

青森県十和田市上水道水源井戸（上田川原水源深井戸）における
アクアフリード工法試験施工報告書

平成18年7月

青森県十和田市上下水道部水道課
アクアフリード工法技術協会

目 次

1 . はじめに	1
2 . アクアフリード工法試験施工を実施した井戸	1
3 . アクアフリード工法試験施工の内容と実施状況	3
3-1. 試験施工前の井戸状況の確認	3
3-2. ブラッシング洗浄とその後の井戸状況の確認	4
3-3. アクアフリード工法の施工とその後の井戸状況の確認	5
4 . アクアフリード工法の効果の評価	7
4-1. 揚水試験結果による評価	7
4-2. 閉塞物質の剥離効果 (ボアホールカメラによる目視観察結果)	10
5 . 水質のモニター結果	12
6 . あとがき	14

図 表 一 覧

図 - 1 井戸柱状図	2
図 - 2 水位降下量 s -揚水量 Q 関係図	8
図 3 井戸能力の経年変化	9
図 4 井戸から排出された水の水質測定結果	13
表 - 1 十和田市水源井戸アクアフリード実施工程	3
表 - 2 本井戸におけるこれまでの段階揚水試験結果一覧	8
表 3 定量揚水試験および水位回復試験から求められた水理定数の比較	10
表 4 今回の試験施工によるスリットの開口状況	12

1. はじめに

アクアフリード工法技術協会は、アクアフリード工法（井戸能力が低下した井戸に、液化・気化炭酸ガスを交互に注入し、井戸能力を回復させる工法）を東北管内で普及させることを目的に 2004 年 7 月に設立されました。本工法は、これまで青森県での施工実績が無く、今般、十和田市にお願いし、同市が保有する深井戸にて本工法の試験施工を実施すること、および、対象とする井戸の建設時や井戸改修時、そして、今回の試験施工結果に関するデータの公開についてもご許可いただき、アクアフリード工法の試験施工を実施する運びとなりました。

本報告書は、今回の試験施工結果についてとりまとめたものです。今回の試験施工をご許可いただき、そして、施工前や施工中にわたって、様々なご支援を頂いた十和田市上下水道部水道課の皆様、心からお礼を申し上げます。

2. アクアフリード工法試験施工を実施した井戸

- 1) 井戸の名称： 上田川原深井戸
- 2) 井戸所在地： 青森県十和田市大字赤沼上田川原地内
- 3) 井戸建設および改修履歴

昭和 46 年 6 月に竣工。昭和 57 年 6 月にジェットニング工法による井戸改修工事を行い、今回のアクアフリード工法試験施工が 2 回目の井戸改修工事。

- 4) 井戸構造

井戸径 350（掘削径 450）、井戸深度 180m。スクリーン長（スリットスクリーン 10 本）55m。井戸柱状図を図 - 1 に示す。



さく井柱状図

ボーリングNo. 0000000000

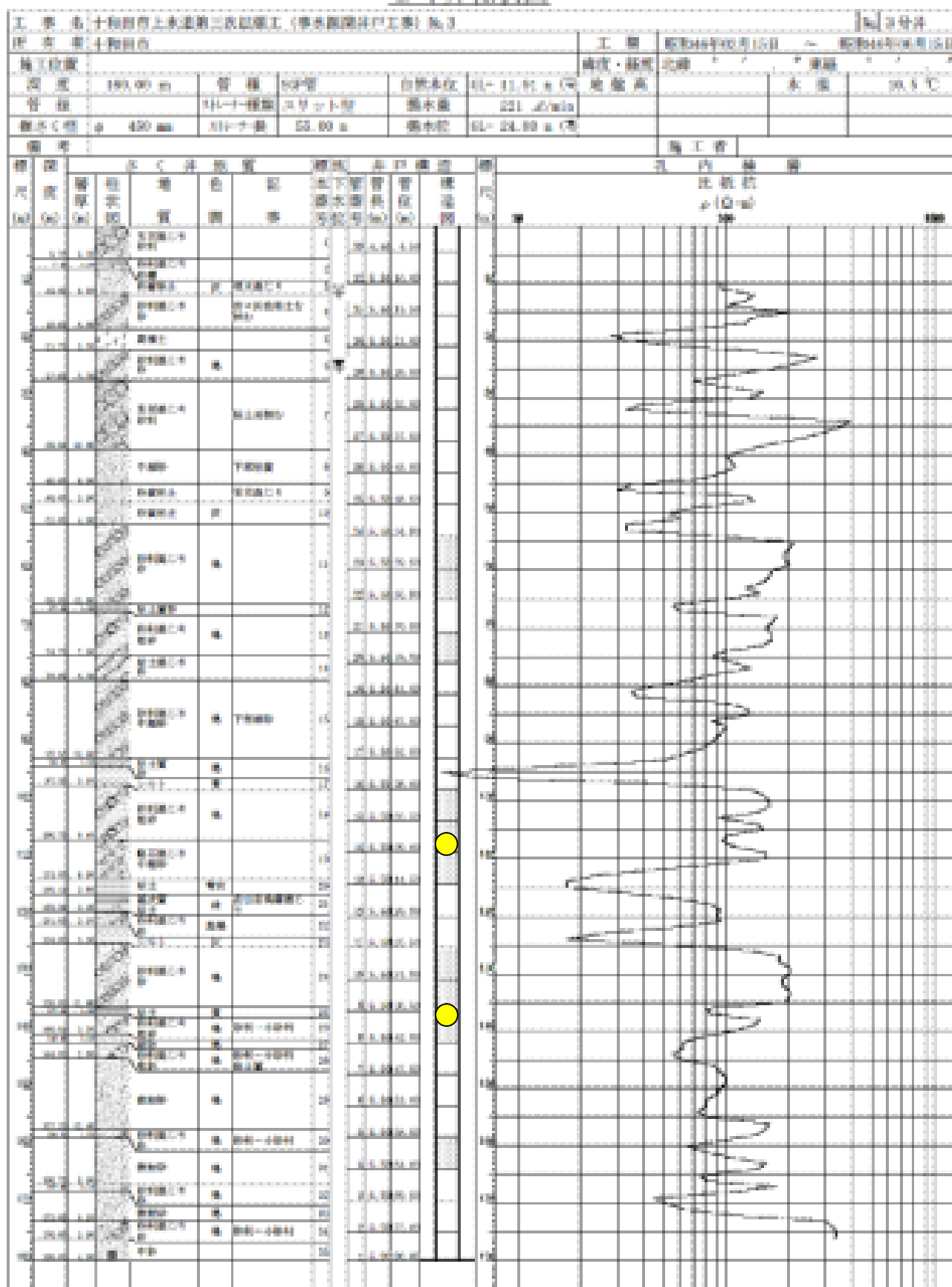


図 - 1 井戸柱状図
 (●の位置にアクリド工法の炭酸ガス注入管を設置。 ~ はスクリーン位置とNO.)

3. アクアフリード工法試験施工の内容と実施状況

試験施工は、本年6月8日に開始し、6月22日に完了した。その実施工程を表-1に示す。今回は、以下の2種類の井戸改修工法を適用した。

最初に井戸内のブラッシング洗浄作業（ごく一般的な井戸改修工法）を行った。

次にアクアフリード工法を施工し、再度ブラッシング洗浄でスケールをそぎ落とし、井戸底に降下したスケールなどをエアリフト工法にて井戸から排出した。

これらの2つの井戸改修作業の前と後、すなわち、最初のブラッシング洗浄の前（第1段階）、そして、ブラッシング洗浄後（第2段階）、さらに、アクアフリード工法施工後（第3段階）の3段階ごとに揚水試験とボアホールカメラによる井戸内観察を行い、井戸内の状況の変化と井戸の揚水能力の変化を把握し、2種類の井戸改修工法の効果を評価できるようにした。

また、これら各段階での揚水試験において、適宜井戸水を採取し、現場に持ち込んだ簡易水質試験装置にて水質（鉄、マンガン、pH）を測定した。

表-1 十和田市水源井戸アクアフリード実施工程

		2006年6月															
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
既設水中ポンプ引上げ・据付			引上げ													据付	
揚水試験			段階揚水試験		段階揚水試験							段階・定量揚水試験		段階・定量揚水試験			
ブラッシング				ブラッシング洗浄													
浚渫作業																	
井内撮影(ボアホールカメラ)				第1段階		第2段階						第3段階					
アクアフリード工法施工	パッカー設置																
	炭酸ガス注入																
	パッカー引上げ																
仮設：撤去		現場仮設															後片付・撤収
仮設ポンプ据付引上げ			据付	引上げ		据付	引上げ				据付		引上げ				

—: 予定工程 —: 実作業工程

3-1. 試験施工前の井戸状況の確認（第1段階； 6月10日～11日）

最初に既設の揚水ポンプ（日立製作所製 26Kw）を引き上げ、持参した仮設ポンプ（荏原製 37Kw）にて段階揚水試験を行い、現在の井戸能力の確認を試みた。その後、ボアホールカメラを降下させ、井戸内の観察を行い、井戸内の破損の有無やスクリーン位置、スケールなどの付着状況を確認した。結果は以下の通り。また、既設ポンプ引き上げ後の井戸底

の深度は、172.57mであった。

【既設揚水管と揚水ポンプの引き上げ】

既設揚水ポンプは、深度 35.75m に設置されていた。引き上げたポンプや揚水管には、写真 - 1、写真 - 2 に示すように、固結したスケール（赤茶けた鉄錆、黒色のマンガン錆など）がびっしりと貼り付いていた。これらのスケールは、長さ最大 4～5cm、厚さ最大 5mm 程度の薄板状にポンプや揚水管から剥離した。



写真 - 1 引き上げ直後の既設揚水ポンプ



写真 - 2 引き上げ直後の既設揚水管

【段階揚水試験】

仮設の揚水ポンプと揚水管を用いて、揚水ポンプを深度 49.0m に設置し、その後 0.4 トン / 分～2.4 トン / 分の 6 段階にて揚水試験を行った。その結果は後述する。

【ボアホールカメラによる井戸内観察】

井戸内のケーシングやスクリーンの破損は見当たらなかった。また、ケーシングやスクリーン部にスケールなどが固着しており、特に上から 5 本目のスクリーンまでスリットは完全にスケールで閉塞されていた。また、スリットの存在が把握できたのは、10 本のスクリーン中、上から 6 , 7 , 8 本目の 3 本のスクリーンのみであった。

3-2. ブラッシング洗浄（6月11日～12日）とその後の井戸状況の確認（第2段階；

6月12日～13日）

井戸内の仮設揚水管とポンプを引き上げ、その後、長さ 3m の円筒状の錘（おもり）の先端に外径約 360mm のワイヤホイールブラシを取り付け、これをパワーウインチを用いて、井戸底から井戸頭部までの上昇と降下を約 5 時間かけて繰り返し、井戸ケーシングやスリットスクリーンの内側をブラシ洗浄した。ブラッシングを行った後の井戸底深度は、172.05m まで上昇した。これは、ケーシングやスクリーンの内側に付着していた物が、ブ

ラッシングによってそぎ落とされ、井戸底に 50cm ほど堆積したことによる。

その後、仮設ポンプを据え付け、段階揚水試験を実施し、さらにボアホールカメラによる井戸内観察を行った。結果は以下の通り。

【ブラッシング洗浄】

ワイヤホイールブラシには、既設の揚水管やポンプに付着していたものと同様の固結したスケールが薄板状になって回収された(写真 - 3)。

【段階揚水試験】

仮設の揚水ポンプと揚水管を用いて、揚水ポンプを深度 49.0m に設置し、その後 0.4 トン/分～2.4 トン/分の 6 段階にて揚水試験を行った。その結果は後述する。

【ボアホールカメラによる井戸内観察】

ブラッシング洗浄を行った後においても井戸内のケーシングやスクリーンの破損は見当たらなかった。また、ブラッシング洗浄により、ケーシングやスクリーン内側に固着していたスケールがかなりそぎ落とされ、特に 2、3、4、5、9、10 本目のスクリーンにおいてもスリットの存在が確認できるようになった。



3-3. アクアフリード工法の施工(6月14日～17日)とその後の井戸状況の確認(第3段階; 6月18日～6月20日)

アクアフリード工法:(工法の詳細は、巻末資料を参照されたい。)

ブラッシング洗浄の前においてもボアホールカメラにより比較的スリットが明瞭に確認できた 6、7、8 本目のスクリーン部を現在の井戸の主要な取水対象深度と判断し、4～6 本目のスクリーンと 7～9 本目のスクリーンを対象に炭酸ガスを注入することにした。

最初に 7～9 本目のスクリーンを対象として炭酸ガス注入管を深度 138.1m まで降下させ、油圧ポンプを用いて外径 340mm のゴムディスクで構成された特殊パッカーを深度 12m で井戸ケーシングに固着した。6月15日朝 9:50 から注入圧約 1.4MPa で気化炭酸ガスと液化炭酸ガスを交互に注入し、10:30 までの 40 分間で炭酸ガス総量 1.16ton を注入し、この深度での作業を終えた。

その後、井戸内に充満した炭酸ガスを放出し、パッカーと注入管を引き上げ、改めて深度 108.1m に注入管を設置し(4～6 本目のスクリーンを対象) 特殊パッカーを深度 12m に固着させて、同日 11:53 から 2 回目の炭酸ガス注入作業を開始した。炭酸ガスがなかなか入りづらく、1.7MPa の注入圧に上げて最初の約 20 分間は炭酸ガスがほとんど注入できなかった。その後、炭酸ガスが入り始め、12:33 までに 348kg を注入して作業を完了した。従って、この井戸での総注入量は約 1.5ton であった。

アクアフリード工法を実施した翌日(6月16日)に、ブラッシングを 8 時間かけて行った。その後、井戸底深度を測定したところ 171.70m であり、アクアフリード工法による井

戸洗浄によってそぎ落とされた物質が井戸底に約 40cm 堆積したことになる。

さらに、エアリフト（6月17日）により10時間かけて井戸底の堆積物を排出させた結果、井戸底の深度は、180.9m となり、ほぼ建設当初の井戸深度までに戻ったと判断した。

アクアフリード工法施工後の井戸状況確認

上記の作業を行った後、仮設ポンプを据え付け、段階揚水試験と定量揚水試験を実施し、さらにボアホールカメラによる井戸内観察を行った。結果は以下の通り。

【ブラッシング洗浄】

ワイヤホイールブラシには、炭酸ガス注入前のブラッシングと同様の固結したスケールが薄板状になって回収された（写真 - 4）。

【エアリフトによる井戸内浚渫】

エアリフトによって黒く濁った濁水とともに固結したスケール片や砂が井戸から排出された（写真 - 5）。

【揚水試験】

エアリフトを施工後、揚水ポンプを深度 49m に設置し、その後 0.4 トン / 分 ~ 2.4 トン / 分の 6 段階にて揚水試験を行った。また、2 トン / 分の揚水量に固定して 8 時間の定量揚水試験と回復試験を実施した。それらの結果は後述する。

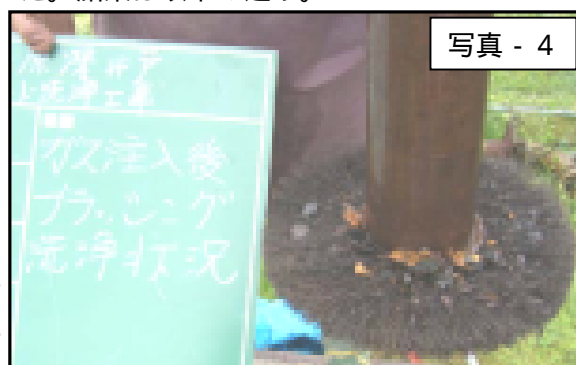
【ボアホールカメラによる井戸内観察】

アクアフリード工法施工後においても井戸内のケーシングやスクリーンの破損は見当たらなかった。1 本目のスクリーンだけはスリットを確認できるには至らなかったが、他のスクリーンにおいてはスリットの形状が明確になり、また、そのほとんどでスリット奥の充填砂利までを確認できるようになった。

なお、6月20日午前中にこのボアホールカメラによる井戸内観察を実施したが、その際に井戸底が 163.8m となっていることが確認された。従って、エアリフト浚渫作業（実施日 6月17日）後の2日間の揚水試験によって、井戸底に再度 17m ほどの厚さで沈殿物が堆積したことになる。そこで、6月20日午後5時間、そして、6月21日午前3時間かけて2回目のエアリフト浚渫作業を実施し、井戸底深度が 180m となったことを確認してから既設の揚水ポンプを据え付けて、全ての作業を完了させた。

この2回目のエアリフト浚渫作業で、井戸内から大量の細砂（粒径 1mm 以下）が上がってきた。これは、アクアフリード工法によってスリットが開口し、裏側の未固結な地層も洗浄・攪拌され（炭酸ガス注入による爆発的なエネルギーの発生によって）、揚水試験の際に、地層内の細粒分がスリットを通して井戸内に運び込まれたことによると推察される。

なお、第1回目のエアリフト浚渫後の揚水状況とその際の水の濁りなどを整理すると以下



のようであった。

6月17日夕方の予備揚水： 第1回目のエアリフト浚渫後、深度49.0mに仮設ポンプを設置して、2トン/分の揚水量で予備揚水を実施した。細かな砂が大量に汲み上げられ、水は濁っていたが、徐々に濁りが消え、ほぼ透明になった時点で予備揚水を終了。この揚水に要した時間は1時間であった。

6月18日の段階揚水試験： 揚水量400リッター/分、800リッター/分でそれぞれ1時間かけて揚水した際には、濁りはなく透明であった。1,200リッター/分に揚水量を上げると濁りが出始め、約20分後には透明な水に戻った。その後、1,600リッター/分、2,000リッター/分、2,400リッター/分と揚水量を上げて試験を行ったが、いずれの場合も、最初は濁った水が排出され20分後には透明な状態に戻った。

6月19日の定量揚水試験： 朝から2,000リッター/分の揚水量で定量揚水試験を8時間かけて実施した。その際には、排出された水に全く濁りはなく、透明であった。

4. アクアフリード工法の効果の評価

今回実施した試験施工において、最初のブラッシング洗浄の前(第1段階)、そして、ブラッシング洗浄後(第2段階)、さらに、アクアフリード工法施工後(第3段階)のそれぞれの段階で揚水試験とボアホールカメラによる井戸内観察を行い、井戸内の状況の変化と井戸の揚水能力の変化を把握した。これらの結果から、2種類の井戸改修工法の効果を評価してみる。

4-1. 揚水試験結果による評価

本井戸の井戸建設当初(昭和46年6月完工)、および、昭和57年6月のジェットニング工法による井戸改修工事前後、そして、今回の3つの段階で実施された段階揚水試験の結果を整理すると表-2のようになる。

今回の改修工事における3段階の揚水試験結果の詳細は、巻末に収めた。また、井戸建設当初、および、第1回改修工事前後の揚水試験結果は、「上田川原水源深井戸復元工事 報告書 昭和57年6月 昭和鑿泉株式会社」より転記したものである。この中で、昭和57年6月のジェットニング工法施工前の段階揚水試験結果は、2,268トン/日の揚水量で19.6mの水位降下量としているが、実際には「既設の揚水ポンプを使用しての揚水試験で井戸内に種々のコードが残されており、詳細な水位測定ができなかった」旨の記述があり、その値は推定値としているので信憑性は乏しい。

表-2の上段は、揚水量と水位降下量の関係を示しており、下段は各揚水量毎の比湧出量(=揚水量/水位降下量)を整理したものである。この比湧出量は井戸の揚水能力を表す代表的な値である。なお、建設当初、ジェットニング工法施工後、および、今回の3つの段階での段階揚水試験結果から、揚水量と水位降下量の関係をプロットしてみると(図

2)概ね45度の直線に乗り、限界揚水量は現れなかったため、表-2の下段の表から、それぞれの時点での比湧出量の平均値を求め最下段に記載した。

表 - 2 本井戸におけるこれまでの段階揚水試験結果一覧

段階揚水試験揚水量 (トン/日)	井戸建設当初 1971年6月	第1回改修工事 ジェットング工法		今回の改修工事		
		事前	事後	事前	ブラッシング 後	アクアフリード 工法後
		1982年6月		2006年6月		
水位降下量(m)						
576				3.2	3.58	3.14
761			2.38			
1045	4.63					
1152				7.04	7.21	6.82
1425			4.86			
1728				11.01	11.29	10.67
2133	9.46					
2268		19.6	8.35			
2304				15.95	15.9	14.47
2552	11.62					
2880				19.76	20.31	18.09
3015	14.26		13.74			
3456				23.33	23.71	21.54
4094	17.79					
揚水量	比湧出量(トン/日/m)					
576				180	161	183
761			320			
1045	226					
1152				164	160	169
1425			293			
1728				157	153	162
2133	225					
2268		116	272			
2304				144	145	159
2552	220					
2880				146	142	159
3015	211		219			
3456				148	146	160
4094	230					
平均比湧出量	222	116	276	156	151	166

この平均比湧出量が本井戸の経年の井戸能力を表現するものと考え、井戸建設後の年数と平均比湧出量の関係をプロットしてみた(図3)

同図の赤い線は、これまでの揚水試験結果を忠実に追いかけた線である。この図で、昭和57年のジェットング工法実施前の比湧出量(116トン/日/m)は、前述したように信憑性の乏しい値である。ジェットング工法はスクリーン部の内側に圧力を噴射してスクリーン部の目詰まりを除去する工法である。この工法によって、スクリーンの外

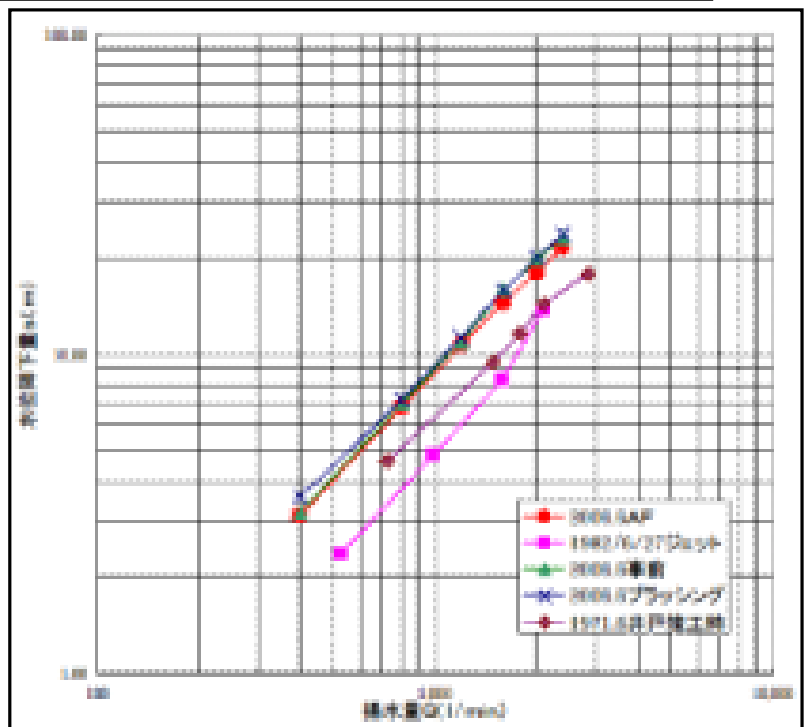


図 - 2 水位降下量 s -揚水量 Q 関係図

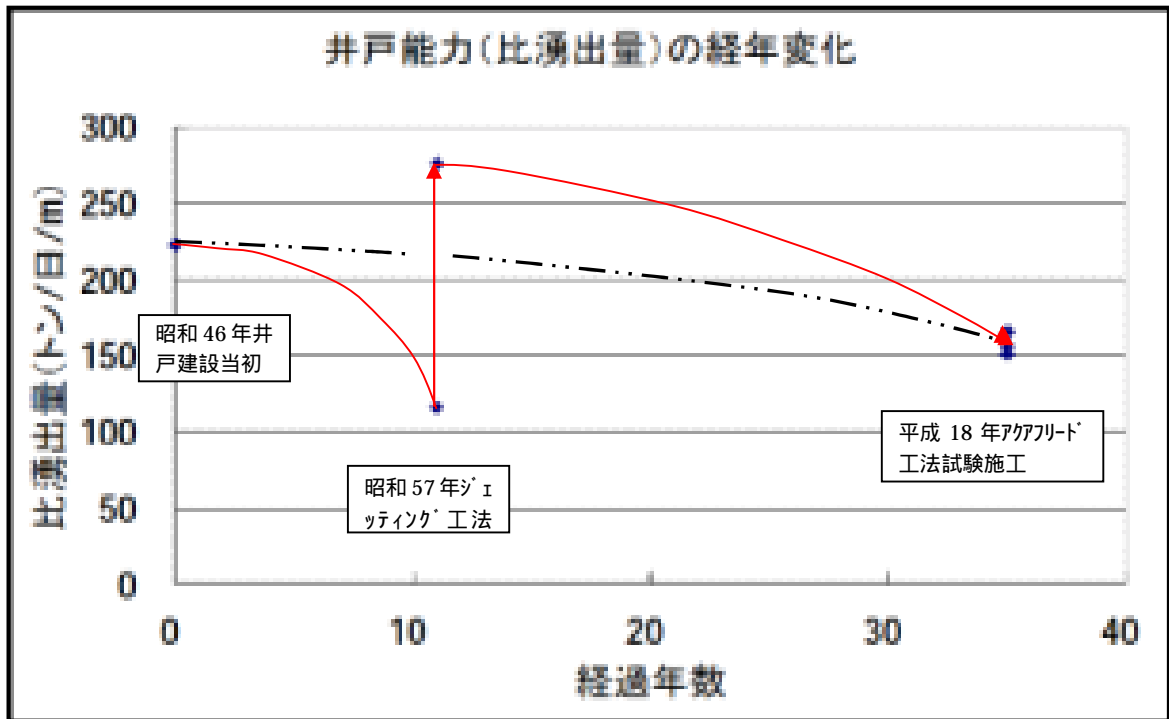


図 3 井戸能力の経年変化

側の充填砂利や帯水層までを洗浄できるとは考えにくいのだが、ジェットング工法施工後の比湧出量（276 トン/日/m）が井戸建設時の比湧出量（222 トン/日/m）を大きく上回る結果となったことは驚きと云わざるを得ない。なお、井戸能力の経年変化は、単に段階揚水試験の結果だけでなく、井戸の揚水管理データなども参考にして、もっと実際に近い経年変化を推定すべきであり、図 3 に記入した朱色の線等は、その検討無しの正確さを欠く資料と見て頂きたい。

さて、揚水能力の回復といった面から、今回の2種類の工法の結果を見ると、次のように結論づけられる。

【ブラッシング工法】

比湧出量は事前の156 トン/日/m から事後の151 トン/日/m に、数値を見る限り減少する結果となったが、本井戸自体が現時点でも揚水能力に長け、揚水試験時の揚水量のコントロールがなかなか困難であったことを考えると、**比湧出量に有意な変化がなかった**と結論づけるべきと考える。

【アクアフリード工法】

比湧出量は事前の156 トン/日/m から事後の166 トン/日/m に上昇した。本井戸は、建設当初222 トン/日/m の比湧出量を持っていたが、**建設後35年間に緩やかに揚水能力を減少させ156 トン/日/m（建設当初の70.3%）となり、アクアフリード工法の施工によって74.7%まで井戸能力を回復できた**と云える。なお、過去に約70の井戸でアクアフリード工法を実施してきたが、施工前に比べ施工後の比湧出量は平均して約2倍に増加するという実績となっている。今回は増加率が1.06倍にとどまっており、その理由についてはさらなる検討を要するが、これまで施工してきた井戸のほとんどが、初期の揚水能力を5割以下（多くは3割以下）までに下げたいわゆる老朽化した井戸であり、今回の井戸のように建設後35年を経

ても初期の揚水能力の7割をキープし、かつ、2.4ト/分以上の限界揚水量を有する井戸は、アクアフリード工法の施工対象としては特異な井戸であったことも事実である。

今回の試験施工の最後に、定量揚水試験と水位回復試験を実施した。その結果から求められた透水量係数（T）と透水係数（K）を、井戸建設時およびジェットング工法施工後の試験結果と比較できる形にして表 3 にまとめた。

この表からも、ジェットング工法施工後に、井戸建設時に比べて透水量係数が大幅に増加しており、透水係数も2割程度増加していることがわかる。一方、今回のアクアフリード工法試験施工後の結果を見ると、透水量係数、透水係数とも井戸建設時の7割程度となっている。

表 3 定量揚水試験および水位回復試験から求められた水理定数の比較

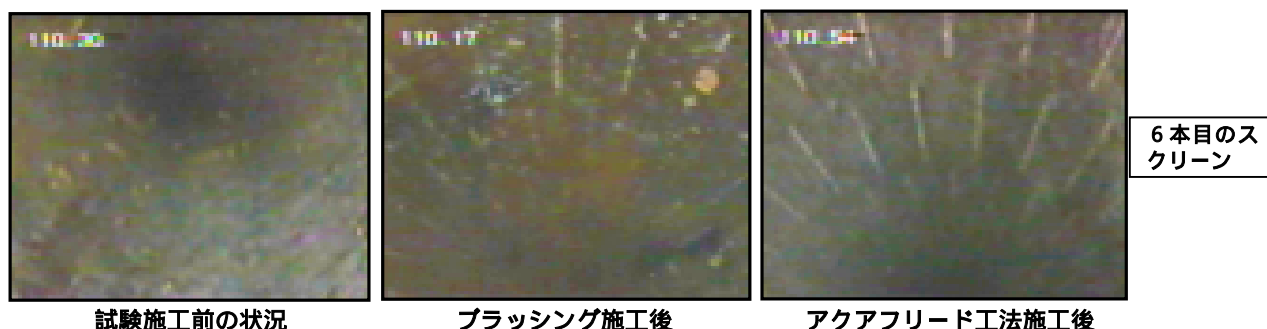
	井戸建設時 (1971年6月)		ジェットング工法施工後 (1982年6月)		今回のアクアフリード工法施工後 (2006年6月)	
	透水量係数	透水係数	透水量係数	透水係数	透水量係数	透水係数
定量揚水試験	4.35×10^{-3} m ² /sec	8.69×10^{-3} cm/sec	0.44m ² /sec	1.34×10^{-2} cm/sec	2.68×10^{-3} m ² /sec	5.37×10^{-3} cm/sec
水位回復試験	-	-	0.32m ² /sec	9.57×10^{-3} cm/sec	3.18×10^{-3} m ² /sec	6.37×10^{-3} cm/sec

4-2. 閉塞物質の剥離効果（ボアホールカメラによる目視観察結果）

今回の試験施工前、ブラッシング施工後、および、アクアフリード工法施工後の3段階で井戸内にボアホールカメラを入れて、井戸内の状況をビデオ撮影した。ビデオ映像から特にスクリーン部に着目してスナップショット写真を切り出し、3段階毎の井戸内状況が対比できるように、ほぼ同一深度の写真を並べて整理し、巻末に収めたので参照頂きたい。

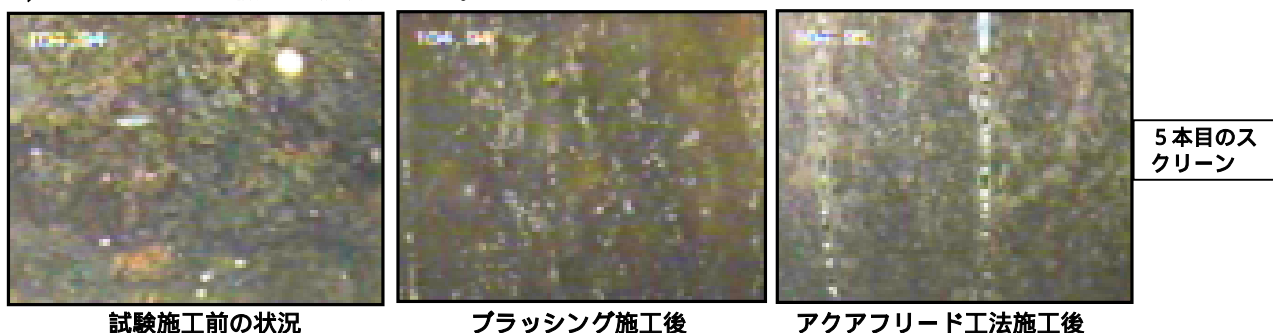
ここでは、いくつかの特徴的な写真を紹介し、アクアフリード工法の効果を述べる。

1) スクリーンのスリットが明瞭に確認できるまでに閉塞物質を除去できた。



上の写真は、深度 111.3m ~ 111.6m 付近で撮影した井戸内の状況である（写真の表示深度に 1.1m を加えたものが実深度）。6本目のスクリーンの内部を、斜め上から下を覗き込む形で撮影した写真であり、試験施工前には、スリットの存在が全くわからないほど閉塞物質が固着していたが、ブラッシングによりその約4割程度が、そして、アクアフリード工法によって千鳥配置したスリットの全てが確認できるまでに閉塞物質を削ぎ落とせた。

2) スリットの裏側まで洗浄できた。

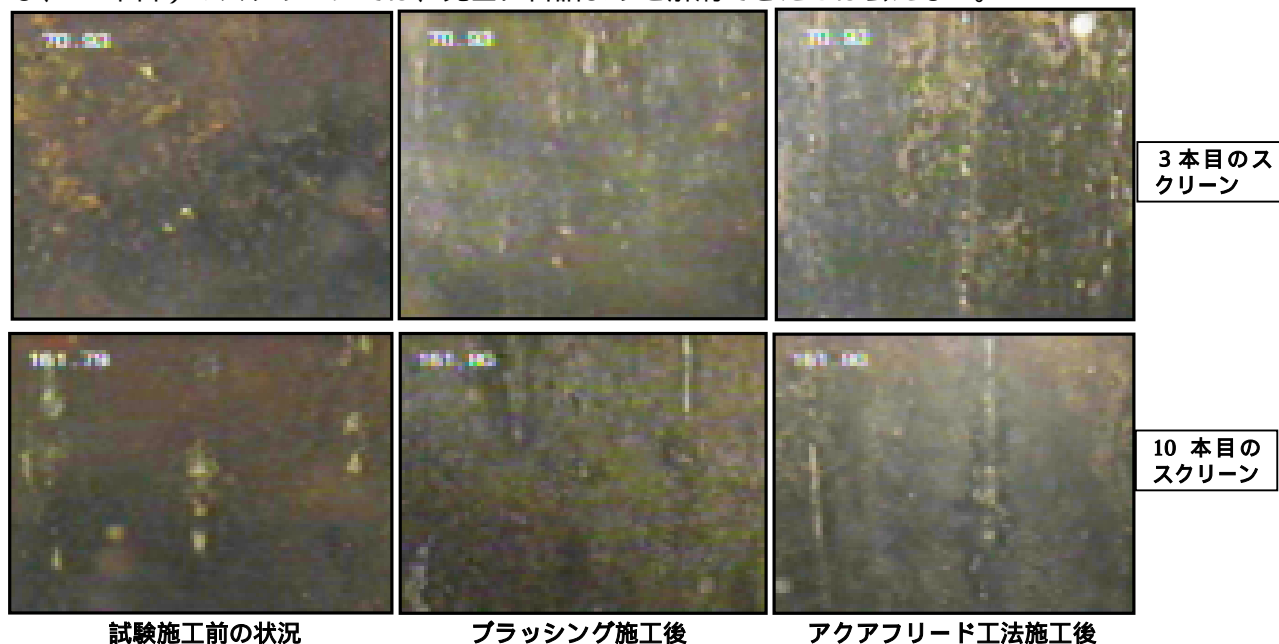


上の写真はいずれも5本目のスクリーンの内側を真横から撮影した写真である。6本目のスクリーンと同様に、試験施工前には、スリットの存在すら不明であったが、ブラッシング施工で縦に伸びるスリットがいくつか識別できるようになり、さらにアクアフリード工法によって全てのスリットが現れ、スリットを通して裏側の充填砂利までも確認できるようになった。このことから、炭酸ガスが充填砂利や周辺地層内まで浸透し、それらを洗浄できたものと評価できる。

3) 注入管設置深度付近以外のスクリーンも洗浄できた。

今回のアクアフリード工法試験施工では最初に7本目～9本目のスクリーンを対象に1.4MPaの注入圧で炭酸ガス1.16トンを、その後4本目～6本目のスクリーンを対象に1.7MPaの注入圧で炭酸ガス0.35トンを注入した。その結果、4本目から9本目の6本のスクリーンでは、上記1)と2)に述べたようにほとんどのスリットで目詰まりを解消できた。

また、炭酸ガス注入深度から33mほど上部にある3本目のスクリーンでもスリットの目詰まりを解消できたことが確認された(下の写真)。しかしながら、1本目、2本目(および、10本目)のスクリーンでは、完全に目詰まりを解消できたとは云えない。



ボアホールカメラによる目視観察結果から、スクリーンの目詰まり解消状況などを整理し、表 4 に示す。同表ではアクアフリード施工後の井戸内観察結果から、スクリーン毎のスケールの剥離や目詰まりの解消効果を、○、△、×の3段階で評価してみた。今回の試験施工では、炭酸ガス注入を行った周辺のスクリーンだけでなく、30m 以上上位にあるスクリーンにおいてもスケールの剥離・目詰まり解消効果が確認できた。

表 4 今回の試験施工によるスリットの開口状況

スクリーン NO.	スクリーン深度 (m)	施工前の状況	ブラッシング後の状況	アクアフリード施工後の状況
1 本目	54 ~ 59.5	スケールが固着し、スリットは確認できず	一部スケールを削ぎ落とせたがスリットは確認できず	左に同じ 効果 ×
2 本目	59.5 ~ 65	上に同じ	スケールが削ぎ落とせ、一部のスリットも確認できる	かなりのスリットでその位置が確認できる 効果
3 本目	70.5 ~ 76	上に同じ	上に同じ	かなりのスリットで充填砂利も確認できる 効果
4 本目	98 ~ 103.5	上に同じ	スケールを削ぎ落とし一部スリットも確認できる	スリットが明瞭に現れ、そのほとんどで充填砂利も確認できる 効果
5 本目 (炭酸ガス注入)	103.5 ~ 109 (108.1m)	上に同じ	上に同じ	上に同じ 効果
6 本目	109 ~ 114.5	開口したスリットも確認できる	スケールを削ぎ落とし、かなりのスリットが確認できる	上に同じ 効果
7 本目	125.5 ~ 131	上に同じ	上に同じ	上に同じ 効果
8 本目	131 ~ 136.5	上に同じ	上に同じ	上に同じ 効果
9 本目 (炭酸ガス注入)	136.5 ~ 142 (138.1m)	スケールが固着し、スリットは確認できず	スリット位置がおおよそ判断できる	上に同じ 効果
10 本目	158.5 ~ 164	上に同じ	上に同じ	スリット位置のほとんどが確認できるが、充填砂利までは見えない 効果

5 . 水質のモニター結果

簡易原位置水質試験装置 (迅速水質計 HACH 社製 DR/890) を現場に持ち込み、各段階で井戸から排出される水の水質測定を行い、井戸の水質変化をモニターした。測定項目は、pH、鉄分含有量 (Fe)、マンガン含有量 (Mn) の3項目である。

測定のタイミングは、施工前の段階揚水試験時(6月10日)に井戸から排出された水、

最初のブラッシング洗浄後の段階揚水試験時(6月12日)に井戸から排出された水、その後6月14日から6月17日にかけてアクアフリード工法の試験施工を行い、翌日18日の段階揚水試験の際に井戸から排出された水、翌々日19日の定量揚水試験の際に排出された水、そして、最後に水質の回復度を確認するために6月20日朝にも試験揚水を行い測定を行った。これらの測定結果を図 - 4 に示す。

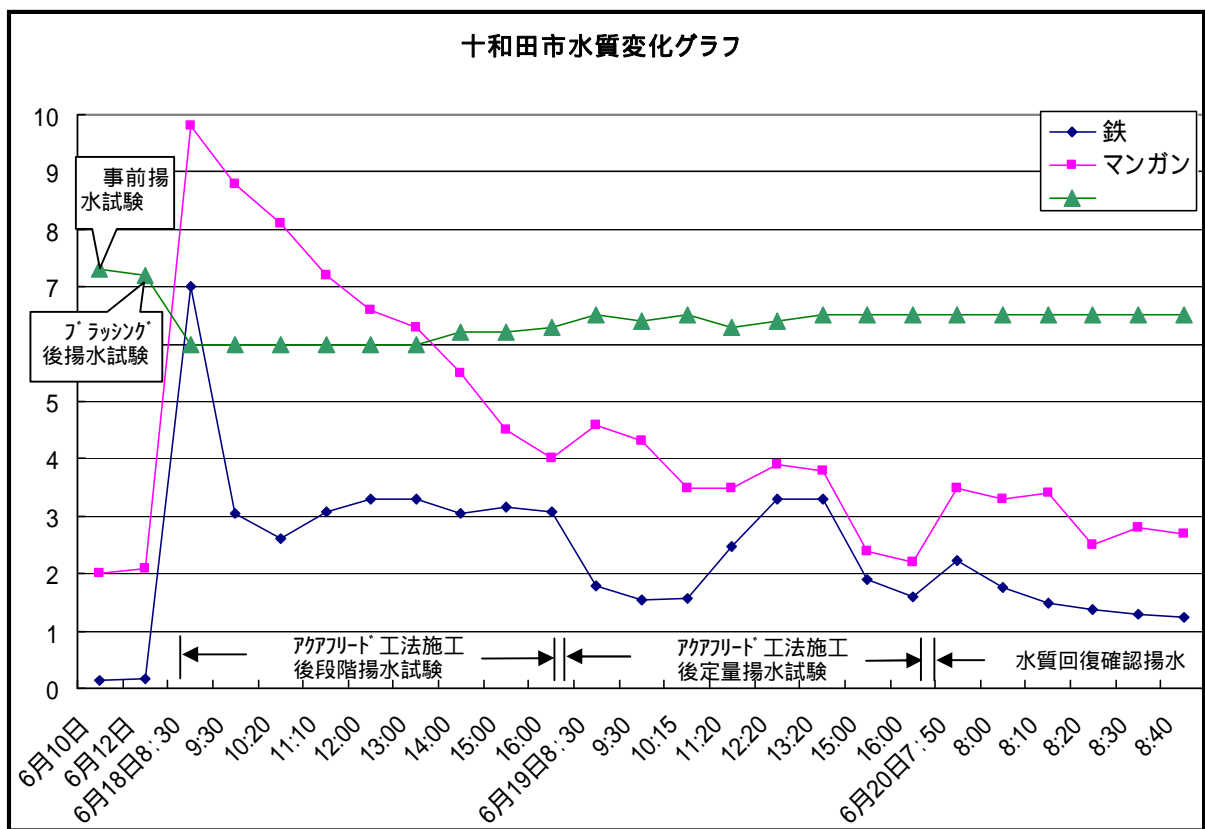


図 4 井戸から排出された水の水質測定結果
 (横軸：採水日時。縦軸の単位；鉄分含有量とマンガン含有量はmg/l、pHは無単位)

それぞれの時点での水質の変化状況は以下の通り。

試験施工前の最初の段階揚水試験で、初期値としての水質を測定した。Fe が 0.14mg/l、Mn が 2.0mg/l、そして pH が 7.3 であった。

最初のブラッシング洗浄後の段階揚水試験時に採水し、測定した。Fe が 0.16mg/l、Mn が 2.1mg/l、そして pH が 7.2 とわずかに変化しただけであった。

4日間のアクアフリード試験施工(約 1.5 トンの炭酸ガスを注入し、井戸内をブラッシング洗浄し、そして、エアリフト浚渫を行った)後に、仮設揚水ポンプを挿入し、6月18日8時から段階揚水試験を開始した。8:30のデータは400リッター/分、9:30は800リッター/分、10:20は1200リッター/分、11:10と12:00は、1600リッター/分、13:00は2000リッター/分、そして、14:00は2400リッター/分の揚水量汲み上げ時のデータである。8:30時点でFe7.0mg/l、Mn9.8mg/lとそれぞれ初期値の50倍、および、4.9倍の含有量に増加していたが、その後の5時間半の揚水により次第に低減し、14:00時点ではFe3.06mg/l、Mn5.5mg/lとなった。依然として含有量が大いので、段階揚水試験に引き続き、揚水量を約2000リッター/分に絞って2時間連続揚水を行った。結果、同日16:00時点でFe3.09mg/l、Mn4.0mg/lとなった。

6月19日8:00から16:00まで、揚水量2000リッター/分での連続揚水試験を実施した。この間、1時間から1時間40分の間隔で水質測定を行った。8:30の測定でFeは1.78mg/lと前日の最終値より下がったが、Mnは4.6mg/lと逆に大きくなった。その後、どちらも上下の変化はあるものの、次第に低下し、16:00時点でFeは1.58mg/l、Mnは2.2mg/lとなった。

前日、約 16 時間揚水を停止した結果、Mn の濃度が上昇した事もあり、このような状況を確認するために 6 月 20 日朝 7:30 から再度 1 時間の試験揚水を行った。揚水量 2000 リットル/分にして揚水し、7:50 から 10 分ごとに水質を測定した結果、Fe は 2.23 ~ 1.23mg/l に、そして、Mn は 3.5 ~ 2.7mg/l となった。

なお、pH は、初期値 7.3 であったが、アクアフリード工法施工後に 6 まで下がり、段階揚水試験や連続揚水試験の間に徐々に上昇し、6 月 20 日朝の時点で 6.5 となった。

十和田市上下水道部水道課芳川原浄水場に、上記の水質の変化状況を報告し、揚水によって水質が徐々に初期値に近づく傾向が明瞭なこと、そして、現時点での水質でも浄水場の処理施設にて十分に処理可能であるとのこと判断を頂き、仮設ポンプを引き上げ、既設のポンプ・揚水管の据え付けを行った。

6 . あとがき

今回のアクアフリード工法試験施工により、施工前に確認した比湧出量 156 トン/日/m が施工後 166 トン/日/m に増加した。施工前から施工後の比湧出量の増加率は 1.06 倍となったが、これはこれまでのアクアフリード工法施工実績（約 70 井戸で平均して約 2 倍の増加率）に比べるとかなり低い値に止まった。

一方、井戸内の閉塞物質の剥離状況を見ると、井戸内に設置されている 10 本のスクリーンの内、上から 3 本目 ~ 9 本目（深度 70.5m ~ 142m に設置）の 7 本のスクリーンにおいてほとんどのスリットの閉塞物質を除去でき、スリットを通して裏側の充填砂利まで確認できるようになったことが施工前と施工後のボアホールカメラによる井戸内観察から明らかとなった。このことから井戸を再活性させ、現在の井戸の揚水能力を今後かなりの期間維持できる状態を形成できたと評価できる。

今回の試験施工により、ブラッシング工法を単独で実施した場合とアクアフリード工法を実施した場合の井戸改修効果に関する比較データを取得することができた。また一般に、井戸改修工法を適用した場合、井戸から排出される水の水質が変化するという問題があるが、今回、アクアフリード工法施工後の水質を様々な段階で測定し、その回復状況を知る貴重なデータも取得することができた。

今後多くの井戸保有者に今回の試験施工結果を参考にいただき、アクアフリード工法が老朽化した井戸の改修工法として数多くの井戸に適用されることを心から期待する次第である。

最後に、今回のアクアフリード工法試験施工を実施するに当たり、快く井戸を提供頂き、そして現地での作業を親切にご支援いただいた十和田市に対して、深甚なる感謝の意を表します。