

揚水井戸と還元井戸の透水性について

川崎地質(株) ○大泉 涼, 吉田 透, 日下田 亮

1. はじめに

近年、地中熱利用システムが注目されている中、本業務では工場内の冷却システムの一環として、地下水の熱利用が提案された。そこで本稿では、事例の少ない揚水井戸と還元井戸の関係性について着目し、実際の井戸施工から揚水試験、還元試験の結果について報告する。

2. 揚水井戸・還元井戸の概要

井戸施工にあたっては、揚水井戸単体の揚水量と、揚水井戸から還元井戸へ循環させた際の還元量を把握することとした。そこで、調査結果を基に各井戸の透水係数を決定した。なお、施工した井戸の地質は沖積世の砂～砂礫を主体としており、地下水は自由地下水である。

(1) 井戸施工

井戸施工にあたり、φ300 mmの井戸管を設置するため、機械ボーリングによる掘削を行った。掘削では、孔曲がり回避するため、φ300 mmのビットで掘削した後、φ500 mmのビットで拡孔させる2段階方式を採用した。

掘削後、ケーシングの建込み作業を行い、井戸仕上げとして、砂利充填、井戸洗浄を行った¹⁾。揚水井戸と還元井戸の位置関係を図-1に示す。

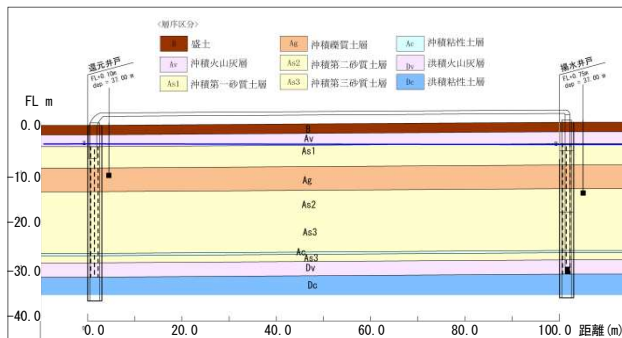


図-1 井戸完成配置図

3. 揚水試験の方法と結果

揚水試験は、井戸の性能と帯水層の透水特性を求める目的で、予備揚水試験、段階揚水試験、連続揚水試験、水位回復試験を行った。また、その際には揚水井戸単体時【単体型】と揚水井戸と還元井戸の循環時【循環型】の2パターンに分けて試験を実施した。試験時の揚水量を図る際には、三角せきのノッチ箱を用いた。

(1) 予備揚水試験

予備揚水試験は、ポンプの最大揚水量を確認するために実施した。結果、3000ℓ/min以上を確認した。

(2) 段階揚水試験

段階揚水試験は、連続揚水試験時の適正揚水量を推定するために実施した。結果は、以下のとおりである。

【単体型】

揚水量は8段階で実施した。水位降下量と揚水量の関係図（図-2）から、200～250ℓ/min間に限界揚水量が存在すると考えられ、図-3の水位変曲点から揚水井戸単体の限界揚水量は210ℓ/minと設定した。

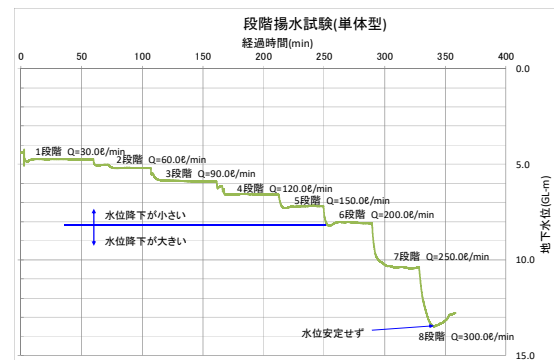


図-2 【単体型】段階揚水試験水位変化グラフ

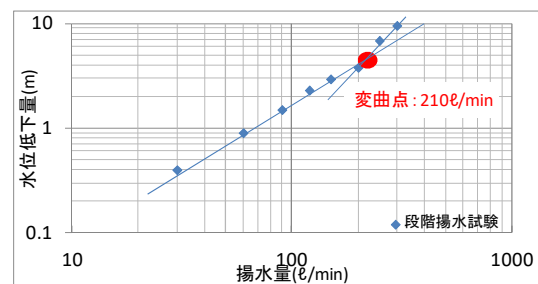


図-3 【単体型】水位変曲点(限界揚水量)

【循環型】

500ℓ/minのピッチで6段階、最高3000ℓ/minの揚水量で汲み上げ、汲み上げた水を還元井戸に注入した。水位降下量と揚水量・還元量の関係図（図-4）からは、明瞭な変化点は見られなかった。しかし、2000ℓ/min付近より水位低下量が大きくなり、3000ℓ/min付近より水位降下量が不安定化したため、200～3000ℓ/min間に限界揚水量が存在すると考えた。安全面を考慮して、循環型の連続揚水試験時の揚水量は2000ℓ/minと設定した。なお、この時の還元井戸の結果は、揚水井戸の結果と類似の特徴を示す。

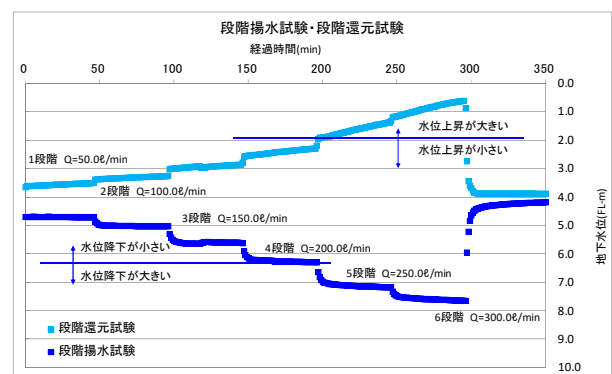


図-4 【循環型】段階試験水位変化グラフ(揚水・還元)

(3) 連続揚水試験

連続揚水試験の結果を、図-5 に示す。

揚水井戸に関して、【単体型】では、試験開始から 281～290 分間で水位が 10 cm 程度低下したが、以降は GL-7. 4m 付近で安定した。【単体型】に対して【循環型】は、水位降下量が小さく、GL-7. 0m 付近で水位が安定した。また、水位変化は一定であった。

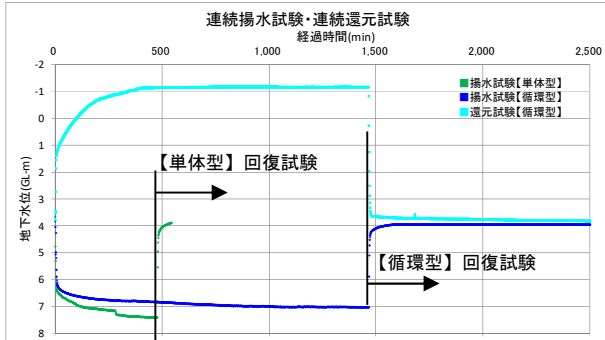


図-5 連続揚水試験水位変化グラフ

(4) 水位回復試験

連続揚水試験終了後の地下水位の回復については、【単体型】と【循環型】のどちらも 2 時間以内で GL-4m まで回復しており、地下水位の回復率は比較的良好い。

4. 揚水試験結果の整理

施工した揚水井戸、還元井戸を対象に、帯水層、透水量係数、透水係数の算出について、整理した。

(1) 帯水層

当該地における井戸構造は図-6 に示すとおりである。対象地域の井戸は、不圧帯水層からなる。この時の帯水層の層厚 (m) は地下水位 (揚水井戸: GL-4. 70m、還元井戸: GL-3. 90m) から粘性土層 (遮水層 GL-32. 00m) までの区間である。

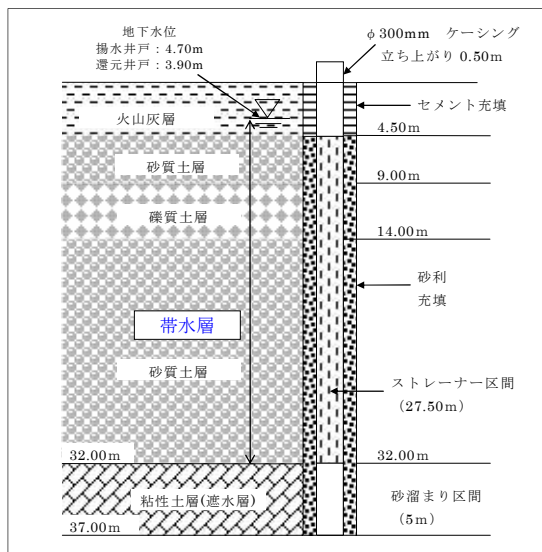


図-6 井戸構造概略図

(2) 透水量係数

透水量係数 (T) を算出するには、複数の算定方法があるが、本施工においては回復式 (式-1²⁾) を選定した。

$$T = 2.3Q / 4\pi a \cdot \dots \text{式-1}$$

Q: 揚水量 (m³/s)、a: log(t/t') の対数 1 サイクルに対応する s、t: 揚水開始後の時間 (s)、t': 揚水停止後の時間 (s)、s: 残留水位降下量 (m)

(3) 透水係数の算出

図-7 に連続揚水試験後の回復曲線図を示す。透水係数 (K) は、連続揚水試験結果の回復データを基に式-2³⁾ より求めた。

$$K = T / m \cdot \dots \text{式-2}$$

T: 透水量係数 (m/s)、m: 帯水層の厚さ (m)

なお、正確な地盤の透水係数を求めるため、s と log t/t' の関係 (ヤコブの仮定) から井戸ロスを補正した。上記の補正を行った試験結果を表-1 にまとめる。単体型は 2.3×10^{-5} m/sec、循環型は、揚水井戸で 4.0×10^{-5} m/sec、還元井戸で 3.5×10^{-5} m/sec の値となった。

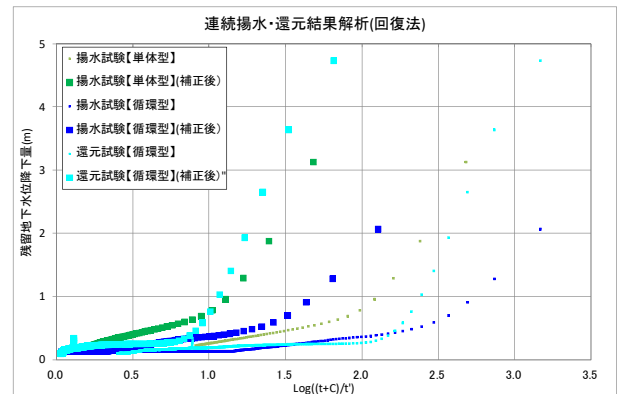


図-7 連続揚水時の回復曲線

表-1 回復試験より求まる透水係数算定結果

試験	揚水量 Q (ℓ/min)	残留 降下量 S (m)	帯水 層厚 m (m)	更正値 C	log (t+C/t')	透水量 係数 T (m ³ /s)	透水係数 K (m/s)
揚水井戸 【単体】	0.0030	0.960	27.4	-430	1.106	6.32×10^{-4}	2.31×10^{-5}
揚水井戸 【循環】	0.0033	0.912	27.3	-1340	1.633	1.09×10^{-3}	4.00×10^{-5}
還元井戸 【循環】	0.0033	0.933	28.1	-500	1.518	9.93×10^{-4}	3.53×10^{-5}

5. まとめ

今回の調査によって、揚水井戸と還元井戸の関連性について有益な事例が一つ増えた。特に循環型では単体型と比較して透水量係数と回復率は高いことが判明した。今後は、水循環した際の熱効率について経過観察を行い、揚水井戸と還元井戸の温度変化や水位の変動を把握する事が重要である。

＜引用・参考文献＞

- 1) 全国さく井協会：さく井工事指針，2013. 9
- 2) 地盤工学会：地盤調査法，2007. 5
- 3) 山本壮毅：新版地下水調査法，1983