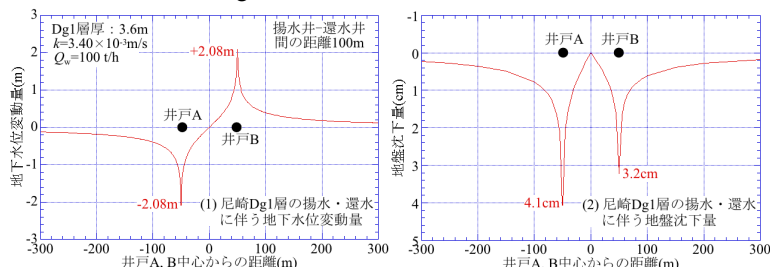


図-3 尼崎 Dg1 の井戸周りの地下水位変動量と地盤沈下量

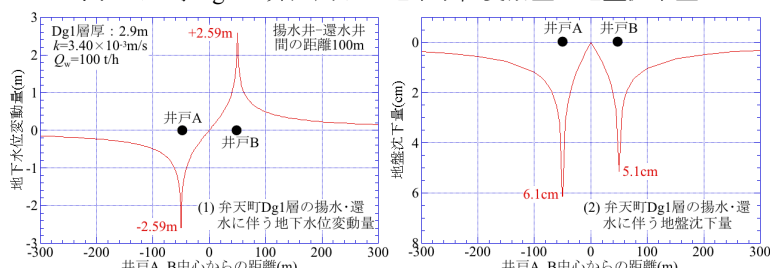


図-4 弁天町 Dg1 の井戸周りの地下水位変動量と地盤沈下量

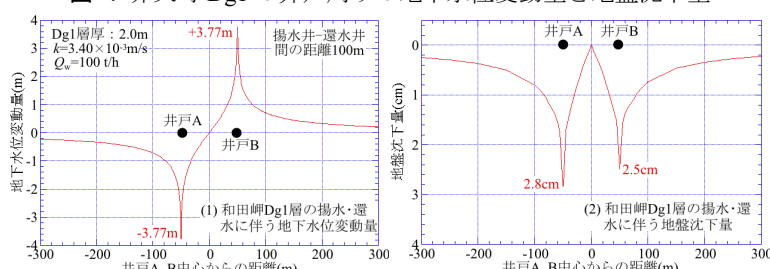


図-5 和田岬 Dg1 の井戸周りの地下水位変動量と地盤沈下量

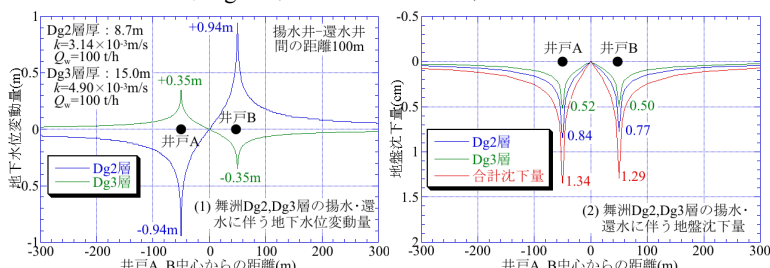


図-6 舞洲 Dg2, Dg3 層の井戸周りの地下水位変動量と地盤沈下量

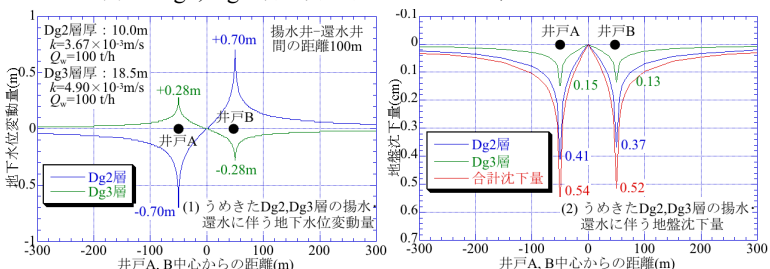


図-7 うめきた Dg2, Dg3 層の井戸周りの地下水位変動量と地盤沈下量