

段階揚水試験時における揚水量と温度変化について

(株)日さく ○若槻 望美、堀 信雄、竹内 邦安
朝倉 良恵、小山 祥代

1. はじめに

温度検層は、ボーリング孔内における温度を深度方向に連続的に測定する検層方法である¹⁾。温度検層によって得られた鉛直水温プロファイルは、帯水層の位置検討等に利用される。一般に帯水層では、地下水流動量が多く、水温プロファイル上で特徴的な形状を示す。また、同一帯水層内であっても、水温プロファイルに変化が生じる事例も多い。これは地下水が帯水層中を一様に流動するのではなく、透水性が良い箇所を選択的に流動していることを示唆するものと考えられる²⁾。

本稿では、段階揚水試験時に、揚水井近傍に設置された観測井において温度検層を実施した結果、揚水に伴い地下水流動状況が変化したことを示唆する水温プロファイルが得られたので、以下に報告する。

2. 調査概要

(1) 段階揚水試験

水源開発のために新設した揚水井において、揚水能力を把握するため、段階揚水試験を実施した。

揚水井と観測井B-1(以後B-1)の諸元を表-1に示す。

表-1 揚水井とB-1の諸元

地点名	揚水井	B-1
井戸径(mm)	250	50
井戸深度(G.L.m)	20	20
スクリーン位置(G.L.m)	6.60~18.00	2.00~20.00
スクリーン長(m)	11.40 (有効長:10.00m)	18.0
揚水井からB-1の距離	約6.9m	

図-1に示す地質断面図の通り、帯水層は揚水井とB-1ともに玉石混り砂礫層を主体とする。

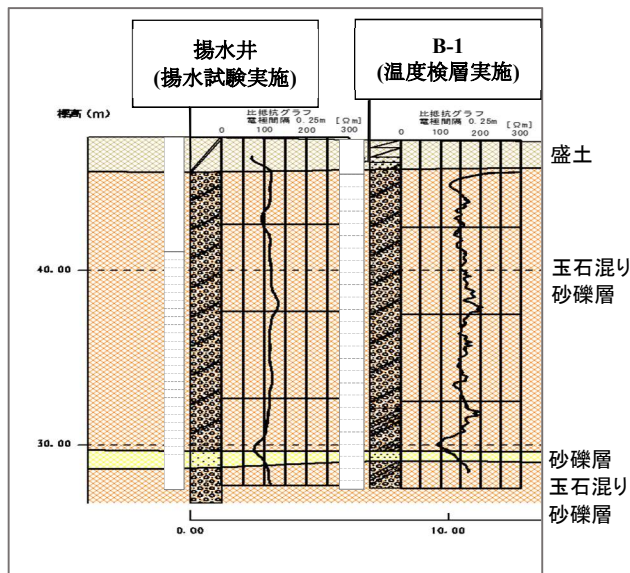


図-1 地質断面図

段階揚水試験の結果を表-2および図-2に示す。表-2に示すように揚水井の限界揚水量は段階4で揚水した1,204L/minと判断した。

表-2 揚水井の段階揚水試験結果

段階	揚水量	揚水時間	管頭(m)	限界揚水量
自然水位			1.90	
1	300L/min	60分	2.29	
2	605L/min	60分	2.71	
3	901L/min	60分	3.22	
4	1,204L/min	60分	3.85	1,204L/min
5	1,503L/min	60分	4.62	
6	1,800L/min	60分	5.54	

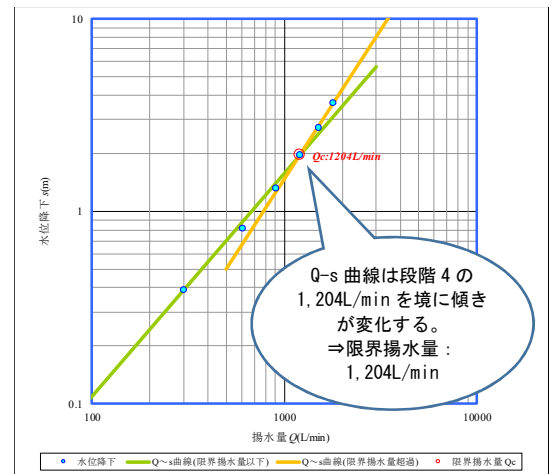


図-2 段階揚水試験結果(Q-s 曲線)

(2) 温度検層

揚水井の段階揚水試験とあわせ、B-1において精密温度検層器(高分解能温度電気伝導度検層装置 CT-2000(株)ジオファイブ)を用いた温度検層を実施した。

測定方法は精密温度検層器の温度センサを孔底まで降下し、孔底から2cmごとに水温測定を行った²⁾。温度センサはできる限り低速度(2.0m/min以下)で上下させ、孔内の攪乱を防ぐものとした。

(3) 粒度試験

B-1における深度方向の透水性の変化を求めることを目的として粒度試験を実施した。粒度試験結果は20%粒径 D_{20} を用い、「クレーガーによる D_{20} と透水係数 k 」を近似的に整理した式を用い取りまとめを行った。

$$k = 0.359 \times D_{20}^{2.327} \text{ (cm/s)} = 0.00359 D_{20}^{2.327} \text{ (m/s)}$$

3. 結果

(1) 温度検層

B-1で実施した温度検層の結果を図-3に示す。

図-3は揚水試験前の水温プロファイル(ピンク色)と各

揚水段階の終了時頃の水温プロファイルである。静水時の水温は、深度2.0m～9.0mでは一定の値で推移するが、深度9.5m～10.0m付近で水温が急激に低下している。深度10.0m～13.0mまで再び水温は安定したが、深度13.0m～15.0mでは再び水温が低下した。

段階揚水試験時における温度検層の結果、揚水量が大きいほど水温プロファイルは高温側へシフトした。段階4までにおける水温プロファイルの形状は、静水時のものと概ね類似している。

段階5および段階6における特徴的な温度変化としては、以下の事項が挙げられる。段階5の深度5.5mや深度9.5mから深度10.5mで水温に多少の乱れが生じた。段階6では深度2.0m以深に乱れが生じ、深度9.5m付近でみられた水温低下が段階5までとは異なり深度9.5m～10.5mにかけて緩やかに水位が低下している。

なお、全ての段階で深度15.5m付近に急激な水温低下がみられた。同深度は揚水井における水中ポンプ設置深度に対応していることから、揚水による地下水流動は主に水中ポンプ設置深度以浅で生じているものと推定される。

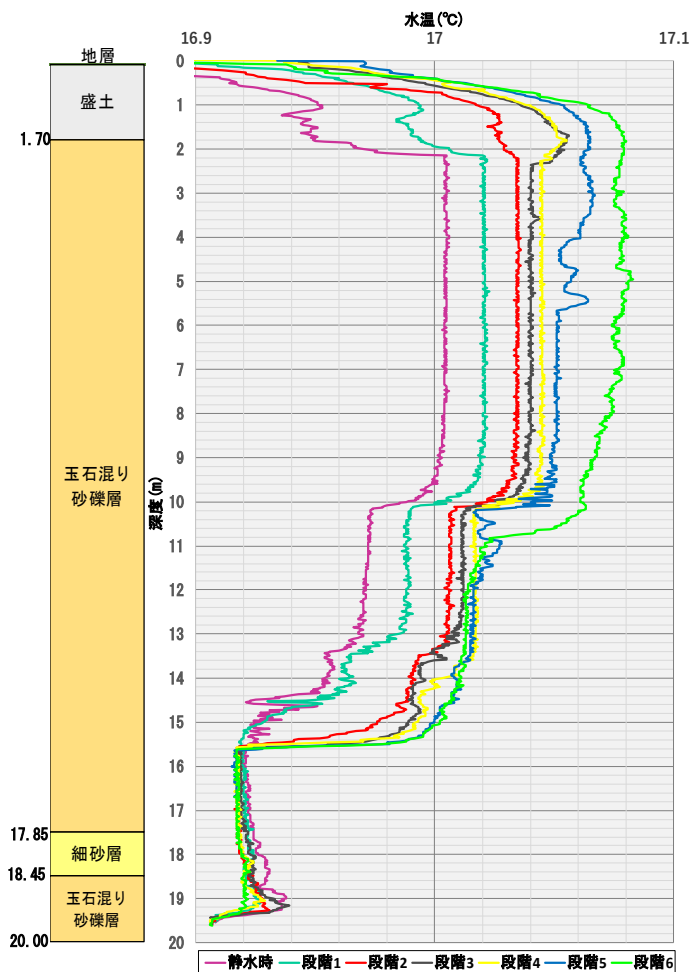


図-3 B-1における段階揚水試験時の水温変化

(2) 粒度試験

粒度試験結果に基づき試算した透水係数は、深度0.0m～9.0mでは約 10^{-3} ～ 10^{-2} m/s程度で、透水性は高く、比較

的均一であるが、深度9.5m以深では 10^{-6} m/s程度を示す透水性の低い薄層が挟在する。このような透水性の違いにより、同一の帯水層であっても深度9.0m以浅と深度9.5m以深で水温に変化が生じたと推定される。

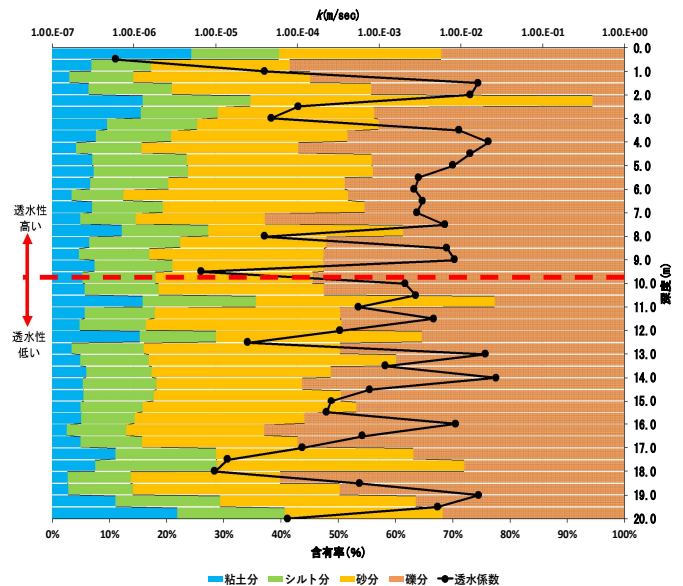


図-4 B-1における粒度区分と透水係数

4. 考察

温度検層の結果、段階5および段階6で水温プロファイルに明らかな違いが認められたことから、段階5以上においてはB-1周辺の地下水流動状況が変化したものと推定される。

段階1～4では9.5m付近にみられた水温低下部について、段階6では深度9.5m～10.5mと水温低下部が下方へシフトした。これは揚水井付近の水位が低下したことで、B-1付近においても、鉛直下向きの成分を持つ地下水流動が生じている可能性が考えられる。

5. まとめ

段階揚水試験時に温度検層を行った結果、揚水量の増加に伴ってB-1の水温は上昇し、段階5以降では水温プロファイルに明瞭な違いが確認された。なお、揚水井の限界揚水量は段階4の1,204L/minであり、段階5および段階6は限界揚水量を超過する揚水を行っていた。段階5および段階6における水温プロファイルの変化と限界揚水量超過との因果関係については、現状明らかではなく、今後の検討課題としたい。また、粒度試験の結果と併せることで、同一の帯水層であっても透水性は不均一あることが推測された。今後は事例を増やし本稿で述べた結果との整合性を検討していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 山本 荘毅：新版 地下水調査法,p.119,古今書院,1983.3.
- 2) 竹内 篤雄：温度測定による流動地下水調査法,p.18,p.254,古今書院,1996.3.