

かんがい用取水井戸における 機能維持対策の適用性評価 —試験施工後のモニタリング調査結果—

釧路開発建設部 農業環境保全対策官

○田村 要
川北 清香
中村 晃司

肥培かんがい用水の水源として平成16年度に造成された取水井戸について、スクリーン管の目詰まりによる揚水量の減少や揚砂が見られるようになったことから、令和2年度にストックマネジメント技術高度化事業により目詰まり防止機能を有したスクリーン管による試験施工を実施した。本報告では、試験施工後のモニタリング調査結果に基づき、取水井戸の機能維持対策の適用性評価について報告するものである。

キーワード：機能維持、取水井戸、かんがい用水

1. はじめに

釧路開発建設部管内では大規模酪農経営が展開されており、家畜ふん尿を資源として農地に還元する資源循環型農業の推進のため、平成11年度から1市2町で国営環境保全型かんがい排水事業を6地区実施している。

その1つであるA地区では、取水井戸をかんがい用水の水源として新規整備している。A地区内では、広大な地下水盆地により、深層地下水（被圧地下水）の帯水層が形成されているが、取水井戸の供用開始から約20年経過してきた中で、取水量の低下が確認された。これは、井戸周辺の地層には火山灰質の細砂や軽石が多く含まれており、揚水時にこれらが地下水と一緒に吸い上げられ、井戸のスクリーンが目詰まりを起こしてしまったことが要因と想定される。

調査対象施設の取水系統概念図を図-1に示す。

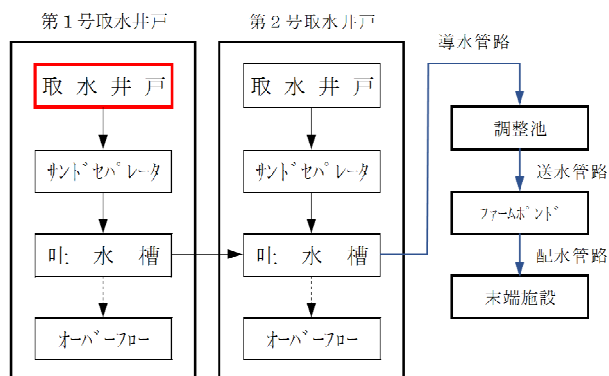
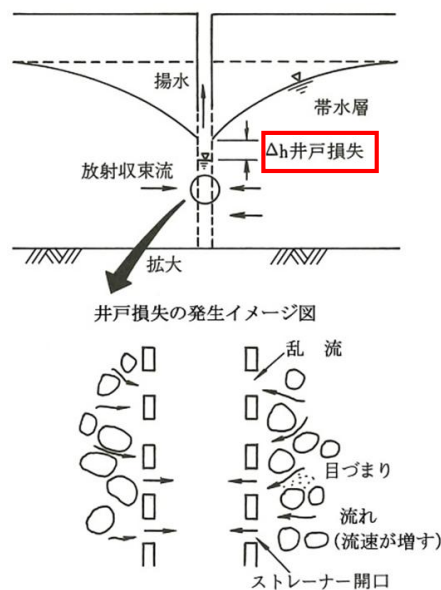


図-1 調査対象施設の取水系統概念図

第1号取水井戸では、これまでに敷地内（約900㎡）に3本の井戸が設置されているが、いずれも主として揚砂を要因とした機能低下が度々発生している（図-2）。



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（井戸損失）の要因¹⁾

このため、機能低下の要因把握とともに安定的な用水供給と施設長寿命化に資する対策工法の検討のため、ストックマネジメント技術高度化事業を活用し、令和2、3年度に試験対策井戸の設置や揚水試験、令和4年度から3

か年モニタリング調査を実施した（表-1）。

本報告では、試験対策井戸施工後のモニタリング調査結果に基づき、取水井戸の機能維持対策の適用性について報告する。

表-1 対策・モニタリング調査のスケジュール

年度	高度化事業	対策・モニタリングの内容
R2	対策1年目	試験対策井戸の設置 (井戸掘削・スクリーン設置)
R3	対策1年目	試験対策井戸の設置 (ポンプ等機器設置) 揚水試験 地下水位調査 水質調査
R4	モニタリング1年目	揚水試験 地下水位調査 水質調査
R5	モニタリング2年目	揚水試験 地下水位調査 水質調査 井戸内カメラ調査 (洗浄前の状況把握)
R6	モニタリング3年目	井戸内洗浄 井戸内カメラ調査 (洗浄後の状況把握) 揚水試験 地下水位調査 水質調査 井戸内洗浄の適用性評価

2. 機能低下の要因把握調査

要因把握調査では、まず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方で解析し、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、細砂及び軽石層では、目標取水量以下で土粒子が移動し、パイピング（軟弱な地盤内で地下水の流れによって土粒子が流出し、管路上の地下浸食が進行すること）の発生が確認された。なお、中砂では目標取水量でも土粒子の移動は生じなかった。

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、スクリーンの破損、目詰まりが確認された（写真-1）。

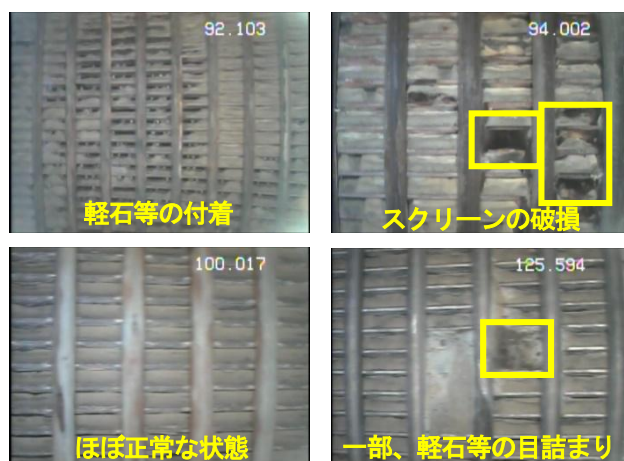


写真-1 既存井戸スクリーンのカメラ映像

以上の要因把握調査から、井戸の機能低下の主要因は、パイピングにより移動した細砂や軽石等が井戸スクリーンに付着して生じた目詰まりであると評価した。

3. 試験対策井戸の概要

要因把握調査の結果等を踏まえ、機能低下を防止・抑制する試験対策井戸の検討を行った。

(1) 設置位置の検討

設置位置は、限られた敷地内に既に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、敷地内で極力離れた位置を選定した（写真-2）。



写真-2 試験対策井戸の設置位置

(2) スクリーン区間と充填砂利厚の検討

スクリーンプログラムは、ボーリング調査や井戸掘削時における土層構成及び電気検層結果を踏まえたうえで、細砂や軽石等を多く含む地層の区間を無孔管にすることによりパイピングによる揚砂を抑制する対策を講じた（図-3）。

また、既存井戸に比べてスクリーン区間が短くなるため既存井戸より浅い取水可能区間にもスクリーンを追加したほか、既存井戸より充填砂利の厚さ増すことで目詰まりを抑制するなど、取水量の安定確保を図った。

対策井戸の諸元及び構造を各々表-2及び図-4に示す。

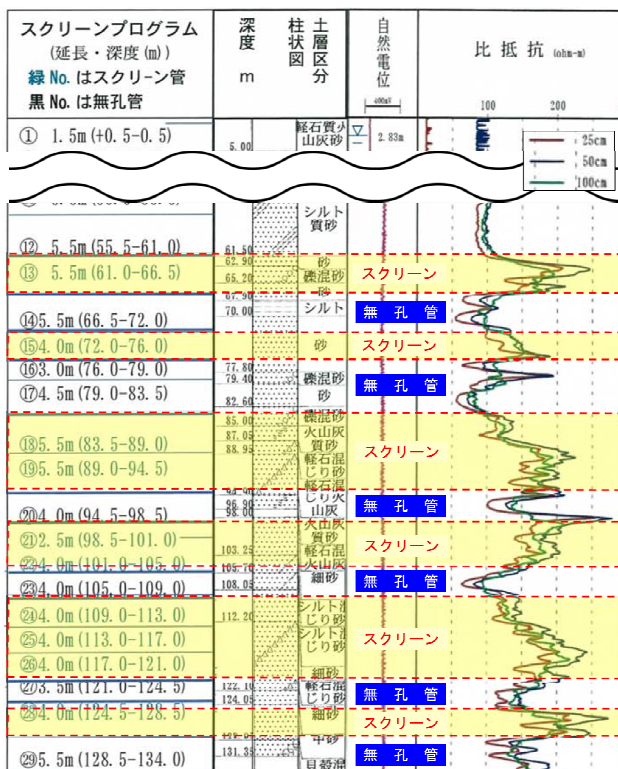


図-3 スクリーンプログラム

表-2 対策井戸の諸元

項目	内容
掘削深度	H=145m
掘削孔径	φ500mm
井戸の仕上り孔径	φ250mm (既存井戸はφ300mm)
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

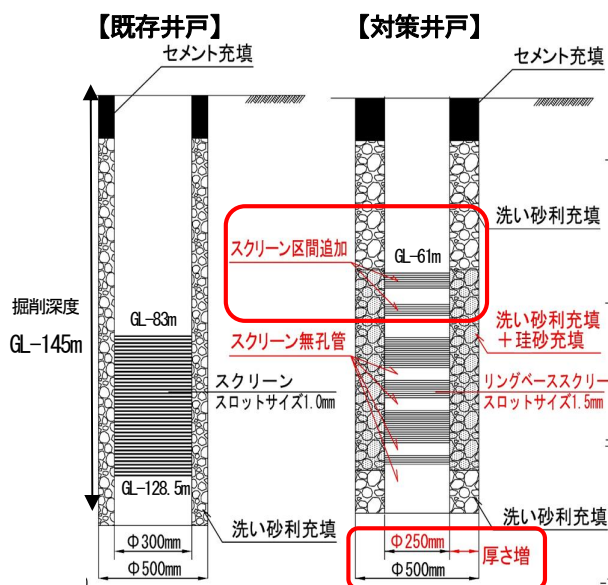


図-4 対策井戸の構造 (既存井戸との比較)

(3) 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、採水損失、目詰まり等の各種項目において、従来のスクリーン管よりも性能や機能が優れている「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(表-3)。

表-3 各種スクリーン管の性能・機能等比較

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	素管外径:318.5mm	原管外径: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
仮定条件	(取水量:Q=150ton/分 スクリーン有効長:L=30.0m 土質の開隙率:P=0.3)			
流入速度・V V=Q/(P×A×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 砂の排除限界速度は、細砂が1cm/sec以下、中砂が1.5cm/sec以下、粗砂が3.7cm/sec以下となり、速いほど砂の問題はない。	ほとんど無し	砂の問題有り	砂の問題大いに有り
採水損失	少ない	少ない	大	極大
目詰まり				
仕上り効果				



写真-3 対策井戸の掘削状況

4. 井戸内洗浄(エアリフト)の実施

(1) 対策井戸の経過状況と洗浄の目的

対策井戸においても、スクリーン設置後2年が経過した頃(令和4年度)から既存井戸で発生していた揚砂が見られるようになり、スクリーン管の目詰まりが生じている可能性が考えられた。

このため、モニタリング調査2年目(令和5年度)に、井戸内部の付着物、スクリーン管の劣化、目詰まり等の詳細な状況を把握するため、水中カメラを投入して撮影を行ったところ、スクリーン管の劣化は生じてないが、やはり部分的に付着物や目詰まりが確認された。

これらの経過を踏まえ、モニタリング調査3年目（令和6年度）に、井戸の機能保全及び維持管理の対策工法の1つとして、井戸内洗浄を実施することとした。

(2) 洗浄方法の検討

井戸内洗浄の方法は複数あるが、今回は、施設管理者との協議を踏まえ、洗浄機器がスクリーンに接触することで損傷を与えることがないように留意すること、今後の維持管理として採用できるように極力簡易的であること等に着目し、エアリフト洗浄（単管法）を採用することとした。

(3) エアリフト洗浄（単管法）の概要

まず、水中ポンプと揚水管を地上に引き上げ、上部孔口に設置した装置を用いて井戸内にエア管を挿入していく。次に、地上に設置したコンプレッサーからエア管に圧縮空気を送り込み、エア管の先端部から噴出する空気によりスクリーン管に付着した細砂等を剥がしていく。さらに、剥がれた細砂等を井戸内に残存させないように水、空気、細砂等を地上に排出し、細砂等による濁水がなくなり安定するまでを確認する（図-5）。

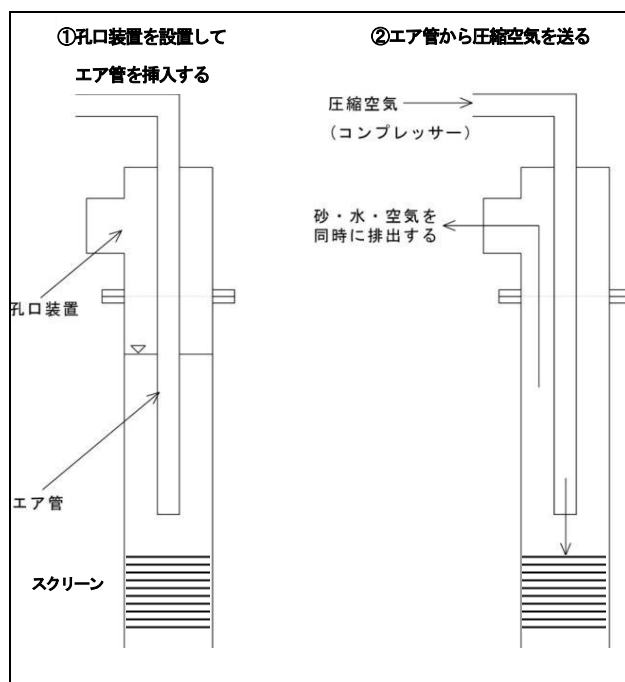


図-5 エアリフト洗浄（単管法）の概略図

(4) 洗浄作業の実施

エア管の深度について、エア管先端部からどの程度の深度まで効果があるか確認するため、スクリーン区間の上部付近（スクリーンGL-61.0m～GL-128.5mのうちGL-80m付近）に設置した。

なお、洗浄作業の確実性や信頼性を確保するためには、複数回の実施が望ましいことから、今回は2回（2日間）実施した。

空気送り込みから水質安定までの実施に要した時間は、各々概ね2時間、5時間であった。

洗浄の実施状況、排水の水質変化等を写真-4に示す。

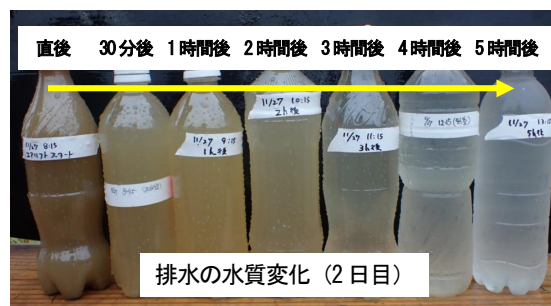


写真-4 洗浄実施、水質変化の状況

5. 水中カメラ調査

(1) 調査の目的と方法

井戸内洗浄の効果を確認するため、洗浄後に水中カメラ調査を実施した。

前段準備として、4tユニック車を用いて水中ポンプ及び揚水管等を引き上げ、電気ケーブル等を取り外し、その後、井戸管内に水中カメラを挿入し、スクリーンの前方及び側方360°を動画撮影した（写真-5及び図-6）。



写真-5 水中カメラの挿入状況

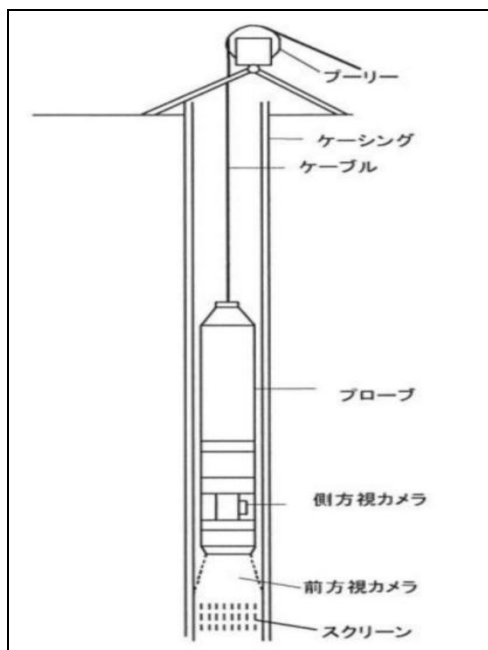


図-6 水中カメラ調査の概略図

(2) 調査結果

調査結果について、撮影した動画を静止画に変換して整理した。なお、洗浄前の状況と同一深度とすることで画像を比較できるようにした。

結果、深度89m付近までは洗浄前には半分以上が目詰まりが生じていたが、洗浄により大部分の目詰まりが解消されている状況が確認できた（写真-6）。

深度	洗浄前	洗浄後
62 m 付近	<p>大部分が目詰まり</p>	<p>完全に目詰まり解消</p>
85 m 付近	<p>半分程度が目詰まり</p>	<p>ほぼ目詰まり解消</p>

写真-6 洗浄前後のスクリーン画像

6. 井戸内洗浄（エアリフト）の適用性評価

井戸内洗浄（エアリフト）の適用性について、スクリーンの水中カメラ調査の結果や井戸内の水位回復状況から評価した。

総評として、目詰まり解消や水位回復が見られたことから、機能保全及び維持管理手法の1つとして、十分に期待できるものであった（表-4）。

表-4 適用性の評価

項目	適用性の評価
スクリーンの状態	・エアが届く範囲（エア管先端から10m程度の深度）では、細砂や軽石等の目詰まりが解消された。
水位回復状況	・洗浄前の水位に対して、洗浄後は常時安定水位で約7m上昇した（最大で17.8mの上昇も見られた）。
総評	・一定の洗浄効果が確認できた。 ・機能保全、維持管理手法として、十分に期待できる。

7. 他の洗浄手法の概要

今回の洗浄では、スクリーン管に損傷を与えないこと、過度な揚砂とならないよう排水の水質を確認しながら、エアの圧力を抑制調整する必要がある。これらの条件においては、エアリフト洗浄（単管法）は有効である。

一方、洗浄工法には、エアのみならず、ブラシで表面を削る等の手法があり、それぞれ条件に合った選択をすることが可能であることから、代表的な3つの手法について概要を紹介する（図-7～図-9）。

① スワビング洗浄	
洗浄概要	概略図
<p>ケーシング管内にピストンの役目をするサージランジャー(スワブ玉：密封性のある器具)を挿入し、上下運動によりピストン動作を与えて、水の動揺を大きくしてスクリーン周辺のスケールや砂粒を除去する工法である。</p> <p>この工法は、上下運動の際にケーシング内に正圧、負圧が発生することで、湧水促進効果も期待できる。一方、強制的に井戸内へ水を流入させるため、井戸への負担が大きく、スクリーン管が劣化している場合、過度のスワビングはスクリーン管を破損させるリスクを伴うので適さない。</p> <p>地上装置には、簡易やぐらと動力ウインチまたは、小型さく井機またはウインチを使用する。</p>	

図-7 スワビング洗浄

③ エアリフト洗浄（二重管法）	
洗浄概要	概略図
<p>井戸内にエア管を取り付けたリフト管を井戸底まで挿入し、地上よりコンプレッサーにて圧縮空気を送る。圧縮空気を送ることにより、リフト管内の地下水に空気泡が混合して見かけの比重が小さくなるため、地下水が空気と共に地上へ排水する方法である。</p> <p>この際、井戸内の地下水はリフト管先端からリフト管内に急速に流入し、リフト管先端付近の土砂や砂利を巻き込み、急速度で地上へ排水する。</p> <p>土砂の排出が少なくなった場合にはリフト管を徐々に降下させ予定深度まで土砂を回収する。</p> <p>この方法は、比較的締まった砂や砂利など、ペーラーによる回収が困難な場合に適応される。</p> <p>ケーシング管に穴明き等の破損箇所があり、充填砂利が井戸内に流入している場合等は有効であるが、スクリーンの洗浄効果は期待できない。</p>	

図-9 エアリフト洗浄（二重管法）

② ブラッシング洗浄	
洗浄概要	概略図
<p>ケーシング内径より2～3mm大きい円形のワイヤブラシまたはナイロンブラシを上下させることにより、スクリーン及びケーシング内部の付着物を掻き落とし除去する工法である。</p> <p>ブラシによる除去と同時に、上下運動による水の衝撃作用が目詰まり除去に効果を及ぼす。</p> <p>この方法は、ケーシング管表面の汚れの除去、清掃にも有効であるが、堅いスケール、充填砂利、地層の目詰まりしている場合は適さない。</p> <p>地上装置には、簡易やぐらと動力ウインチまたは、小型さく井機またはウインチを使用する。</p>	

図-8 ブラッシング洗浄

8. おわりに

今回の洗浄は一定の効果が発揮されたことから、井戸の機能保全に寄与することができたと考えており、施設管理者による今後の維持管理手法として提案していく。

謝辞： 本報告にかかる各種調査、技術指導にご協力いただいた関係各位に感謝の意を表する。

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（1998）p.95に追記