

Dg1 層の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 ○学 坂口雄人 正 大島昭彦 学 一谷浩史
 大阪市立大学複合先端研究機構 中曾康壽 中尾正喜

1. まえがき

帯水層蓄熱利用システム (ATES) では、帯水層に対して 2 本 1 組の井戸 (熱源井) を設置し、夏季に井戸 A から地下水を揚水して冷房に用い、温排熱を地下水に与えて井戸 B に還水する (温蓄熱)、冬季は蓄熱した井戸 B の地下水を揚水して暖房に用い、冷排熱を地下水に与えて井戸 A に還水する (冷蓄熱)、これを繰り返すことで、大幅な CO₂ 削減、省エネルギー及びヒートアイランド対策となる。この考えの下、帯水層を低価格・大容量の蓄熱槽として活用するための熱源井構築の実証実験を大阪市うめきた、舞洲で行っている¹⁾²⁾。ただし、揚水・還水によって帯水層の地下水位が変動するため、地盤沈下リスクの回避が必要条件となる。これまでは地盤沈下のリスクが比較的低い第 2 洪積砂礫 Dg2 層 (深度 45~65m) や第 3 洪積砂礫 Dg3 層 (深度 75~100m) を揚水・還水対象の帯水層としてきたが、深い帯水層では井戸設置費用が高額となる。

本稿では、前報³⁾に引き続き、東大阪市西岩田⁴⁾、大阪市此花区桜島⁵⁾、大阪市大正区三軒家⁶⁾の 3 地点の最も浅層の被圧帯水層である第 1 洪積砂礫 Dg1 層 (深度 25~40m) を対象とし、複数の透水係数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⁷⁾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

揚水地下水を同一帯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⁸⁾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。

$$s = \frac{Q_w}{2\pi k D} \left\{ \ln \frac{r_r}{r_p} \right\} \quad (1)$$

ここに、 s : 地下水位低下量 (m), Q_w : 揚水・還水流量 (m³/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 ATES で想定されている 100t/h (=0.03m³/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。Dg1 層の透水係数 k は実測値がないので、3 つの値を設定した。上段は前報³⁾と同様にうめきた、舞洲の Dg2 層の揚水試験による実測値の平均値 (最大値相当)。中段は繰返し圧密挙動を調べた際⁷⁾の地下水位低下量 10m となる時の値を仮定した (最小値相当)。下段は参考値として Creager による粒度からの推定値 (実測値) からの推定値。ただし、Creager の推定値は最小値相当の k を下回ったので、以下では対象外とした。

3. Dg1 層の ATES 適用による地下水位変動量と沈下量の予測

図-1, 2 に西岩田, 図-3, 4 に桜島, 図-5, 6 に三軒家の Dg1 層に 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と地盤沈下量を示す。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) の沈下量から求めた⁷⁾。

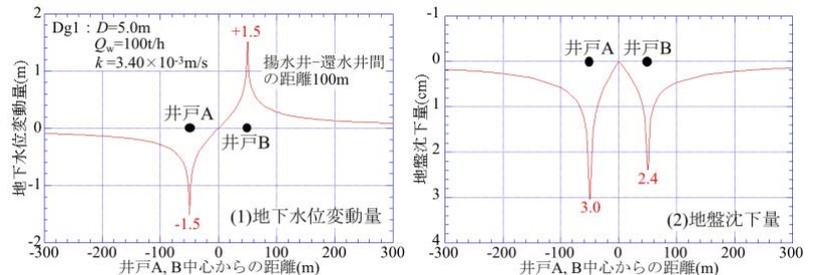


図-1 西岩田 Dg1 層 ($k=3.40 \times 10^{-3}$ m/s) の地下水位変動量と地盤沈下量

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

〒558-8585 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

図-1 の西岩田 $k=3.40 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (最大値相当) では、井戸近傍で水位低下量 $\pm 1.5 \text{ m}$ 、地盤沈下量 $2.4 \sim 3.0 \text{ cm}$ となった。井戸 B の沈下量が小さいのは還水による膨張のためである (以下、同様)。図-2 の西岩田 $k=5.14 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ (最小値相当) では、井戸近傍での水位低下量 $\pm 10.0 \text{ m}$ に対して、地盤沈下量は $20.5 \sim 29.3 \text{ cm}$ となった。西岩田では帯水層の層厚 D が大きいので、水位低下量と地盤沈下量は他地点よりも小さくなった。

図-3 の桜島 $k=3.40 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (最大値相当) では、井戸近傍で水位低下量 $\pm 2.2 \text{ m}$ 、地盤沈下量 $5.1 \sim 5.5 \text{ cm}$ となった。水位低下量は比較的小さいが、Ma13 層の過圧密性が低い⁷⁾ため、地盤沈下量が大きくなった。図-4 の桜島 $k=7.50 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ (最小値相当) では、井戸近傍での水位低下量 $\pm 10.0 \text{ m}$ に対して、地盤沈下量は $23.6 \sim 26.9 \text{ cm}$ となった。

図-5 の三軒家の $k=3.40 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (最大値相当) では、井戸近傍で水位低下量 $\pm 3.8 \text{ m}$ 、地盤沈下量 $7.6 \sim 8.9 \text{ cm}$ となった。図-6 の三軒家 $k=1.28 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (最小値相当) では、井戸近傍での水位低下量 $\pm 10.0 \text{ m}$ に対して、地盤沈下量は $29.9 \sim 35.0 \text{ cm}$ となった。帯水層の層厚 D が小さいので、両図での透水係数 k の変化が小さいことがわかる。

以上の結果から、地下水位変動量と地盤沈下量は西岩田で小さく、桜島、三軒家でやや大きいといえる。これは帯水層の層厚に依存している。Dg1 層への ATES の適用は、桜島、三軒家では難しいが、西岩田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。今後、Dg1 層の正確な透水係数の測定が必要である。

ただし、今回の地盤沈下量の算定は井戸近傍での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) 河合・他：大阪市域における地盤環境に配慮した地下水の有効利用に関する検討，第 52 回地盤工学研究発表会，No.1066，2017。
- 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) 一谷・他：帯水層蓄熱システムの第 1 洪積砂礫 Dg1 層への適用検討，第 55 回地盤工学研究発表会，No.21-10-2-06，2020。
- 4) 段・他：東大阪市西岩田地区での地盤調査(その 1：調査概要とボーリング結果)，第 55 回地盤工学研究発表会，No.21-6-1-01，2020。
- 5) 武野・他：大阪市此花区桜島における地盤調査(その 1：ボーリング，サウンディング結果)，土木学会第 75 回年次学術講演会，III-465，2020。
- 6) 坂口・他：大阪市大正区三軒家での地盤調査一斉試験(その 1：調査概要とボーリング結果)，第 56 回地盤工学研究発表会(投稿中)，2021。
- 7) 坂口・他：帯水層蓄熱システムの第 1 洪積砂礫 Dg1 層への適用検討(第 2 報)，第 56 回地盤工学研究発表会(投稿中)，2021。
- 8) 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，pp.126-133，1991。

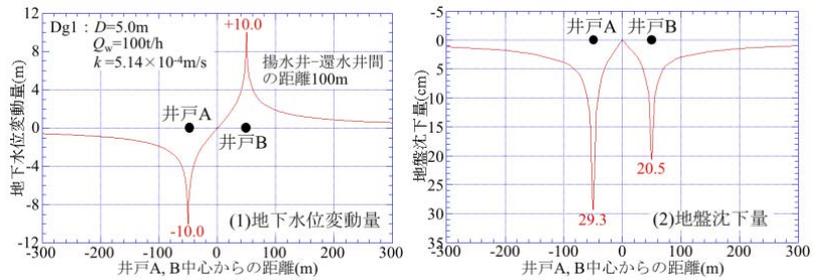


図-2 西岩田 Dg1 層 ($k=5.14 \times 10^{-4} \text{ m/s}$) の地下水位変動量と地盤沈下量

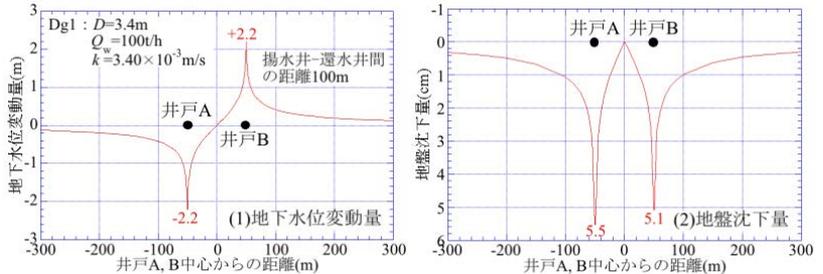


図-3 桜島 Dg1 層 ($k=3.40 \times 10^{-3} \text{ m/s}$) の地下水位変動量と地盤沈下量

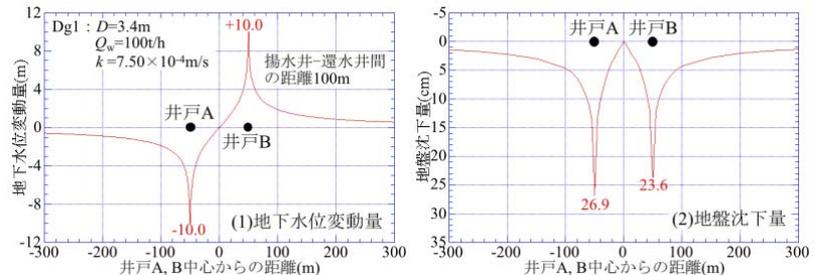


図-4 桜島 Dg1 層 ($k=7.50 \times 10^{-4} \text{ m/s}$) の地下水位変動量と地盤沈下量

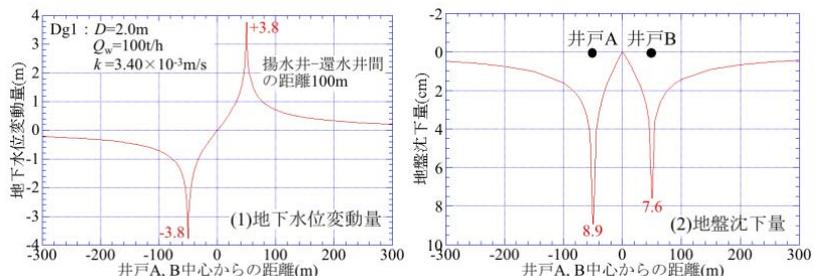


図-5 三軒家 Dg1 層 ($k=3.40 \times 10^{-3} \text{ m/s}$) の地下水位変動量と地盤沈下量

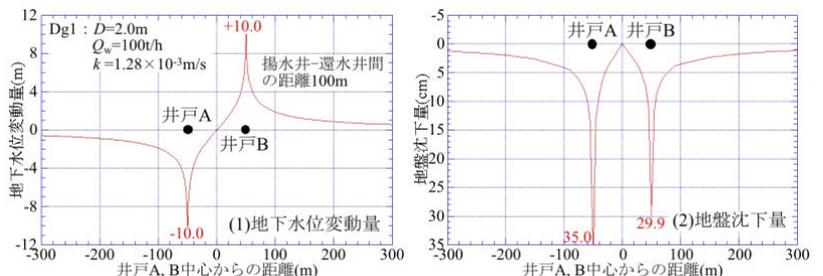


図-6 三軒家 Dg1 層 ($k=1.28 \times 10^{-3} \text{ m/s}$) の地下水位変動量と地盤沈下量