

秋田県東成瀬村消雪用水源井戸における
アクアフリード工法試験施工報告書

平成19年9月

東成瀬村産業建設課
株式会社 自然科学調査事務所
アクアフリード工法技術協会

目 次

1 . はじめに	1
2 . アクアリド® 工法試験施工を実施した井戸	1
3 . アクアリド® 工法試験施工の内容	3
3-1. 炭酸ガス注入状況	3
4 . アクアリド® 工法の効果の評価	4
4-1. 揚水試験結果による評価	5
4-2. 閉塞物質の剥離効果（ポアホール法による目視観察結果）	7
5 . あとがき	12

図 表 一 覧

図 - 1 井戸位置図	1
図 - 2 井戸柱状図	2
図 - 3 炭酸ガスシリンダーを用いたガス注入システムの概要図	3
図 4 2号井戸の揚水量と水位降下量の関係図	6
図5 - 1 ~ 図5 - 4 ポアホール法による井戸内観察結果	8 ~ 11
表 - 1 アクアリド® 工法試験施工の作業内容	3
表 2 井戸建設当初、アクアリド® 工法施工前と施工後の段階揚水試験結果	5
表 - 3 各段階毎の比湧出量算出結果	5
表 4 ポアホール法で観察された閉塞物質などの付着状況	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。平成19年5月に開催された協会の通常総会に於いて、これまでアクアフリード工法の施工実績が全くない秋田県内で今年度試験施工する計画が承認され、秋田県の協会員に適切な井戸を探していただくことをお願いしておりました。

今般、(株)自然科学調査事務所が平成11年10月に秋田県東成瀬村岩井川地内で掘削した消雪用水源2号井戸の改修工事が東成瀬村から発注になり、(株)自然科学調査事務所が改修工事を施工することになったことを機に、同社を通して東成瀬村に改修工事の中でアクアフリード工法を実施させてもらうことをお願いし、同村のご了解をいただいた。また、対象とする井戸の建設時、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ったものです。

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あり、今回の試験施工をご許可いただいた東成瀬村産業建設課、そして、アクアフリード工法の試験施工に対して全面的なご支援を頂いた(株)自然科学調査事務所の皆様に、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： 村道上野環状線（1工区）消融雪水源井戸2号
- 2) 井戸所在地： 秋田県雄勝郡東成瀬村岩井川地内（図-1に井戸位置を示す）
- 3) 井戸建設および改修履歴

平成11年10月に竣工。その後、井戸改修工事は行っていない。

- 4) 井戸構造

井戸径 200（掘削径 350）、井戸深度 109.7m。

ストレーナ長（巻線スクリーン 7本）38.5m。井戸柱状図を図-2に示す。



図 1 井戸位置図

さく井柱状図

ボーリング図 No. 10000000000

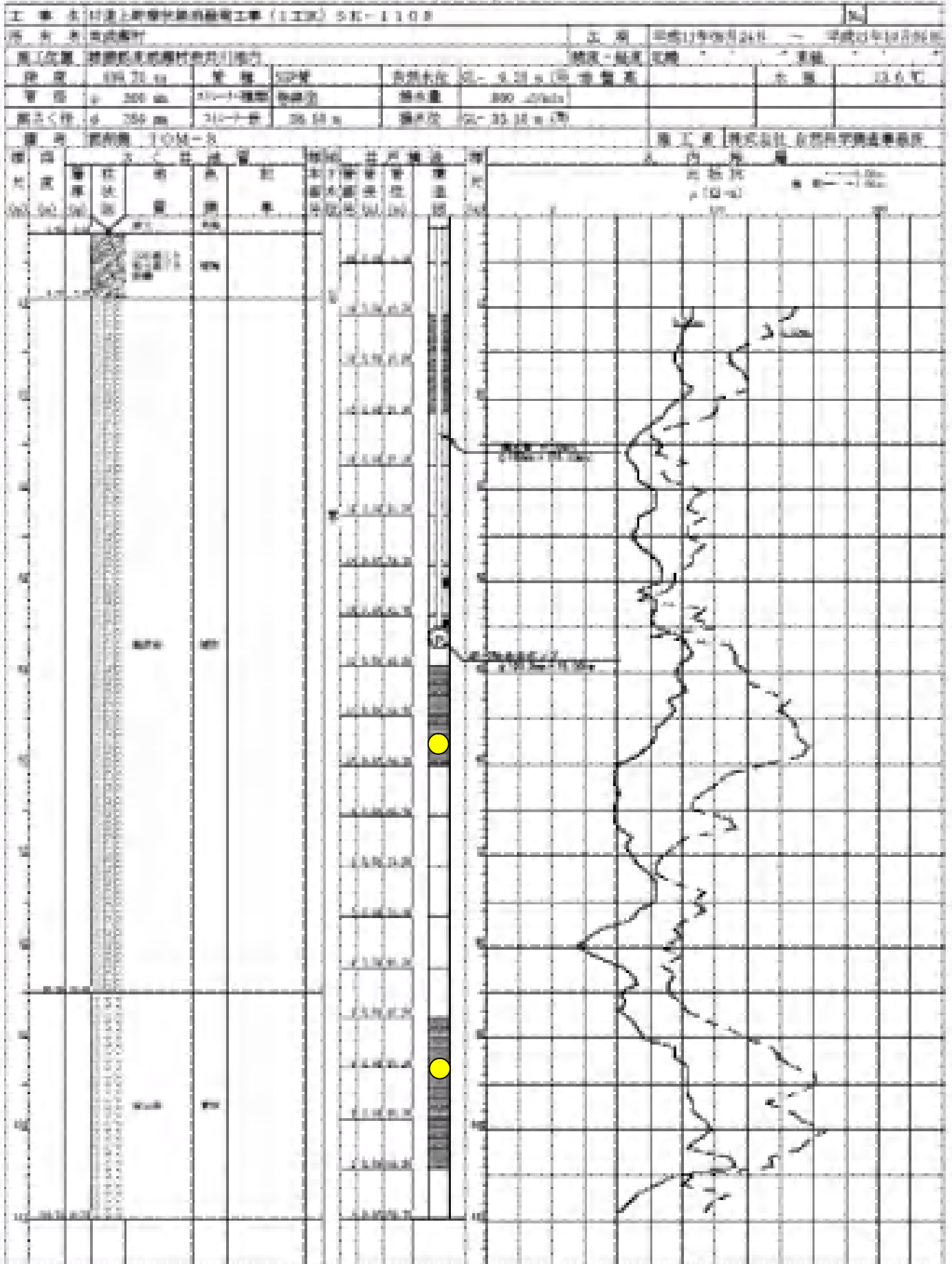


図 - 2 井戸柱状図

(●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番号)

3. アクアフリード工法試験施工の内容

今回アクアフリード工法の試験施工を行った井戸は、本来一般的な井戸改修工事を実施する予定の井戸であり、それに追加する形でアクアフリード工法を実施した。実際の施工内容と実施日を表 - 1 に示す。本来の改修工事仕様に追加して実施した作業は太枠で囲んだ項目であり、改修工事前と改修工事後のホールカメラによる井戸内の観察（孔内撮影）とアクアフリード工法（パッカ設置および液化・気化炭酸ガス注入）の作業である。

表 1 アクアフリード工法試験施工の作業内容

	実施日
事前揚水試験	平成 19 年 7 月 30 日
水中モーターポンプ引上げ	7 月 30 日
孔内撮影	8 月 1 日
ブラッシング	8 月 1 日
パッカ設置	8 月 2 日
炭酸ガス注入 (アクアフリード工法)	8 月 2 日(木)～ 3 日(金) 現地にてアクアフリード工法見学会を開催
ブラッシング	8 月 4 日
スワッピング	8 月 6 日
エアリフト	8 月 7 日
孔内撮影	8 月 10 日
水中モーターポンプ設置	8 月 16 日
揚水試験	8 月 16 日
本設	8 月 17 日

3-1. 炭酸ガス注入状況

通常のアクアフリード工法においては液化炭酸ガスを 10 トンタンクローリーで現場まで搬入し、気化器とコントロールユニットを接続して、液化・気化炭酸ガスを交互に井戸内に送り込む操作を行うが、今回の現場では周辺にタンクローリーを長時間駐車できるスペースが無く、炭酸ガスシリンダーを現場に持ち込み（使用したシリンダーは、液体用 160kg 3 本、気体用 30kg 50 本）、炭酸ガスシリンダー用注入システムを用いて、井戸内に液化炭酸ガスと気化炭酸ガスを交互に送り込んだ。

炭酸ガスシリンダー-用注入システムの概要図を図 3 に示す。

本井戸には3深度に巻線スクリーンが配置されているが、上部のスクリーン(深度10.7m~21.7m)は揚水水位より上部にあると考えられるので洗浄の対象とはせず、中間のスクリーン(深度49.2m~60.2m)と最下部のスクリーン(深度87.7~104.2m)を対象に炭酸ガスの注入を行った。

深度5mにパッカーを設置し、最初(8月2日午前)は深度93mに注入管先端を設置し(最下部のスクリーンが対象)約2時間かけて合計1,080kgの炭酸ガスを注入した。2回目(8月3日午前)はパッカー深度5m、注入管先端を深度58mに設置し(中間のスクリーンが対象)約1時間20分かけて合計500kgの炭酸ガスを注入した。従って、本井戸に注入した炭酸ガスの総量は1,580kgとなる。

各ステージでの炭酸ガス注入記録を巻末資料に収めた。

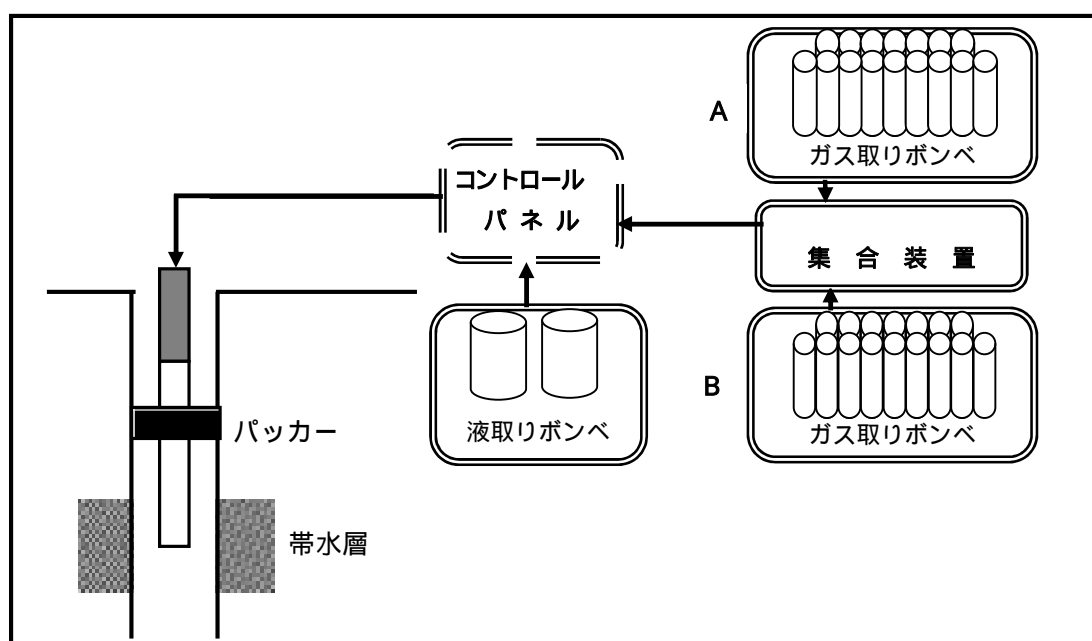


図 - 3 炭酸ガスシリンダーを用いたガス注入システムの概要図

4. アクアリフト工法の効果の評価

今回アクアリフト工法の試験施工を実施させて頂いた井戸において、先に一般的な洗浄工法を実施し、ホアールカマによる井戸内観察や揚水試験を実施して一般的な洗浄工法の改修効果を評価し、その後にアクアリフト工法を実施してその改修効果を評価すれば、一般的な洗浄工法とアクアリフト工法の改修効果を直接的に比較できたのだが、作業工程の関係でそれができなかった。従ってここでは、アクアリフト工法の施工前と施工後の揚水試験とホアールカマによる井戸内観察結果から本工法の井戸改修効果を検討する。

なお、(株)自然科学調査事務所では、本2号井戸の改修工事に先立ち、本年7月から8月にかけて1号井戸においても一般的な洗浄工法による井戸改修工事を実施している(1号

井戸の位置は図 1 に示した。洗浄工法の内容は、ブラッシングとスピンングによるスクリーン部の洗浄、および、エアリフトによる井戸底の浚渫である。これらの洗浄工法の施工前と施工後に段階揚水試験を実施しているため、その段階揚水試験結果も巻末資料として納めた。井戸自体が異なるので直接的な比較データにはならないが、一般的な改修工法とアクアリード工法の改修効果を比較する参考資料として見ていただきたい。

4-1. 揚水試験結果による評価

東成瀬村からご提供いただいた本井戸の井戸建設当初（平成 11 年 9 月）の段階揚水試験記録と今回実施したアクアリード工法施工前と施工後の段階揚水試験の結果を表 2 に整理した。なお、本井戸は建設後約 8 年を経ているが、この間、井戸改修工事や水中ポンプの交換作業などは実施されていない。

表 2 井戸建設当初、および、アクアリード工法施工前と施工後の段階揚水試験結果

揚水量 (m ³ /日)	井戸建設直後		アクアリード工法施工前		アクアリード工法施工後	
	平成 11 年 9 月 29 日		平成 19 年 7 月 30 日		平成 19 年 8 月 16 日	
	揚水水位(-m)	水位低下量(m)	揚水水位(-m)	水位低下量(m)	揚水水位(-m)	水位低下量(m)
自然水位	9.2	-	12.4		14.56	
288	15.42	6.22	13.9	1.5	15.19	0.63
576	21.34	12.14	16.6	4.2	15.76	1.2
864	26.96	17.76	19.12	6.72	17.69	3.13
1152	33.08	23.88	23.78	11.38	21.61	7.05
1238.4	38.1	28.9	湧水		26.45	11.89

井戸の揚水能力を表す一つの指標に比湧出量がある。これは、水位低下量 1 m 当たりの揚水量であり、表 2 の試験結果から各段階毎の比湧出量を計算した結果を表 3 に示す。また、図 4 は、表 2 の揚水量と水位低下量の関係を図化したものである。

表 - 3 各段階毎の比湧出量算出結果

揚水量 (m ³ /日)	比湧出量 (m ³ /日/m)		
	井戸建設直後	AF 工法施工前	AF 工法施工後
自然水位	-9.2m	-12.4m	-14.56m
288	46.3	192.0	457.1
576	47.4	137.1	480.0
864	48.6	128.6	276.0
1152	48.2	101.2	163.4
1238.4	42.9	湧水	104.2
平均	46.7	139.7	296.1

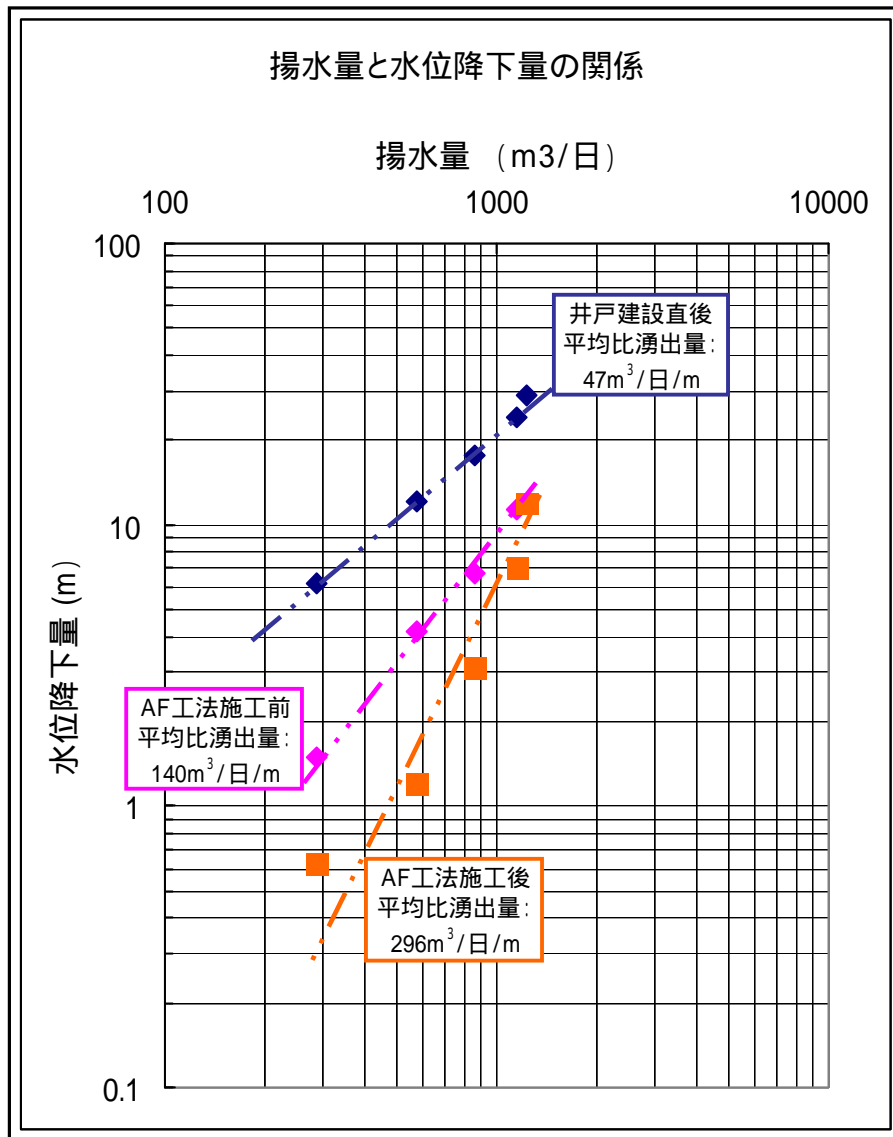


図 4 2号井戸の揚水量と水位低下量の関係図

これらのデータから、本井戸の比湧出量（段階揚水試験での各段階の平均値）は、井戸建設時の $47\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ から、約8年を経た今回の井戸改修工事前には $140\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ と約3倍増加し、その後のアクリド工法施工によって $296\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ とさらに2.1倍増加したことがわかる。

一般に、井戸は建設後老朽化が進み、比湧出量も少しずつ低下していく。比湧出量は、水位低下量1m当たりの揚水量であり、この値が大きな井戸ほど少ない水位低下量で大量の水が取水できることを意味する。本井戸において建設後約8年を経て、井戸改修工事などその間全く行わなかったにもかかわらず、比湧出量が約3倍も増加した理由は定かではないが（井戸からの揚水によって凝灰岩内のみず道が開口・発達した可能性も考えられるが）、アクリド工法を施工した後は、比湧出量がさらに2.1倍増加したことから、アクリド工法の井戸能力回復効果が十分に発揮できたと評価できる。

因みに、アクリド工法をこれまで施工し、施工前と施工後に揚水試験を実施している57井戸での比湧出量増加率（施工後の比湧出量/施工前の比湧出量）は平均で2.1倍であり、本井戸でもこれまでの井戸同様の揚水能力改善効果が確認できたと云える。

4-2. 閉塞物質の剥離効果（ホアールカマによる目視観察結果）

アクリド工法は、炭酸ガスを井戸内に送り込みそれが急激な体積膨張を起こし、その際に生じる爆発的なエネルギーにより、井戸内のスクリーンとその外側の充填砂利、および、帯水層内の閉塞物質を破碎し、みず道の透水性を回復（あるいは増加）させる井戸改修工法である。

井戸内の閉塞物質の剥離効果を見るために、アクリド工法を施工する前（8月1日）と施工後（8月10日）の2回、Robertson Geologging 社製のホアールカマを井戸内に降下させて井戸内の観察と撮影を行った。井戸内の撮影結果は現場においてビデオテープに収録される。それを室内に持ち帰り、画像をDVDにコピーしたので、別途お渡しします。

最初の8月1日（アクリド工法施工前）の井戸内観察では、スケールなどの閉塞物質が井戸内の深部に行くほど分厚く付着し、その一部がカマの降下とともに削ぎ落とされカマの視界を徐々に悪化させた。深度65m付近からますます視界が悪化し、付着しているスケールの厚みも増してきたので、深度69.7mでカマをそれ以上降下させることを断念し引き上げた。従って、最下部のスクリーン（ 、 、 ）のアクリド工法施工前の状況を確認することはできなかった。

室内に持ち帰ったビデオテープを編集し、主にスクリーン位置のストップショット写真を切り出し、アクリド施工前と施工後の状況（ほぼ同一深度の撮影画像）を対比できるように並べたものを図5-1から図5-4に示す。

同図の左側は井戸柱状図と井戸構造図であり、その右側に写真が2列に並べてある。左列の写真がアクリド工法施工前、右列がアクリド工法施工後の写真である。並べてある写真はほぼ同一深度の写真であり、その位置が井戸構造図内の赤い楕円で示されている。写真の下には、スケールの付着状況等に関するコメントも記述した。


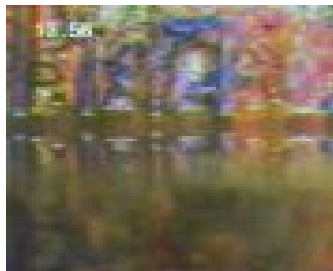


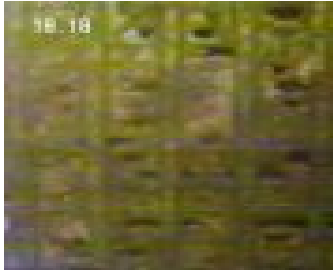


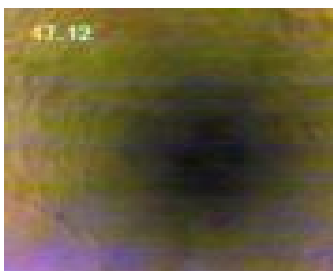
なお、施工前の井戸内観察結果から、本2号井戸は建設後約8年という比較的新しい井戸にもかかわらず、井戸内の閉塞物質の付着状況が激しい井戸という印象を持った。

アクリド施工前と施工後の井戸内観察から確認できたスクリーン部の閉塞物質付着状況、および、アクリド工法によるそれらの剥離効果などを表4に整理した。

以上、2号井戸で試験施工したアクリド工法の井戸改修効果を、施工前と施工後の揚水試験の比較、および、ホアールカマによる井戸内の観察結果から議論したが、当協会ではアクリド工法の井戸改修効果を客観的に評価するために、他の工法による改修結果も収集し整理している。これまで収集したデータを整理し、巻末資料に「3種類の改修工法による井戸改修効果の比較図」も納めたので参考にさせていただきたい。

井 内 撮 影 記 録

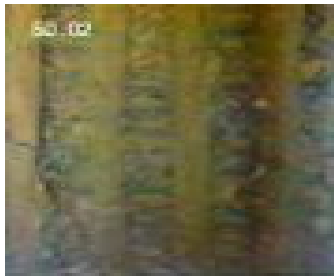
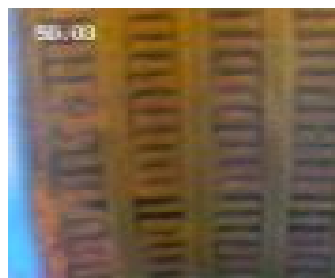
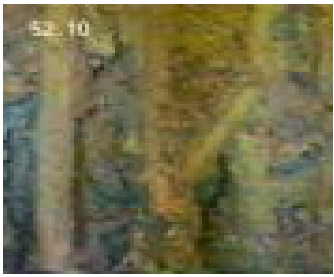
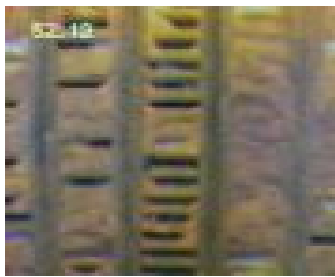
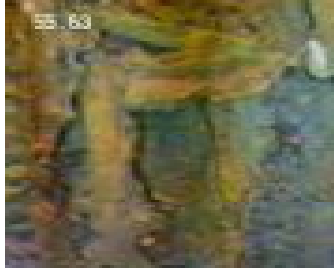
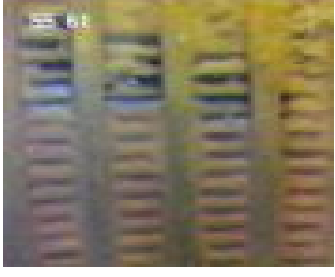

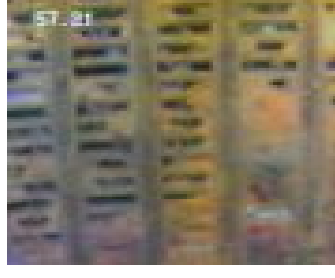
標 尺 度 (m)	さく井地質		地 色 調 事	標地 井戸構造	
	層 厚 (m)	柱 状 図		本 下 水 番 号	管 管 長 位 置 (m)
2.0	2.0		表土	茶褐	
9.0	7.0		玉石混り 粘土混り 砂礫	暗褐	21 5.20 5.20
10					19 5.50 10.70
					18 5.50 16.20
					17 5.50 21.70
					16 5.50 27.20
					15 5.50 32.70
					14 5.50 38.20
					13 5.50 43.70
			凝灰岩	暗灰	12 5.50 49.20
					11 5.50 54.70
					10 5.50 60.20
					9 5.50 65.70
					8 5.50 71.20
					7 5.50 76.70
					6 5.50 82.20
					5 5.50 87.70
					4 5.50 93.20
			安山岩	青灰	3 5.50 98.70
					2 5.50 104.20
110	108.70	24.70			1 5.50 109.70

洗 浄 前	洗 浄 後
 <p>孔内自然水位確認。</p>	 <p>孔内自然水位確認。</p>
 <p>スケールが厚く付着している。</p>	 <p>スケールが若干剥離し、スロット部が確認できる。</p>
 <p>スロット部がスケールにより閉塞している。</p>	 <p>スケールが若干剥離し、スロット部が確認できる。</p>
 <p>管壁にスケールが瘤状に付着している。</p>	 <p>付着していたスケールが綺麗に剥離されている。</p>

・撮影深度の管頭について
ボアホールカメラの表示深度は井戸ビット内ケーシングパイプ天端を、0mと設定し撮影を行った。

図 5 - 1 ボアホールカメラによる井戸内観察結果



井 内 撮 影 記 録

標尺 深 度 (m)	さく井地質			地 色	記 事	標地 井戸構造		構造 図	洗 淨 前		洗 淨 後	
	層厚 (m)	柱状 図	地 質			本下 管番 号	管長 位 置 (m)		洗 淨 前	洗 淨 後		
2.0	2.0		表土	茶褐色							スケールによりスロット部が閉塞している。	スケールが剥離してスロットが確認出来る。
9.0	7.0		玉石混り粘土混り砂礫	暗褐色		20 5.50 5.20					スケールによりスロット部が閉塞している。	スケールが剥離してスロットが確認出来る。
15.5	32.7		凝灰岩	暗灰		15 5.50 32.70					スケールが厚く付着しておりスロット部が閉塞している。	スケールが剥離され、スロットが確認出来る。
65.0	76.0		安山岩	青灰		5 5.50 87.70					スケールによりスロット部が閉塞している。	スケールが剥離し、スロット部より充填砂利が確認できる。
109.7	24.7					1 5.50 109.70						

・撮影深度の管頭について
ボアホールカメラの表示深度は井戸ピット内ケーシングパイプ天端を、0 mと設定し撮影を行った。

図 5 - 2 ボアホールカメラによる井戸内観察結果

井 内 撮 影 記 録

標尺 (m)	深度 (m)	層厚 (m)	柱状 図	さく井 地質	地色 調	地質 記事	標地 本下 管番 水番 号位 号	井戸 管長 位 (m)	構造 管位 構造 図	洗 浄 前		洗 浄 後	
2.00	2.00			表土	茶褐							スケールが瘤上に突出しており、これ以上の撮影は不可能である。	スケールが剥離され、孔内は良好な状態である。
9.00	7.00			玉石混り 粘土混り 砂礫	暗褐		20 5.20	5.20					
							19 5.50	10.70					
							18 5.50	16.20					
							17 5.50	21.70					
							16 5.50	27.20					
							15 5.50	32.70					
							14 5.50	38.20					
							13 5.50	43.70					
				凝岩	暗灰		12 5.50	49.20					
							11 5.50	54.70					
							10 5.50	60.20					
							9 5.50	65.70					
							8 5.50	71.20					
							7 5.50	76.70					
							6 5.50	82.20					
							5 5.50	87.70					
							4 5.50	93.20					
				安山岩	青灰		3 5.50	98.70					
							2 5.50	104.20					
109.70	24.70						1 5.50	109.70					

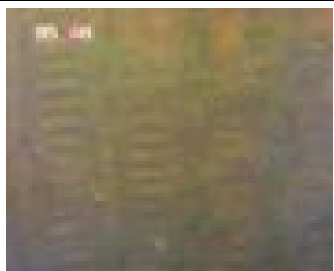
・撮影深度の管頭について
ボアホールカメラの表示深度は井戸ビット内ケーシングパイプ天端を、0mと設定し撮影を行った。

図 5 - 3 ボアホールカメラによる井戸内観察結果


井 内 撮 影 記 録

標 尺 深 度 (m)	さく井地質		地 色 記 事	標 地 本 下 管 水 番 号	井 戸 管 長 位 号	構 造 位 号	構 造 図	洗 浄 前	洗 浄 後
	層 厚 (m)	柱 状 図						地 質	洗 浄 前
2.00	2.00		表土						
9.00	7.00		玉石混り 粘土混り 砂礫	20	5.20	5.20			
10				19	5.50	10.70			
				18	5.50	16.20			
20				17	5.50	21.70			
				16	5.50	27.20			
30				15	5.50	32.70			
				14	5.50	38.20			
40				13	5.50	43.70			
			凝岩	12	5.50	49.20			
50			暗灰	11	5.50	54.70			
				10	5.50	60.20			
60				9	5.50	65.70			
				8	5.50	71.20			
70				7	5.50	76.70			
				6	5.50	82.20			
80				5	5.50	87.70			
				4	5.50	93.20			
90				3	5.50	98.70			
			安山岩	2	5.50	104.20			
100			青灰	1	5.50	109.70			
110	109.70	24.70							

洗 浄 前



洗 浄 後



スロット部は確認できるが、水の濁りが激しい。

水の濁りが酷く明確に確認は出来無いが、スロット部は閉塞状態と思われる。

孔底状況。

・撮影深度の管頭について
ボアホールカメラの表示深度は井戸ビット内ケーシングパイプ天端を、0mと設定し撮影を行った。

図 5 - 4 ボアホールカメラによる井戸内観察結果

表 4 ホールカマで観察された閉塞物質などの付着状況

スクリーン位置と番号 炭酸ガス注入状況	アクリド工法施工前の スケールなどの付着状況	アクリド工法施工後の スケールなどの付着状況	付着物質の剥離効果
最上端のスクリーン (深度 10.7m ~ 21.7m) 揚水水位より上部のスクリーンな ので炭酸ガスは注入せず	自然水位 13.5m を確認。 スケールが分厚く付着し、一 部ではスクリーンの形状自体 がわからない。	自然水位 13.6m を確認。 全ての深度で巻線スクリー ンの形状が確認できた。一 部でスケールも剥離できた。	やや有り。
中間のスクリーン (深度 49.2m ~ 60.2m) 炭酸ガス(液体と気体を合わ せて) 500kg 注入	スケールが分厚く、一部では 瘤状に付着し、スクリーンの 存在自体がわからない。 ほとんどでスクリーンの開口 部が閉塞。	瘤状のスケールは全て剥離 され、全てでスクリーンの形 状が確認できた。一部の ロットでは背面の充填砂 利も確認できる。	剥離効果大
最下端スクリーン (深度 87.7m ~ 104.2m) 炭酸ガス(液体と気体を合わ せて) 1,080kg 注入	深度 65m 付近からスケール が分厚く付着し、井戸径 が狭くなっていることと 視界不良から、ホールカマ による観察を断念	視界は不良ながらも全 ての形状は確認できる。	施工前の状況が不明な ので剥離効果も不明。

5. あとがき

今回の 2 号井戸でのアクリド試験施工によって、以下の井戸改修効果が確認された。

閉塞物質の剥離効果： 中間のスクリーンにあった瘤状の付着物質は全て剥落し、一部のスクリーンで背面の充填砂利まで確認できるようになった。なお、最も炭酸ガスを注入した最下部のスクリーンについては、施工前の目視観察を断念したのでアクリド工法による閉塞物質の剥離効果の判定はできないが、施工後の状況では視界不良ながらも巻線スクリーンの内側の形状は確認できる状況にある。また、上部のスクリーンに直接炭酸ガスを注入しなかったが、この部分でも付着物質の剥離効果が若干ながら認められた。

揚水能力の改善効果： アクリド工法施工前と施工後の揚水試験による比湧出量（各段階毎の比湧出量の平均値）を見ると、施工前の 2.1 倍となっており、これまでアクリド工法を実施した井戸の平均的な比湧出量増加率とほぼ一致する増加率となった。なお、本井戸ではアクリド工法施工前においても比湧出量が建設当初の約 3 倍に増加しており、比湧出量を見る限り、井戸の老朽化はなく、みず道を構成する岩盤内の亀裂が井戸建設後の揚水によって開口・伸長した可能性も考えられる。もしこの推論が正しいとすれば、炭酸ガスを注入したこと（アクリド工法）により、岩盤内の亀裂がさらに開口・伸長し、井戸の揚水能力を高めたのかもしれない。

最後に、ご発注になった井戸改修工事の中にアクリド工法を追加実施することをご許可いただいた東成瀬村産業建設課の皆様、アクリド工法の実施について多大なるご支援を頂いた(株)自然科学調査事務所の皆様、そしてお忙しい中現場見学会にお越し頂いた秋田県協会員の皆様に、深甚なる感謝の意を表します。