

かんがい用取水井戸設備の 機能低下対策事例について —取水井戸の機能低下要因と対策井戸の評価方法—

釧路開発建設部 土地改良情報対策官付 ○大山 武士
土地改良情報対策官 大宮 幸司
株式会社ズコーシャ 佐々木 大

国営かんがい排水事業の水源として整備された取水井戸において、揚水量の減少や揚砂による取水機能の低下が顕著化した。

ストックマネジメント技術高度化事業では、取水機能の低下の要因を特定し、この要因への対策を講じた新たな対策井戸を設置した。現在は対策井戸の供用を開始し、水質や水量、地下水位等のモニタリング調査を実施している。

本報告では、対策井戸の構造や評価方法を報告する。

キーワード：維持・管理、取水井戸、揚水試験、機能低下

1. はじめに

北海道東部の大規模酪農地帯で実施された国営かんがい排水事業では、取水井戸を水源とした用水施設の整備が行われている。

当該地域周辺では、広大な地下水盆地により、取水井戸の水源として有力な深層地下水(被圧地下水)の帯水層が形成されているが、火山灰質の細砂、軽石を多く含むことから、施設の供用開始後に、井戸の機能低下要因としてスクリーンの目詰まりが問題となっている。

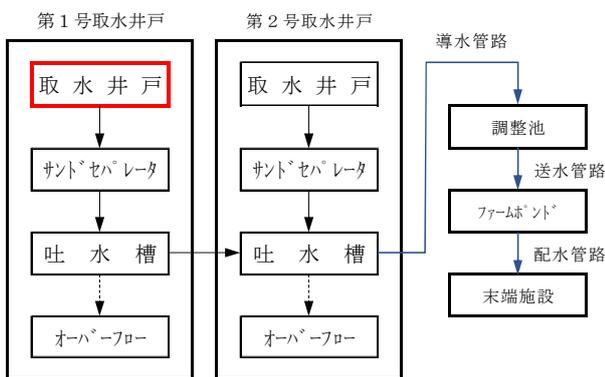
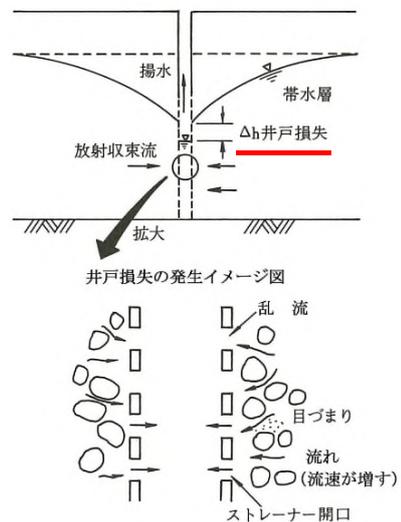


図-1 調査対象施設の取水系統概念図

第1号取水井戸では、これまでに敷地内(約900m²)に3本の井戸が設置されてきたが、いずれも揚砂等による井戸損失(図-2)が発生し、機能低下が確認された。

このため、揚砂等の機能低下の発生原因の調査及び検討を行い、その結果を踏まえた対策井戸を設置しており、現在、効果確認のためにモニタリング調査を実施している。

本報告では、主に取水井戸の機能低下の要因や対策井戸の概要、効果確認のための評価方法について報告する。



井戸損失 Δh は、以下が原因となって、井戸の中の水位と外の地下水位の差として現れる。

- ①ストレーナーの開口部の抵抗
- ②帯水層の流れによる抵抗
- ③ストレーナー周辺の目詰まり
- ④その他、ストレーナーの劣化・腐食

図-2 井戸の機能低下の要因¹⁾

2. 井戸機能低下の要因調査

要因調査では、当該地の土層構成や水理地質構造を把握するため、ボーリング調査及び電気検層を実施した。

これにより、目詰まりしやすいとされる細砂や軽石等の土層の分布状況や地層の比抵抗値から、帯水層や難透水層を明らかにした。

さらに、ボーリング調査で採取した試料を用いて、室内土質試験を実施し、代表土層の物理特性を把握した。

これらの結果を基に、井戸スクリーン周辺の浸透流に対する土粒子の安定性について、限界動水勾配と限界流速の両者で解析し、土粒子の移動が生じない取水量の検討を行った。その結果、細砂、軽石層では、目標取水量以下で土粒子が移動し、パイピングが生じることがわかった。なお、中砂では目標取水量でも粒子が移動しない結果となった。

また、目詰まりによる機能低下が確認された既存井戸においては、ボアホールカメラによる井戸内部の状況確認を行い、井戸スクリーンには細砂や軽石等の付着や目詰まり、スクリーンの破損が確認された(写真-1)。

以上の要因調査から、井戸の機能低下は、浸透流に対する土粒子の不安定化(パイピング)により、細砂、軽石等が移動し、井戸スクリーンへの付着が目詰まりの主要原因であると評価した。



写真-1 ボアホールカメラ映像

3. 対策井戸の検討と概要

要因調査の結果等を踏まえ、機能低下を防ぐ対策井戸の検討を実施した。

(1) 井戸位置の検討

井戸の新設箇所は、狭い敷地に既に3本の井戸が設置されていることから、井戸の相互干渉を防ぐために極力、既存井戸から離れた位置を選定した。

OOYAMA Takeshi, OOMIYA Koji, SASAKI Dai

(2) スクリーン区間の検討

スクリーンプログラムは、ボーリング調査における土層構成及び電気検層結果、井戸掘削時の電気検層結果も踏まえた上で判断した。

また、要因調査の結果から、細砂、軽石等を多く含む地層から取水した場合、パイピングが生じることが懸念されたため、これらの移動層の区間を無孔管にすることでパイピングによる揚砂を抑える対策を講じた。

しかし、この対策により、既存井戸に比べてスクリーン区間の延長が短くなり、目標取水量が確保できないことが懸念された。このため、対策井戸では、移動層の区間を無孔管にする他、既存井戸よりも上位の取水可能区間にスクリーンを追加し、取水量の確保に努めた。

(3) スクリーン巻線間隔の検討

既存井戸は、細砂の混入を避けるため、スクリーンの巻線間隔は1mmとしていたが、間隔が狭いとスクリーン付近の流速が大きくなり、目詰まりが発生しやすくなる。

このため、対策井戸では、流速を下げることを目的に巻線間隔を1.5mmとした。

(4) スクリーン管の選定

スクリーン管の選定では、開口率、集水面積、出砂、流入速度、井戸ロス、強度、目詰まり、錆びの発生、耐久性の項目から各スクリーン管について評価、検討した。

その結果、従来のスクリーン管よりも優れる「リングベーススクリーン リングベースV型巻線」を採用した(図-3)。

スクリーンの名称	リングベーススクリーン リングベースV型巻線	ウェルスクリーン V型巻線	パイプベーススクリーン 丸孔巻線	スリットパイプ 孔明管
スクリーンの形状				
(口径300A)	外径:342mm	外径:324mm	外径:318.5mm	外径:318.5mm
開口率 (スロット2.0mmの時)	40% / 大きい	33% / 大きい	16.1% / 小さい	3.0% / 小さい
集水面積 A (スロット2.0mmの時)	4297 cm ² /m	3392 cm ² /m	1608 cm ² /m	300 cm ² /m
仕様 性能比較	(取水量: Q=80ton/分 スクリーン有効長: L=30.0m 土質の間隙率: P=0.3)			
流入速度 V V=Q/(PxA×L)	0.78cm/sec 非常に緩やか	0.98cm/sec 緩やか	2.07cm/sec 速い	11.11cm/sec 非常に速い
出砂の問題	ほとんど無し	ほとんど無し	砂の問題有り	砂の問題大に有り
揚水損失	少ない	少ない	大	特大
目詰まり				
仕上げ効果				

図-3 スクリーンの性能比較概要

(5) 充填砂利の検討

充填砂利は、スクリーンの巻線間隔を、既存の1mmから1.5mmにすることで、土粒子が通りやすくなることから、充填する砂利の礫径や厚さについて検討を行った。

まず、礫径については、通常の洗い砂利(φ5~10mm)に珪砂1号(φ2.4~4.8mm)を混合することで充填砂利の礫径を小さくした。

次に厚さについて、既存井戸では、掘削孔径500mm、井戸管径300mmであったが、対策井戸では、掘削孔径500mm、井戸管径250mmとし、管径を小さくすることで充填砂利を厚くして、より目詰まりが発生しにくい構造とした。

対策井戸の諸元を表-1に、井戸構造図を図-4に示す。

表-1 対策井戸の諸元

項目	内容
掘削深度	L=145m
掘削孔径	φ=500mm
井戸の仕上げ孔径	φ=250mm (既存井戸は300mm)
砂利充填厚	250mm (既存井戸は200mm)
充填砂利	水洗砂利(φ5~10mm)と珪砂1号の混合
井戸管	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーシング(鋼管) φ250mm : L=102.0m ・スクリーン(巻線型) φ250mm : L=43.0m ・スクリーンの種類 : リングベーススクリーン ・スロットサイズ(スクリーンの巻線間隔) : 1.5mm

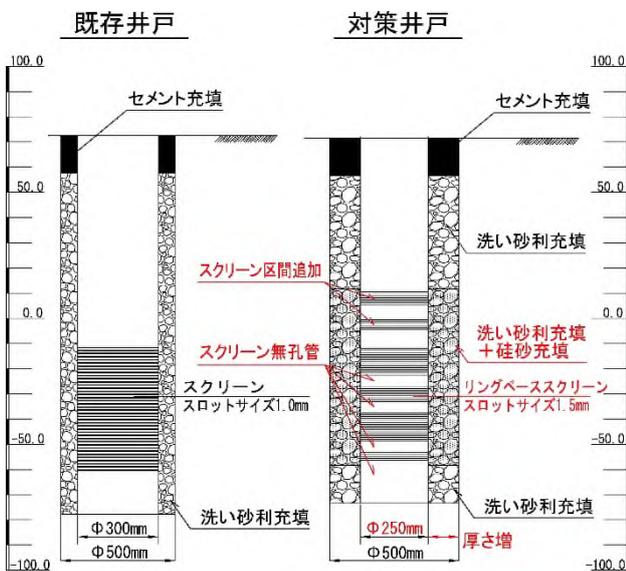


図-4 井戸構造図



写真-2 対策井戸の掘削状況

4. 対策井戸の評価(モニタリング)方法

対策井戸の評価を行うため、以下の調査項目についてモニタリングを実施した。

(1) 地下水位観測

地下水位観測は、周辺の地下水位の変動状況を確認し、対策井戸の水位や取水量との関係を把握することを目的として実施する。

地下水位観測孔は、2章の井戸機能低下の要因調査時に実施したボーリング孔を利用し、既存井戸の構造と同様に有孔管を配置し、水位観測孔として設置した。

水位観測では自記水位計を1時間インターバルで設定し、対策井戸を設置する前から観測を開始した。

また、対策井戸の水位や取水量データは、施設管理者から入手し、周辺の地下水位との関係性について整理した。



写真-3 データ回収状況

(2) 水質調査

水質調査は、対策井戸の目詰まりによる水質低下を把握するため、目詰まりの原因となる細砂や軽石等の混入状況を調査することとした。

調査は、1回/2か月程度の頻度で採水、水質分析を実施し、分析項目は、濁度、浮遊物質質量(SS)の項目を基本とした。

また近年、既存井戸の維持管理における水質調査において、鉄成分が上昇傾向を示していることから、色度、鉄、マンガンの項目についても分析を実施した。



写真-4 採水状況

(3) 段階揚水試験

段階揚水試験は、対策井戸の限界揚水量を把握するため、試験結果を基に井戸損失及び帯水層損失解析を行い、目詰まり等の機能低下の進行を定量的に把握することを目的に実施した。

以下に、限界揚水量の算出方法と井戸の機能低下の原因及び特定方法を記載する。

a) 限界揚水量

限界揚水量は、段階揚水試験の結果から判断した。段階揚水試験は、揚水量を一定時間ごとに変化させ、各段階での最終水位を測定する方法である。図-5のように整理すると、急激な折れ曲がりを見せる場合があり、取水井戸の水位が急激に低下し始める揚水量が限界揚水量となる。

なお、通常、適正揚水量は限界揚水量の70%²⁾とされている。

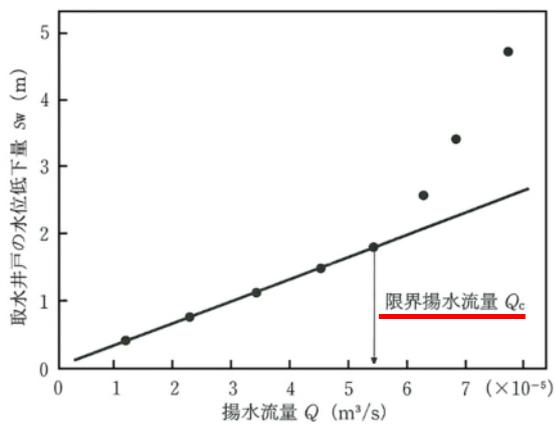


図-5 段階揚水試験結果の例³⁾



写真-5 揚水試験状況

b) 井戸の機能低下の原因と特定方法

井戸の機能低下では、帯水層損失によるものと、井戸損失による2つの原因が考えられる。⁴⁾

帯水層損失によるものは、主に自然条件の変化(地層の変化、地形改変)に起因し、発生する揚水能力の低下を示す。

井戸損失によるものは、井戸施設の劣化(スクリーンの目詰まり、ポンプの能力低下)等を示す。

原因の特定には、段階揚水試験結果の揚水量(Q)、水位低下量(Sw)を用いて、以下の関係式⁴⁾から求めた。

$$S_w = BQ + CQ^2 \quad (1a)$$

ここに、水位低下量：Sw、揚水量：Q、帯水層損失係数：B、井戸損失係数：C(min²/m⁵)

式(1a)の両辺をQで除すと以下となる。

$$S_w/Q = B + CQ \quad (1b)$$

以上から、図-6のようにグラフの縦軸をSw/Q、横軸をQとして整理すると、近似式の傾きが井戸損失係数Cとなり、切片が帯水層損失Bとなる。

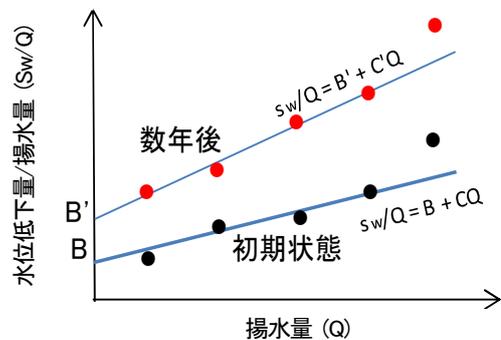


図-6 井戸の機能低下の解析法

c) 井戸の機能低下の評価

井戸の機能低下の評価は、図-6のように初期状態(井戸掘削時)と数年後の測定値を比較し判断する。グラフの切片のBが大きくなれば、帯水層損失、傾きのCが大きくなれば、井戸損失が生じていると定量的に評価できる。

目詰まり等による機能低下を示す井戸損失係数Cと井戸状況の関係を表-2に示す。

表-2 井戸損失係数Cと井戸の状況との関係⁵⁾

井戸損失係数C (min ² /m ⁵)	井戸の状況
<0.5	井戸の設計および作井が適切である。
0.5~1.0	若干の劣化や目詰まりが見られる。
1.0~4.0	劣化または目詰まりが著しい。
>4.0	井戸を初期の能力に回復させることは困難である。

(4) 揚砂量調査

揚砂量調査は、サンドセパレータ(除砂装置)に溜まった砂の量から揚砂の発生状況を把握することを目的とした。

調査は1回/1週間の間隔で測定し、揚砂量の推移を整理し、揚砂量と取水量の関連性を把握した。

なお、取水された井戸水は、サンドセパレータを通過し、吐水槽、浄水場へと流れる。



写真6 サンドセパレータ

(5) 井戸内カメラ調査

井戸内カメラ調査は、井戸管内部のスクリーンの付着物や目詰まりの有無、破損等の状況を確認することを目的として、モニタリング最終年（令和6年度：施工後3年目）に実施する予定である。

調査は井戸内部に小型のカメラを入れた測定器を挿入し、スクリーン内部の360度展開画像を取得する。カメラ画像により、実際に目で見るようにスクリーンの様子を観察し、評価を行う。

5. 現時点における対策井戸の評価と今後の対応

(1) 取水量

井戸掘削時およびポンプ設置・配管工事の際に実施した揚水試験の結果や井戸の取水状況から、取水量を増加させると対策井戸でも揚砂が確認され、周辺の土粒子の引き込み（パイピングが形成）の発生が確認された。

また、井戸損失や帯水層損失も井戸掘削時と比較して、

大きくなっている。

モニタリング1年目の現在は、揚砂の発生を抑えた水量で取水しているが、対策前の既存井戸よりも多い取水量を確保し、井戸水位、取水量ともに安定した状態で取水できている。

今後も長期的に揚水するためには、現在と同様に揚砂の発生を抑えた水量で取水する必要があると考えられ、井戸の負荷を軽減することを目的に既存井戸との同時稼働をする事により、現在と変わらない取水量を確保できる可能性があり、場合によっては、取水量の増加に繋がる可能性もある。

複数井戸の同時利用を視野に入れる場合、同時に複数の井戸から揚水試験を行い、井戸相互の影響や水位等を把握し判断することが必要と考える。

(2) 水質

近年、取水井戸の水質は、鉄の値が高めに推移している状況にあり、対策井戸の水質についても同様な傾向を示した。

このため、今後も水質のモニタリング調査による監視を行い、水質による対策井戸の目詰まりの原因等について検証していきたい。

謝辞：本調査にあたり、技術指導や現地調査にご協力いただいた、関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 改訂地下水ハンドブック編集委員会 編：地下水ハンドブック, pp. 95 (1998) に追記
- 2) 厚生労働省：水道施設設計指針, pp. 89 (2012)
- 3) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説, pp. 537 (2013) に追記
- 4) 中央開発(株)川口 貴之, 山口 弘志：全地連「技術フォーラム2015」名古屋, 井戸損失および帯水層損失の理論と実際 (2015)
- 5) Todd(1980):Groundwater Hydrology 2nd ed., John Wiley & Sons, pp. 152-156