

水道水源施設における大揚水量揚水試験の実施

榎日さく ○佐々木 元気、荒井 正、会津 隆士

1. はじめに

扇状地に位置する水道水源施設において、井戸の取水能力の再検討を目的として揚水試験を行った。主な取水層は2層の被圧帯水層であり、それぞれの帯水層で別々に試験を行い、水位変動を観測した。

2. 想定される調査地の地下水涵養機構

調査地は、西部山地から東流する河川Aが形成した扇状地の上～中部に位置するとともに、北から流下する支流が形成した扇状地の扇端部にも位置する。一般に扇状地の地下水は扇頂部で下向き、扇端部では上向きの流れを有することから、調査地周辺では支流扇状地の深層地下水が供給されている可能性も考えられる。このほか北西側の山地部が形成する小河川が平地内に流れ込んでいるが、このような低山の表流水は扇状地面に降る雨と一緒に「降水」として涵養源のひとつとなる(図-1)。



図-1 調査地の地下水供給機構の概念図¹⁾

3. 調査地の水理地質構造

調査地周辺の帯水層は図-2に示すように4層に区分されている。今回の調査は被圧第1帯水層と被圧第2帯水層を取水対象とする井戸を選定し、揚水試験を行った。

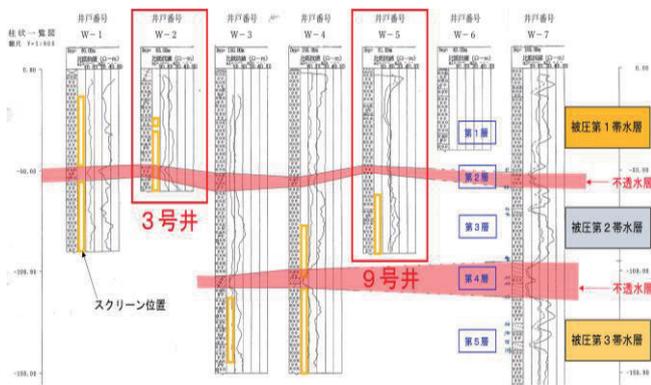


図-2 調査地周辺の帯水層区分

4. 実施内容

(1) 対象揚水井

調査対象施設における、井戸分布状況を図-3に示す。このうち、今回調査対象となる「被圧第1帯水層」および「被圧第2帯水層」の地下水をそれぞれ別々に取水できる井戸を表-1の通り選定した。

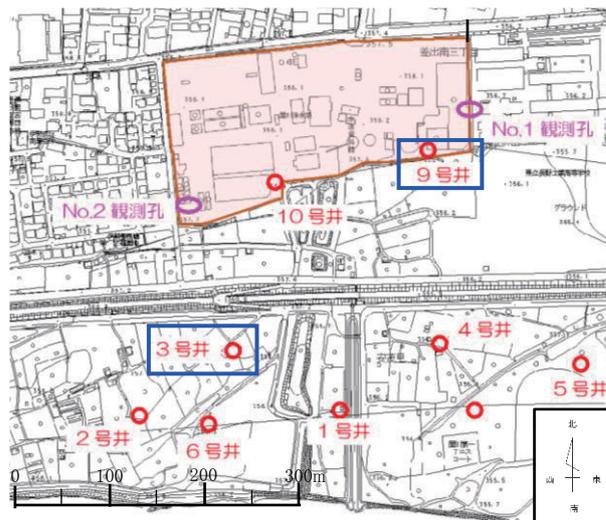


図-3 水源施設の井戸分布状況(発注者提供平面図に加筆)

表-1 対象揚水井

井戸名	井戸深度	取水層	スクリーン位置
3号井	60m	第1帯水層	32.5~56.5m
9号井	91m	第2帯水層	61~91m

(2) 地下水位測定

揚水井本井(3号井・9号井)および水位測定管が設置されている他の揚水井に加え、施設敷地西端と東端に新設した観測孔(深度20m・50m・100m)に自記水位計を設置し、1分毎の連続観測を実施した。

(3) 揚水試験

揚水は井戸に設置されている水中モータポンプを用い、既設の電磁流量計で流量管理を行った(写真-1・写真-2)。ポンプの運転停止等の操作は施設の集中制御室にて遠隔で行った。

表-2 揚水試験内容

予備揚水試験	揚水施設動作チェック
段階揚水試験	1時間×5段階程度
連続揚水試験	24時間揚水
水位回復試験	概ね自然水位に回復するまで計測



写真-1 電磁流量計

写真-2 流量調整状況

5. 調査結果

表-3、表-4に3号井、9号井それぞれの揚水試験結果を示す。

表-3 3号井(被圧第1帯水層)の揚水試験結果

段階揚水試験	実施日時	令和3年1月12日 9:00~13:00				
	自然水位	管頭-4.16m [GL-6.56m]				
		段階1	段階2	段階3	段階4	段階5
	揚水量(L/min)	3500	4000	4500	5000	5500
	揚水時間(分)	60				
	揚水水位(管頭-m)	9.20	10.13	11.03	12.01	13.10
	水位低下量(m)	5.04	5.97	6.87	7.85	8.94
	限界揚水量(L/min)	5500				
連続揚水試験	適正揚水量(L/min)	4400				
	実施日時	令和3年1月12日17:00~令和3年1月13日17:00				
	自然水位	管頭-6.50m [GL-8.90m]				
	揚水水位	管頭-15.87m [GL-18.27m]				
	揚水量(L/min)	5670				
水位回復試験	揚水時間	1440分 [24時間]				
	水位回復確認時間	300分 [5時間]				

表-4 9号井(被圧第2帯水層)の揚水試験結果

段階揚水試験	実施日時	令和3年1月14日 9:00~12:00				
	自然水位	管頭-11.36m [GL-12.91m]				
		段階1	段階2	段階3	段階4	段階5
	揚水量(L/min)	5000	5500	6000	6300	-
	揚水時間(分)	60				
	揚水水位(管頭-m)	26.90	29.94	32.57	34.02	-
	水位低下量(m)	15.54	18.58	21.21	22.66	-
	限界揚水量(L/min)	6300				
連続揚水試験	適正揚水量(L/min)	5040				
	実施日時	令和3年1月14日17:00~令和3年1月15日17:00				
	自然水位	管頭-9.77m [GL-11.32m]				
	揚水水位	管頭-32.88m [GL-34.43m]				
	揚水量(L/min)	6080				
水位回復試験	揚水時間	1440分 [24時間]				
	水位回復確認時間	1440分 [24時間]				

水理定数の算定は、揚水による影響圏を把握するために、水位観測孔の孔内水位の低下量を利用し、テームの式による定常流解析²⁾を行った。表-5に得られた水理定数を示す。被圧第1帯水層の透水係数は砂~礫層の一般値に相当し、被圧第2帯水層の透水係数は砂層の一般値に相当する。

表-5 水理定数一覧

帯水層	透水量係数(T)	透水係数(k)	
	(m ² /s)	(m/s)	(cm/s)
被圧第1帯水層	2.9×10 ⁻²	1.0×10 ⁻³	1.0×10 ⁻¹
被圧第2帯水層	1.4×10 ⁻²	4.6×10 ⁻⁴	4.6×10 ⁻²

6. 考察

表-6に揚水試験時の揚水井本井および各水位観測孔で観測した井内水位低下量を示す。

3号井は被圧第1帯水層から揚水しており、帯水層が同じ観測孔は No. 1-2と No. 2-2である。揚水井からの距離が遠いために水位低下量は小さいが、それぞれ0.41m と 0.83m の低下が生じている。この時、帯水層が不透水層によって完全に遮断されていれば、被圧第2帯水層の No. 1-3と No. 2-3では水位低下が生じないはずであるが、実際にはそれぞれ0.15m と 0.21m 低下している。

一方、9号井は被圧第2帯水層から揚水しており、同じ

帯水層の No. 1-3と No. 2-3観測孔の水位は2.56m、1.06m と大きく低下している。この時異なる帯水層の No. 1-2と No. 2-2でもそれぞれ0.67m、0.25m と水位低下が認められる。したがって、被圧第1帯水層と被圧第2帯水層は完全には分離されていないことが判明した。

また、それぞれの帯水層における影響半径はそれぞれ700m と800m 程度であった(図-4)。

表-6 揚水試験時の地下水位低下量

孔番号	3号井揚水試験(被圧第1層)		9号井揚水試験(被圧第2層)		帯水層の 深度区分
	2021/1/13 16:00		2021/1/16 16:00		
	水位低下量(m)	距離(m)	水位低下量(m)	距離(m)	
No.1-1	0.02	364	0.02	58	■
No.1-2	0.41	364	0.67	58	▲
No.1-3	0.15	364	2.56	58	●
No.2-1	0.18	166	0.01	270	■
No.2-2	0.83	166	0.25	270	▲
No.2-3	0.21	166	1.06	270	●
3号井	8.24	-	0.18	306	▲
4号井	0.59	225	0.29	213	▲
6号井	0.62	86	0.26	387	★
7号井	0.58	267	0.47	281	★
9号井	0.2	306	23.07	-	●

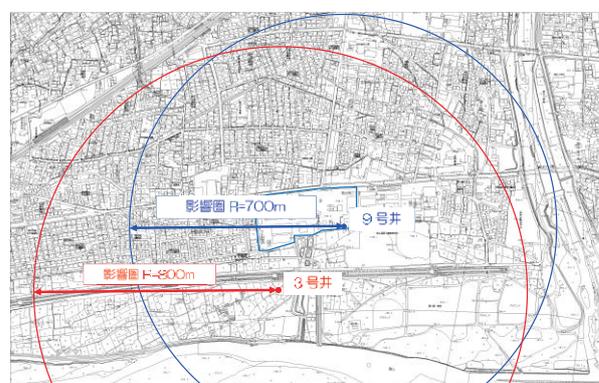


図-4 帯水層毎の影響圏平面図(発注者提供平面図に加筆)

7. 今後の課題

今回の帯水層毎の揚水試験により、主要な帯水層の水理定数と影響圏が判明した。対象となる水源施設には8井の稼働可能な揚水井が存在しており、施設全体の取水能力を正確に評価するためには、次の課題が考えられる。

(1) 各井戸の井戸ロスの評価

揚水井では、帯水層本来の地下水位よりも降下量が大きくなる井戸ロスが生じており、8井で揚水を行う場合、個々の揚水井における井戸ロスの実態を把握して、実際の水位低下量を評価する必要がある。

(2) 帯水層相互の干渉の評価

被圧第1帯水層と第2層の両層から同時に揚水する場合、干渉状況を把握して評価する必要がある。

8. おわりに

今回の技術発表に際し、調査データの公表を承認していただいた関係機関に深く感謝致します。

《引用・参考文献》

- 1) 国土地理院(電子国土Web)：地理院地図
<https://maps.gsi.go.jp/> (確認日2021.6.2)
- 2) 地盤工学会：地下水調査に用いる井戸理論式の整理及び解説(2017年度版),資料番号3-01
https://www.jiban.or.jp/?page_id=4519&preview=true
(確認日2021.6.2)