

熊本地震 井戸被害調査

いい井戸の日
2019 in 四国

2019年11月7日

一般社団法人 全国さく井協会
北海道支部長 石塚 学

本日の話題

1. 熊本県の地下水概要
2. 熊本地震概要
3. 井戸被害調査概要
4. 聞き取り調査による井戸被害調査結果
5. N10号井戸点検
6. 災害から学ぶこと
7. おわりに

1.1 世界に誇る地下水都市・熊本

- 熊本地域の東に位置する阿蘇山は、約27万年前から約9万年前（第四紀更新世後期）にかけて4度にわたる大火砕流噴火を起こしました。
- この火砕流堆積物が100m以上も厚く降り積もって熊本の大地はできあがりしました。この大地の地層はすきまに富み、水が浸透しやすい特徴を持っているので、熊本地域に降った雨は地下水になりやすく、地下に豊富で良質な水が蓄えられます。



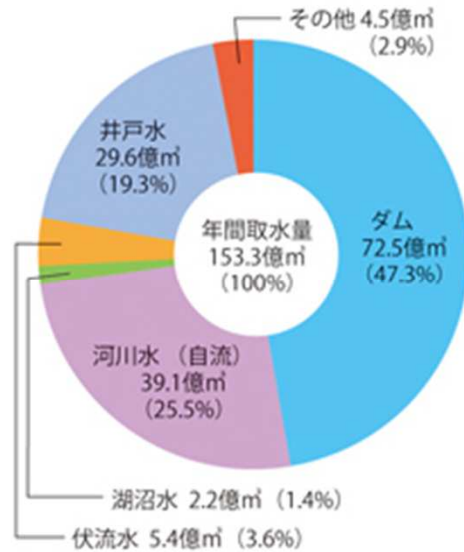
熊本地域の地質イメージ図

出典：公益財団法人 くまもと地下水財団 ホームページ

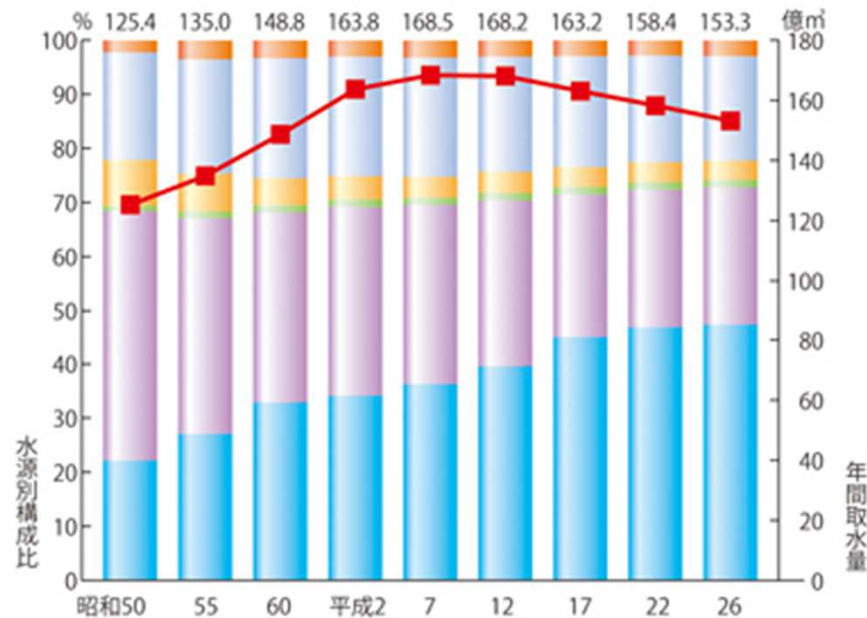
1.2 水道水源の地下水依存割合

大都市の水道では、大量の水を確保する必要があるため、ほとんどの水源をダム貯留水や河川水等の表流水に依存しています。地下水の依存割合は**19.3%**

■ 水道水源に種別 (平成26年度)
(上水道+用水供給事業の合計)



■ 水道の年間取水量と
水源別構成比の推移



出典: 公益法人 日本水道協会 日本の水道の現状

- 熊本県は水道水源の**約80%**を地下水に依存しています。とりわけ熊本地域は、**ほぼ100%**を地下水でまかなっている全国でも稀な地域です。

1.3 地下水保全⇒熊本地域全体で連携

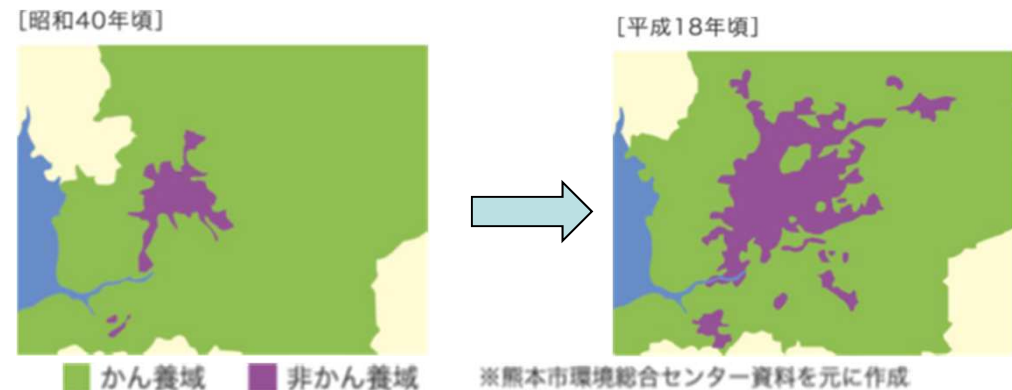
熊本地域※で地下水保全のために活動してきた3つの組織（財団法人熊本地下水基金、熊本地域地下水保全対策会議、熊本地域地下水保全活用協議会）を統合し、平成24年4月に『くまもと地下水財団』が設立されました。

主な事業として、以下の事業に取り組み、地下水を守っています。

- (1) 地下水環境調査研究事業
- (2) 地下水水質保全事業
- (3) 地下水かん養事業
- (4) 地下水採取・使用適正化事業

※熊本地域

熊本市、菊池市(旧泗水町・旧旭志村)、宇土市、合志市、大津町、菊陽町、西原村、御船町、嘉島町、益城町、甲佐町からなる11市町村



かん養域の減少 ⇒ 地下水の減少

出典:公益財団法人 くまもと地下水財団 ホームページ

この熊本地域で行う地下水保全の取り組みが世界で高く評価され「2013国連“生命の水”最優秀賞」を受賞しました。

熊本県では、地下水位の経年変化を把握し、地下水賦存量などの解析のための基礎資料を得ることを目的として、県内33ヶ所に地下水観測井を設置・観測し、地下水量の保全に努めています。

本日の話題

1. 熊本県の地下水

2. 熊本地震概要

3. 井戸被害調査概要

4. 聞き取り調査による井戸被害調査結果

6. N10号井戸点検

7. 災害から学ぶこと

8. おわりに

熊本地震の被害概要

出典: さく井協会九州支部 岩隈支部長『防災井戸のススメ』

- 震度6弱以上の地震が7回、うち震度7は28時間内に2回発生（観測史上初）
- 余震（震度1以上）は、発災から15日間で1,028回（※6月7日17時現在で1,674回）
- 少なくとも県民の10%以上が避難（阪神・淡路大震災の約2倍）
- 危険と判定された建物は1万5千棟超（阪神・淡路大震災の2倍以上）
- 余震が続いているため、車中泊をする被災者が多数に及んだ（実数把握できず）

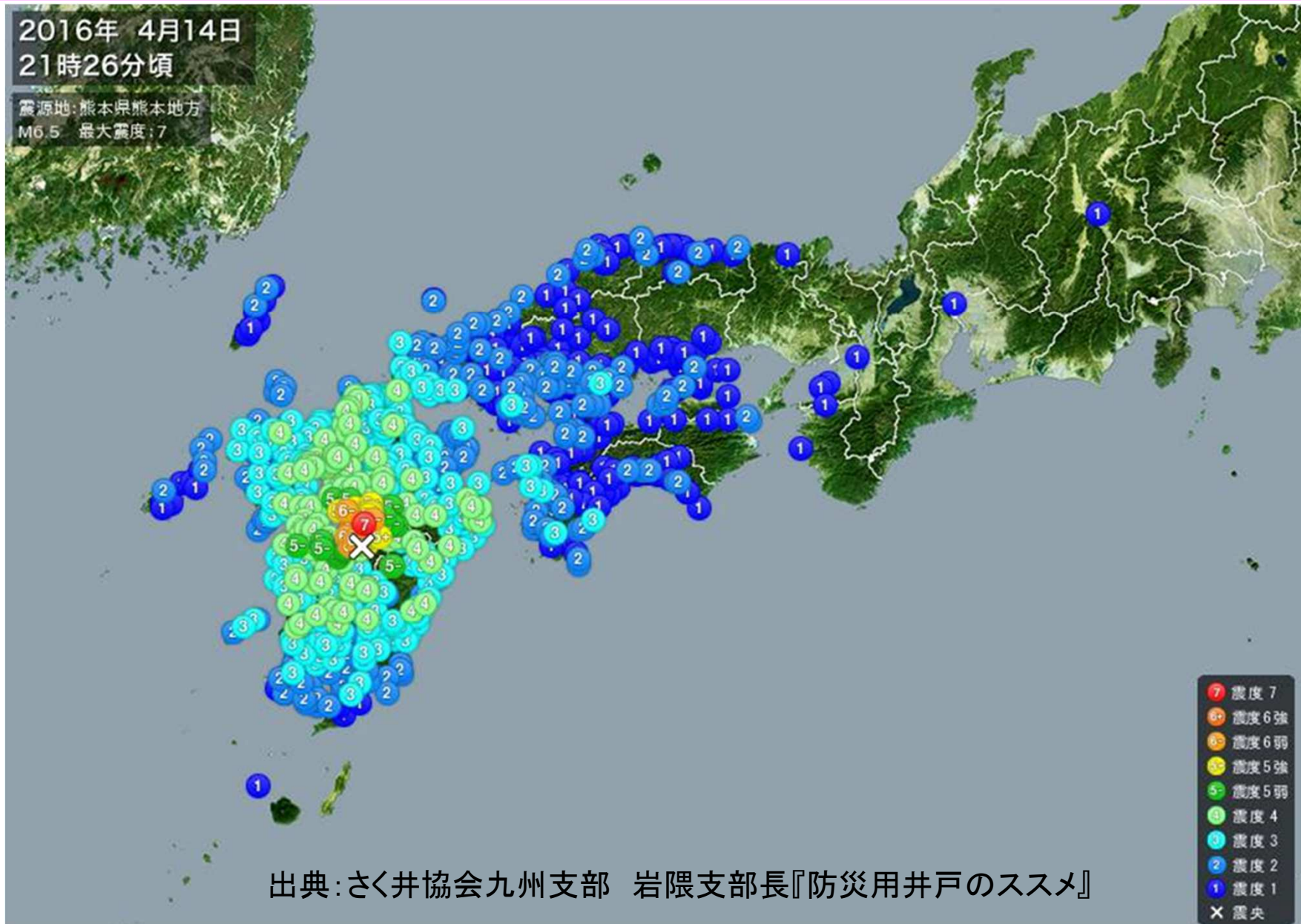
地震・被害の規模

	震度6弱以上	余震 発災から15日間	被災市町村人口 (震度6弱以上)	最大避難者数 ※1	被災建築物 応急危険度判定 ※2
熊本地震	7回 うち震度7が2回	1,028回	約148万人 (県人口の約83%)	約18.4万人 (県人口の10.3%)	15,708棟
阪神・淡路 大震災	1回	230回	約232万人 (同42%)	約31.7万人 (同5.7%)	6,476棟
新潟県中越地 震	5回	680回	約38万人 (同16%)	約10.3万人 (同4.2%)	5,243棟

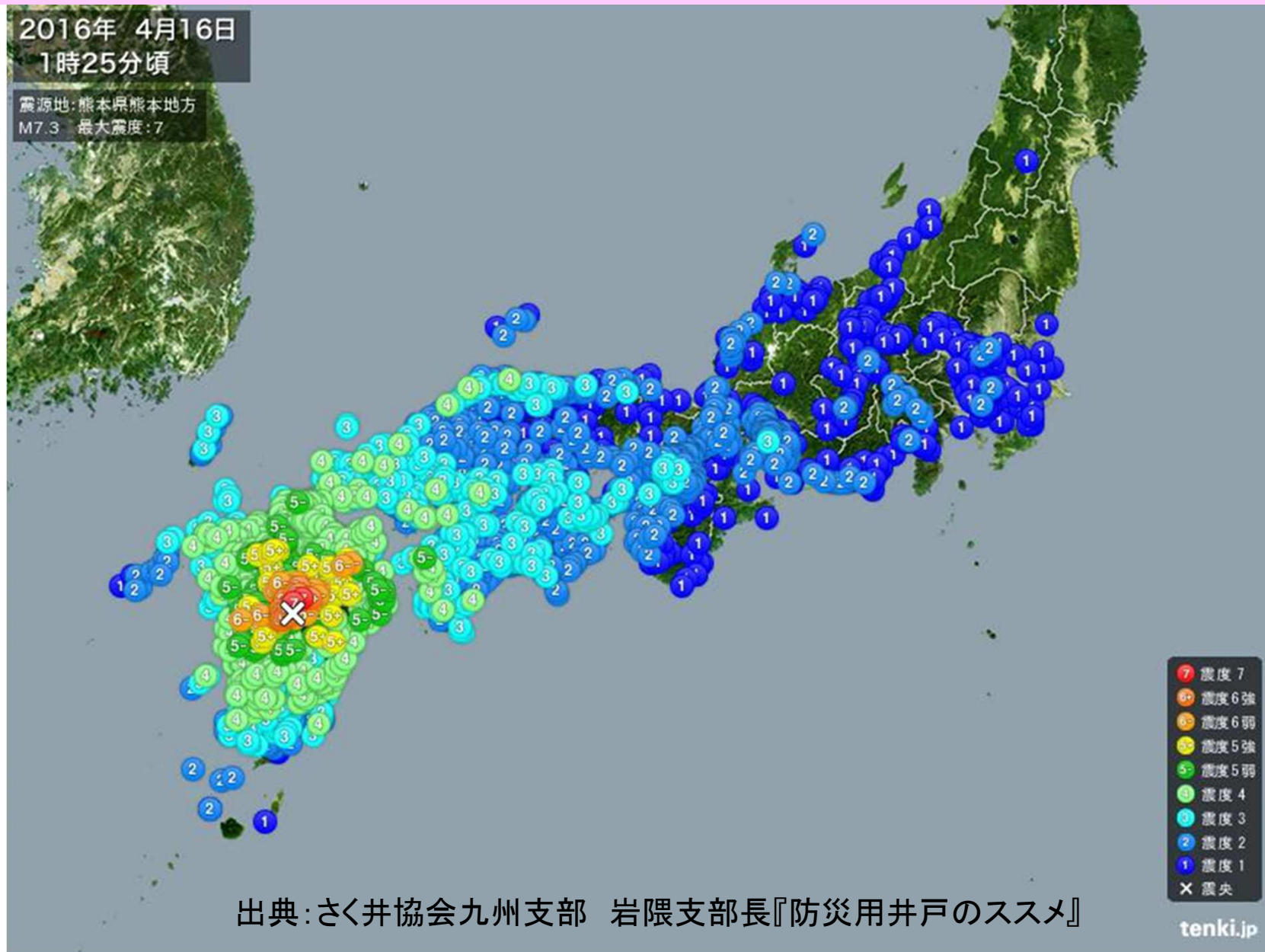
※1 避難者数は、指定避難所内の人数であり、避難所以外の車中泊等の人数は含まれない。

※2 応急危険度判定(6月4日現在)の件数。

熊本地震 2016年4月14日 21時26分頃



熊本地震 2016年4月16日 1時25分頃



熊本地震の被害状況



益城町

出典: さく井協会九州支部 岩隈支部長『防災用井戸のススメ』



益城町



益城町



阿蘇



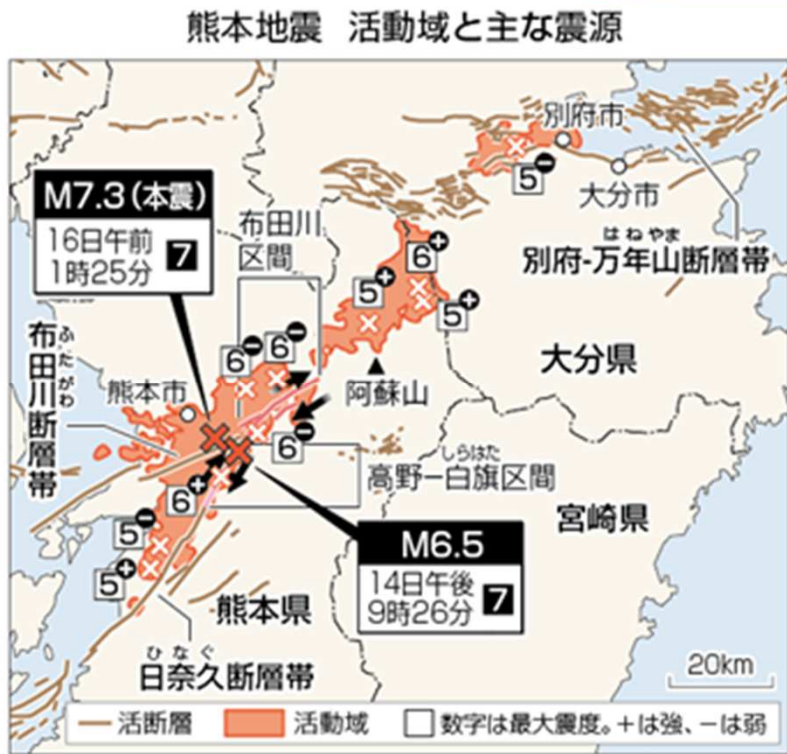
熊本市

本日の話題

1. 熊本県の地下水
2. 熊本地震概要
- 3. 井戸被害調査概要**
4. 聞き取り調査による井戸被害調査結果
5. N10号井戸点検
6. 災害から学ぶこと
7. おわりに

3.1 調査対象地域

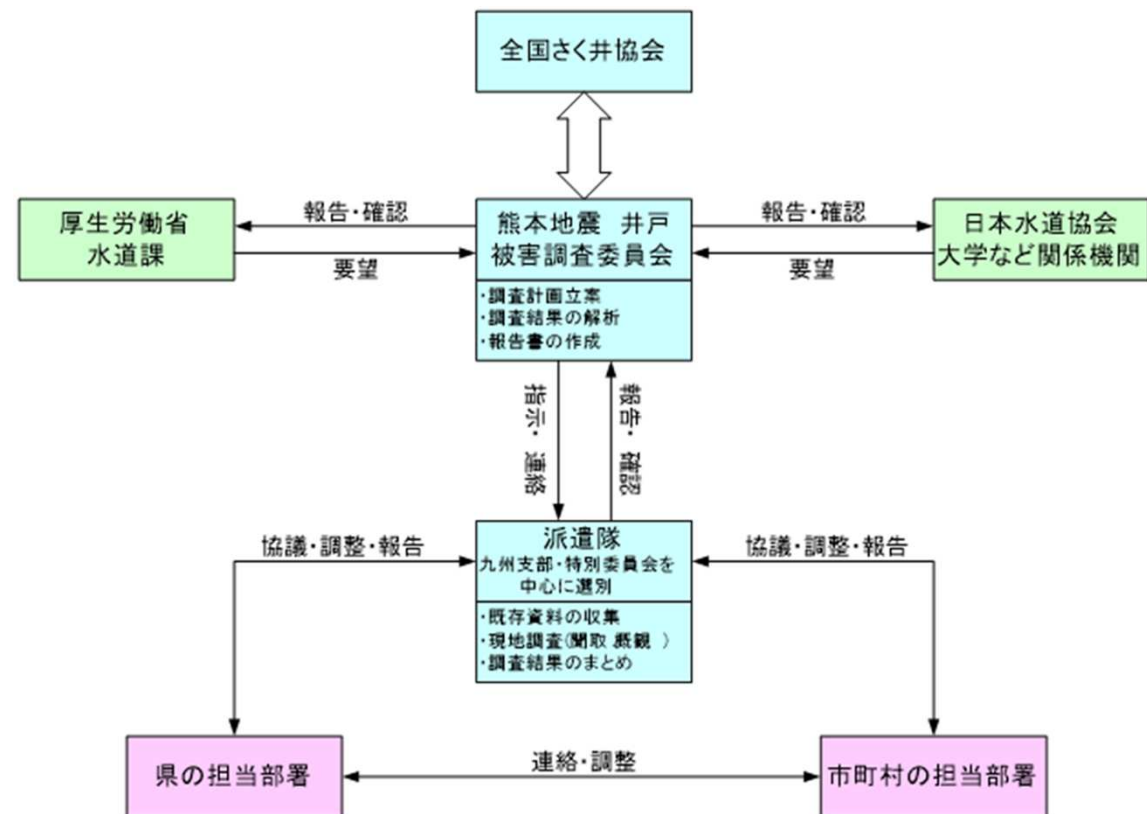
- 調査対象の範囲は、地震活動の大きかった熊本県全域とする。
- その中でも、被害の大きかった熊本市、阿蘇市、益城町、西原村、南阿蘇村の水道水源を中心として調査を実施する。



(20日現在、気象庁資料より)

3.2 調査の体制

- 井戸被害調査並びに支援活動を有効かつ機能的に実施するため協会内部に「熊本地震井戸被害調査委員会」を設置した。被害調査の実施体制、関係機関を下図に示した。
- 知久副会長をはじめとする調査団は関係機関を訪問し、『熊本地震における支援活動の提言書』を持参して主旨を説明し、ご協力をお願いするとともに、ご要望などをお聞きした。
- 本調査は、この打合せ結果を踏まえ、平成28年熊本地震における井戸施設の被害状況などについて調査し、損傷した施設の原因解明と対策について提案するとともに、調査結果から教訓を学び、災害時の井戸施設の被害防止・軽減への対策、災害対策としての地下水活用の提言することを目的として立案したものである。



3.3 調査内容

表 3.1 熊本地震井戸被害調査実施一覧

調査名	調査内容	調査範囲
水井戸被害調査	聞き取り調査による被害調査	熊本市、阿蘇市、益城町、西原村、南阿蘇村およびくまもと地下水財団
一の宮の湧水 湧水量減少原因調査	既存資料調査・現地踏査	阿蘇市
障害井戸詳細調査	井戸点検：3カ所 井戸検層：2カ所	熊本市水道水源

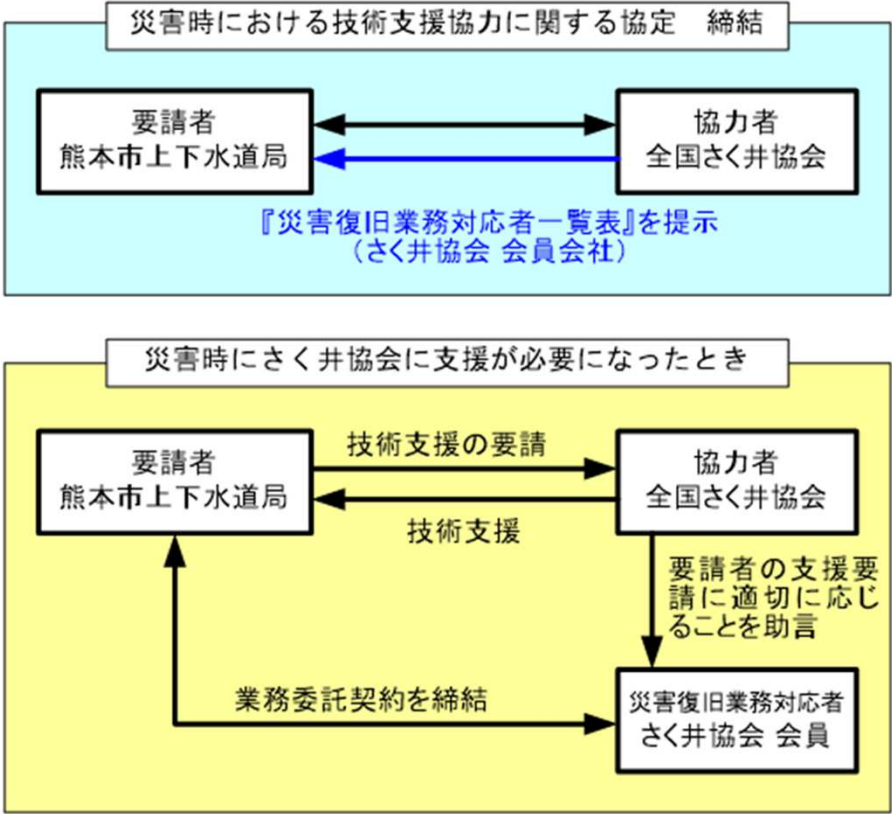


図3.3 協定に基づく支援活動の進め方

1. 熊本県の地下水
2. 熊本地震概要
3. 井戸被害調査概要

4. 聞き取り調査による井戸被害調査結果

6. N10号井戸点検
7. 災害から学ぶこと
8. おわりに

地震により、南阿蘇村の湧水が何箇所か枯渇したが、井戸本体は地震による直接の被害を受けていなかった。ほとんどの井戸で濁りが発生したものの、3日から2～3週間で濁りは解消しており、熊本地震でも井戸が地震に対して強いことが明らかとなった。

表 4.2.1 井戸被害状況一覧

市町村名	担当部署	水源の数※		被害状況	備考
		井戸	湧水		
熊本市	上下水道局	113	0	地震発生直後、およそ8割の井戸で濁りが発生したが、ほとんどの井戸が短期間で解消した。4本の井戸が地表付近のケーシングパイプが破損して、運用停止となった。	運用停止中の4本の井戸は、揚水設備の損傷が主であるが、井戸構造の破損も懸念される為、井戸点検を実施。
阿蘇市	水道局	19	11	井戸本体の被害はない。濁りが発生したが、解消した。	
益城町	水道課	16	0	井戸本体の被害はない。濁りが発生したが、解消した。	被害は管路や取水施設。
西原村	産業水道課	6	7	井戸本体の被害はない。濁りが発生したが、解消した。	断層を横断する配管が破損。
南阿蘇村	環境対策課	7	5	井戸本体の被害はない。濁りの発生、砂が混じる程度。	電気が復旧しないことが最も痛手。応急対策で井戸を利用した。

(井戸総数 161本)

※水源数は公表資料から、被害状況は聞き取り調査による

被害を受けた可能性のある井戸は、熊本市の4ヶ所であり、地震による被害発生率は、4/161⇒**2.5%**である。

東日本大震災井戸被害調査結果総括一覽

	被害		井戸び県別被害箇所数				小計		計		合計		利用可井戸数	
	要因	被害区分	青森	岩手	宮城	福島	箇所数	%	箇所数	%	箇所数	%	箇所数	%
調査井戸数			45	83	46	60	234					234	100	
被害なし			43	65	31	57	196	83.8	196	83.8	196	83.8		
被害あり ↓ 復旧	津波	塩水化	0	4	3	不明	7	2.9	8	3.4	25	10.7	221	94.4
		揚水設備破損	0	1		不明	1	0.4						
	地震	水量減少	0	1			1	0.4	17	7.3				
		湧り	1	8	6	1	16	6.6						
		井戸破損	0				0	0.0						
		揚水設備破損	0				0	0.0						
被害あり ↓ 未復旧	津波	塩水化	0	2	1	不明	3	1.2	8	3.4	13	5.6		
		井戸破損	0	2		不明	2	0.8						
		揚水設備破損	0	0	3	不明	3	1.2						
	地震	湧り	1			1	2	0.8	5	2.1				
		井戸破損			2	1	3	1.2						

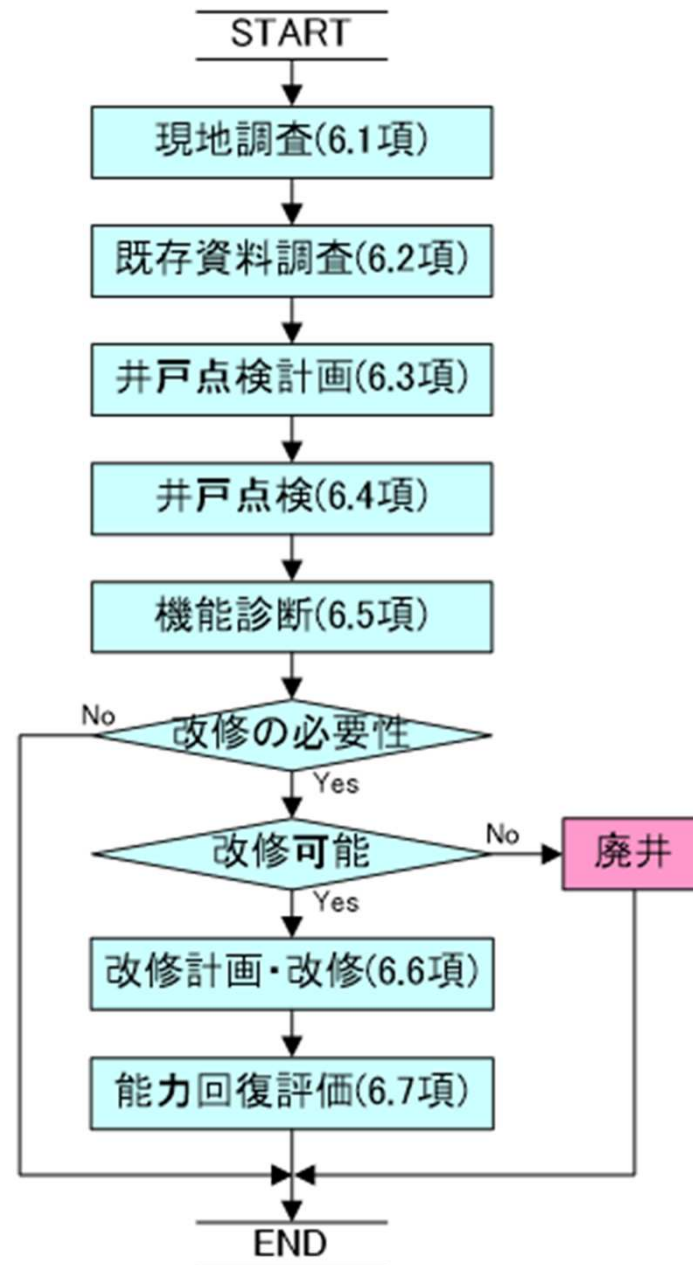
地震による被害発生率
2.1%

本日の話題

1. 熊本県の地下水
2. 熊本地震概要
3. 井戸被害調査概要
4. 聞き取り調査による井戸被害調査結果
- 5. N10号井戸点検**
6. 災害から学ぶこと
7. おわりに

井戸点検の手順

- ① 現地調査を実施し、被害の状況を確認するとともに、点検機器の設置方法について検討する。
- ② 井戸に関する既存資料（井戸管理台帳：構造・水量・水位・水質・揚水設備および井戸の稼働記録、その他水理地質関係資料など）を収集・検討し、井戸点検の方法を計画する。
- ③ 井戸点検結果から、井戸管理台帳をカルテとして機能診断を行い、異常があれば原因を究明して改修を検討する。
- ④ 改修が不可能と判断されたときには、井戸を廃止する（井戸を放置すると、井戸に汚濁水が流入するなど他の帯水層を汚染する可能性があるため）。
- ⑤ 能力回復が可能と判断されたときは、原因に対応した改修計画を立案し、改修工事を実施する。
- ⑥ 改修後、井戸能力を再評価して改修効果を確認して記録に残す。



5.1 現地調査 (N10号井)

建屋が右側へ傾いた
(自噴防止の為、2階建)



建屋周辺のキレツ



井戸元 (GL) の変状
抜け上がりと地下水湧出
数L/min、20.2°C

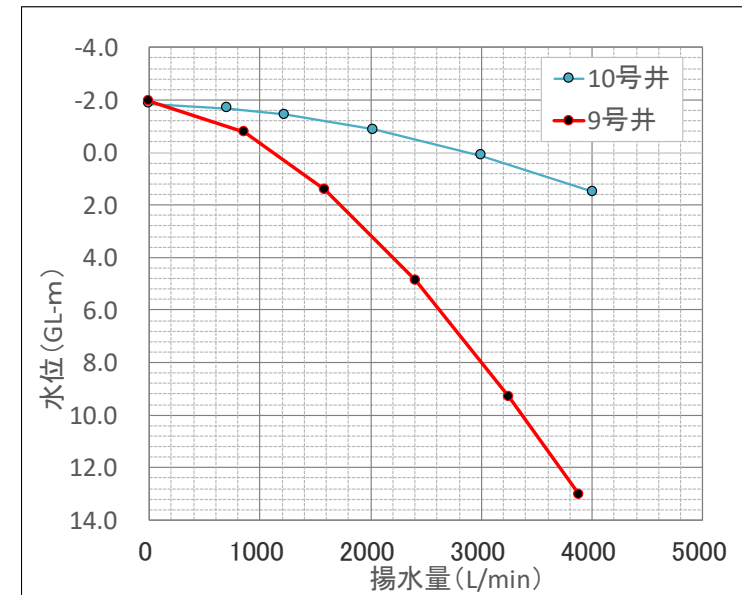
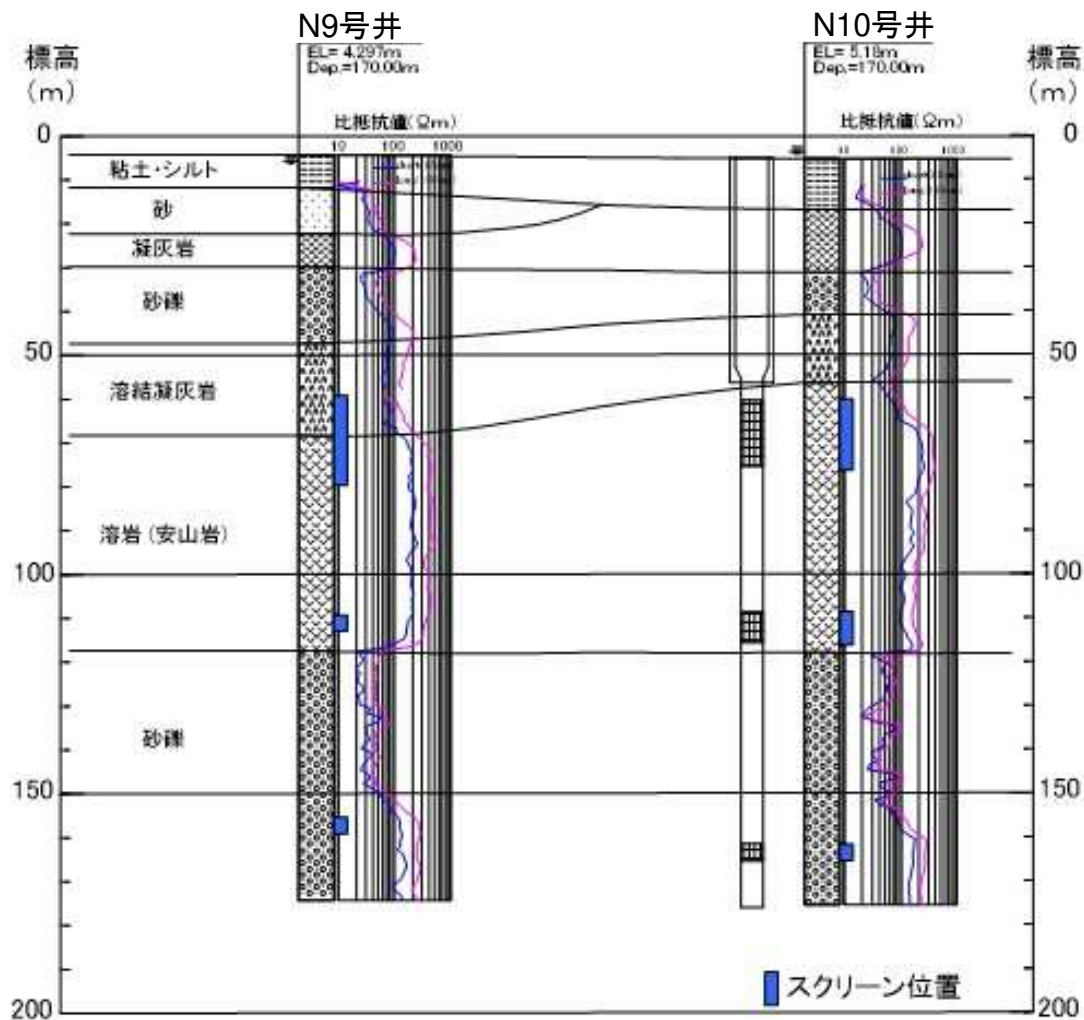


2F口元の変状況 (CPの抜け上がり)

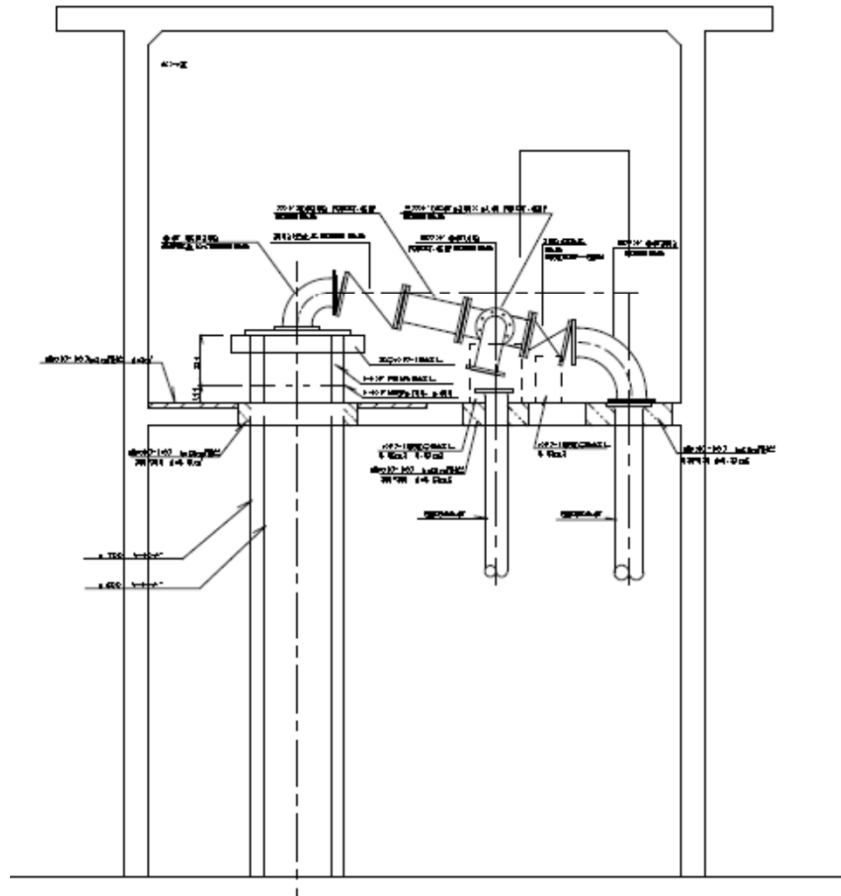


5.2 既存資料調査

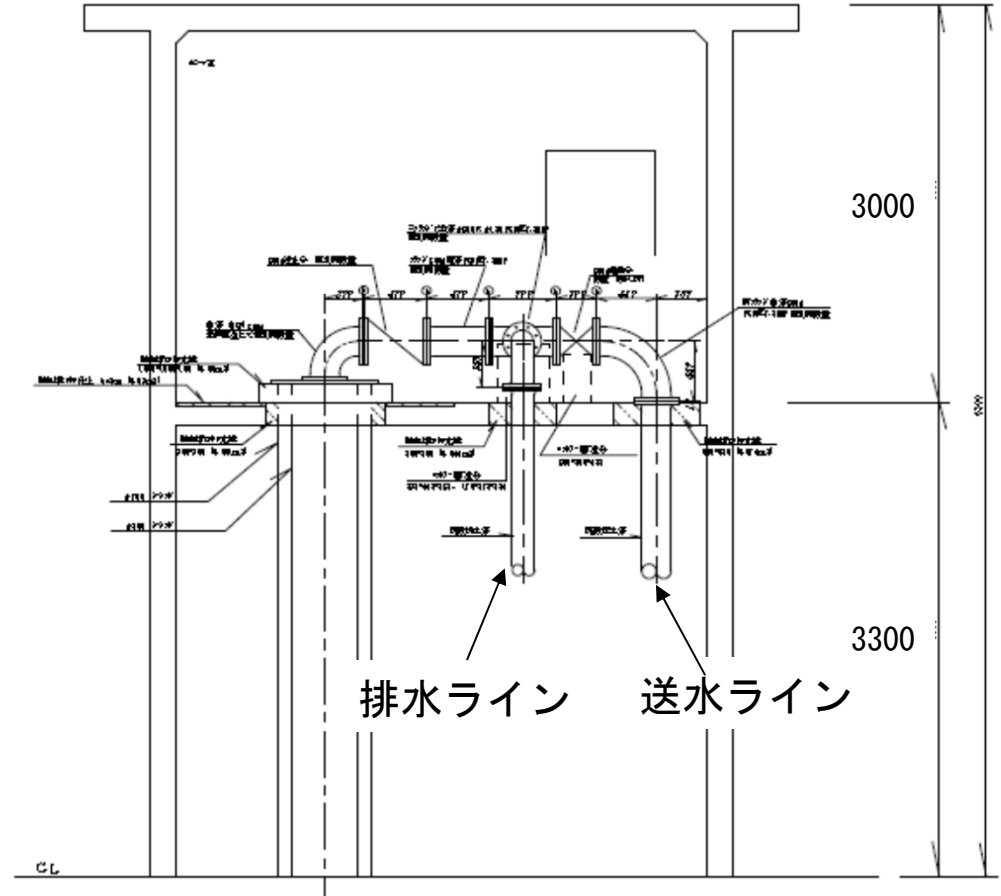
N9号井—N10号井 地質断面図



N10号井のポンプ室断面図



井戸元 (GL) の変状
 抜け上りにより地上配管破損



井戸起動時、砂出るため排水
 その後、送水

稼働記録

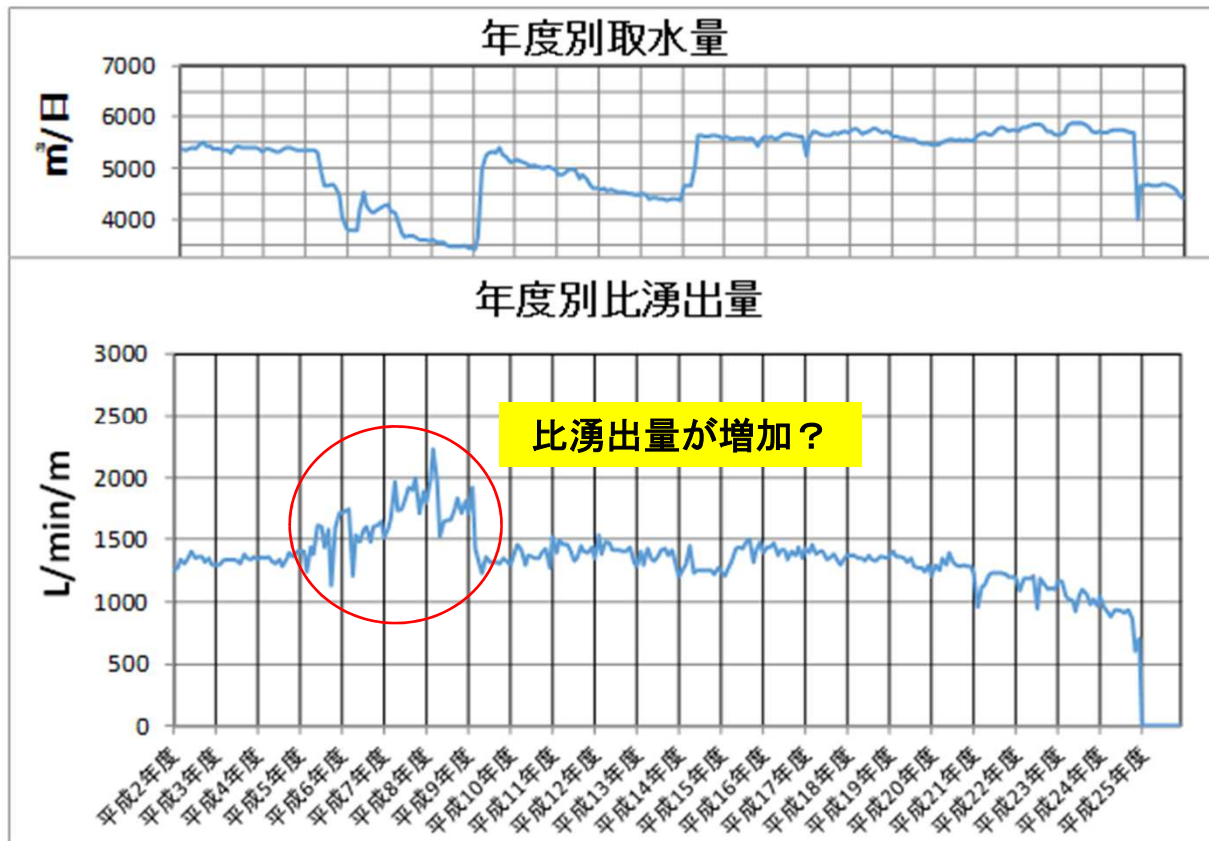


図6.2.5 N10号井稼働記録

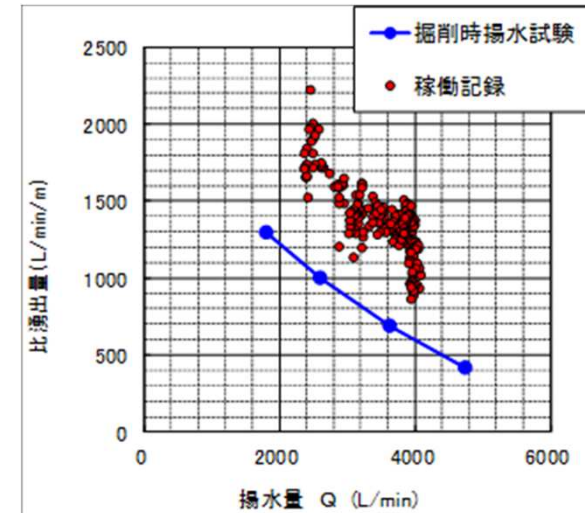


図6.2.6 比湧出量と揚水量の関係 (N10号井)

掘削当初の限界揚水量を超えた領域で、揚水量と比湧出量の関係を示し、稼働記録のデータを加えて図6.2.6に示した。

図のように、稼働記録の比湧出量は掘削時の値より大きなエリアに集中しており、揚水能力の低下は発生しておらず、むしろ大きくなっていると判断される。

N9号井改修記録

更生前、更生後にそれぞれ実施した段階揚水試験の結果を表IV-2-1、にまとめた。

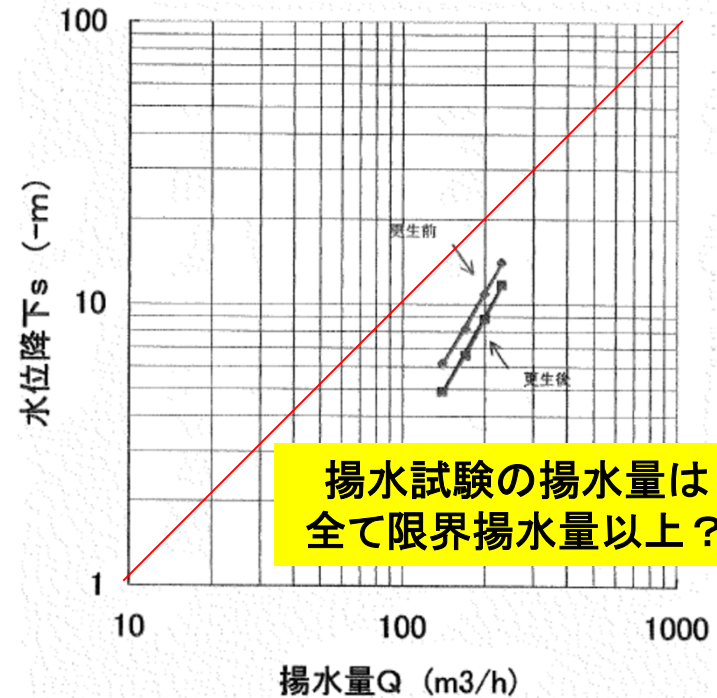
表IV-2-1 段階揚水試験結果一覧表

段階	揚水量 Q m ³ /時		揚水水位 s m		水位降下量 Sw m		比湧出量 Q/Sw m ³ /時/m		比水位降下量 Sw/Q m/m ³ /時	
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
1	140	140	9.15	7.78	6.17	4.91	23	29	0.044	0.035
2	170	170	11.17	9.45	8.19	6.58	21	26	0.048	0.039
3	200	200	13.88	11.75	10.90	8.88	18	23	0.055	0.044
4	230	230	17.05	14.57	14.07	11.70	16	20	0.061	0.051

静水位
 更生前：2.98m
 更生後：2.87m

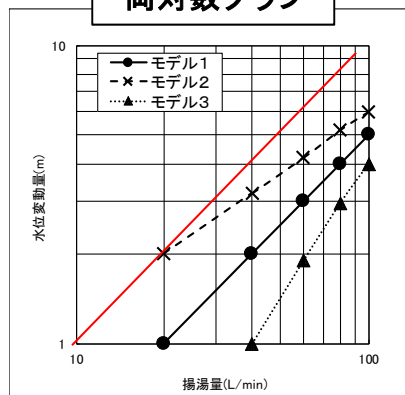
本試験の結果を図にプロットすると図IV-2-1のQ～Sグラフが得られる。
 グラフを見ると更生前、更生後ともにほぼ一直線上に並び明瞭な変化点は見出せない。

N9号井 段階揚水試験 S-Qグラフ



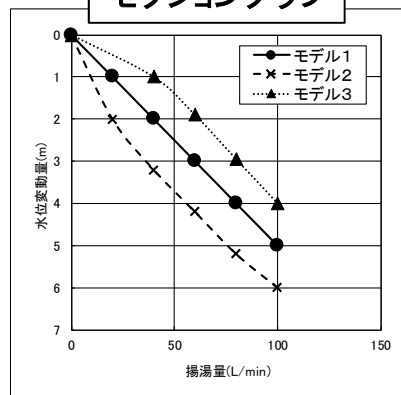
揚水試験の揚水量は
 全て限界揚水量以上？

両対数グラフ

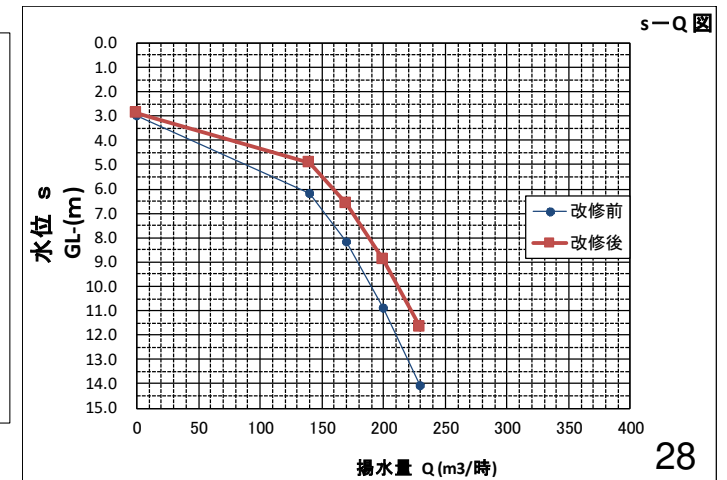


両対数グラフの直線傾き
 モデル1: 45°
 モデル2: 45° 以下
 モデル3: 45° 以上

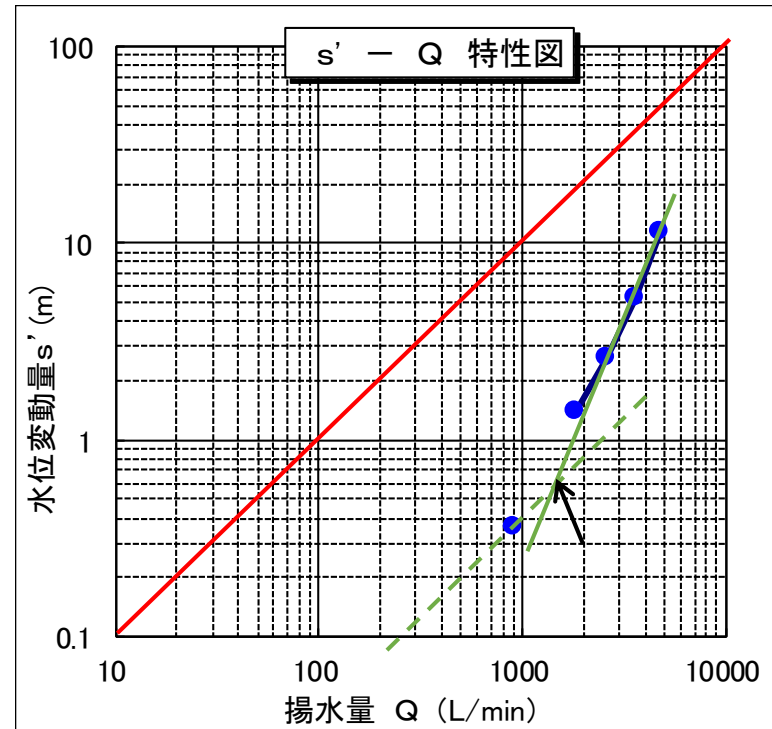
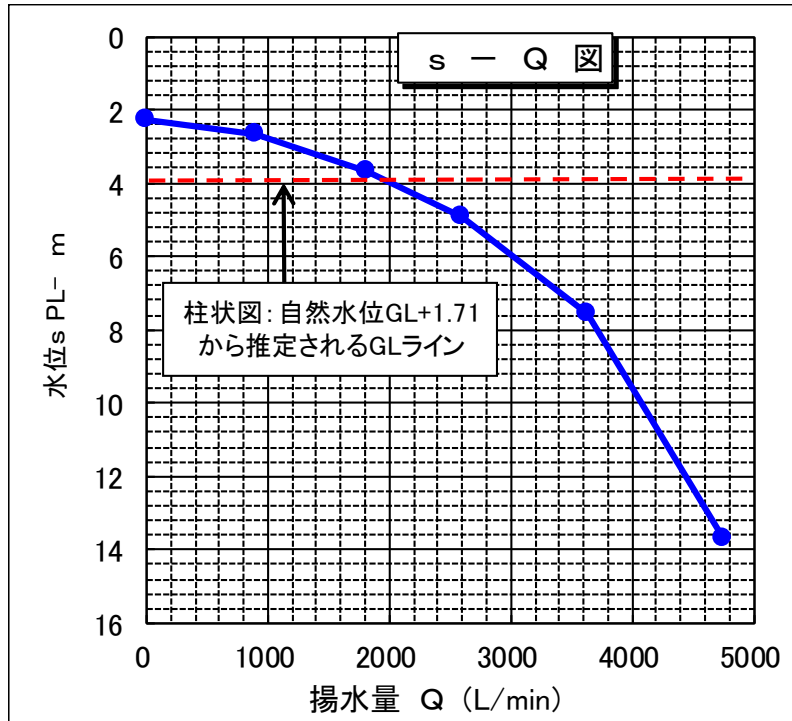
セクショングラフ



両対数とセクショングラフの関係



N10号井 初期井戸能力



多く見積もっても
限界揚水量は1500L/min程度

5.3 N10号井戸点検計画

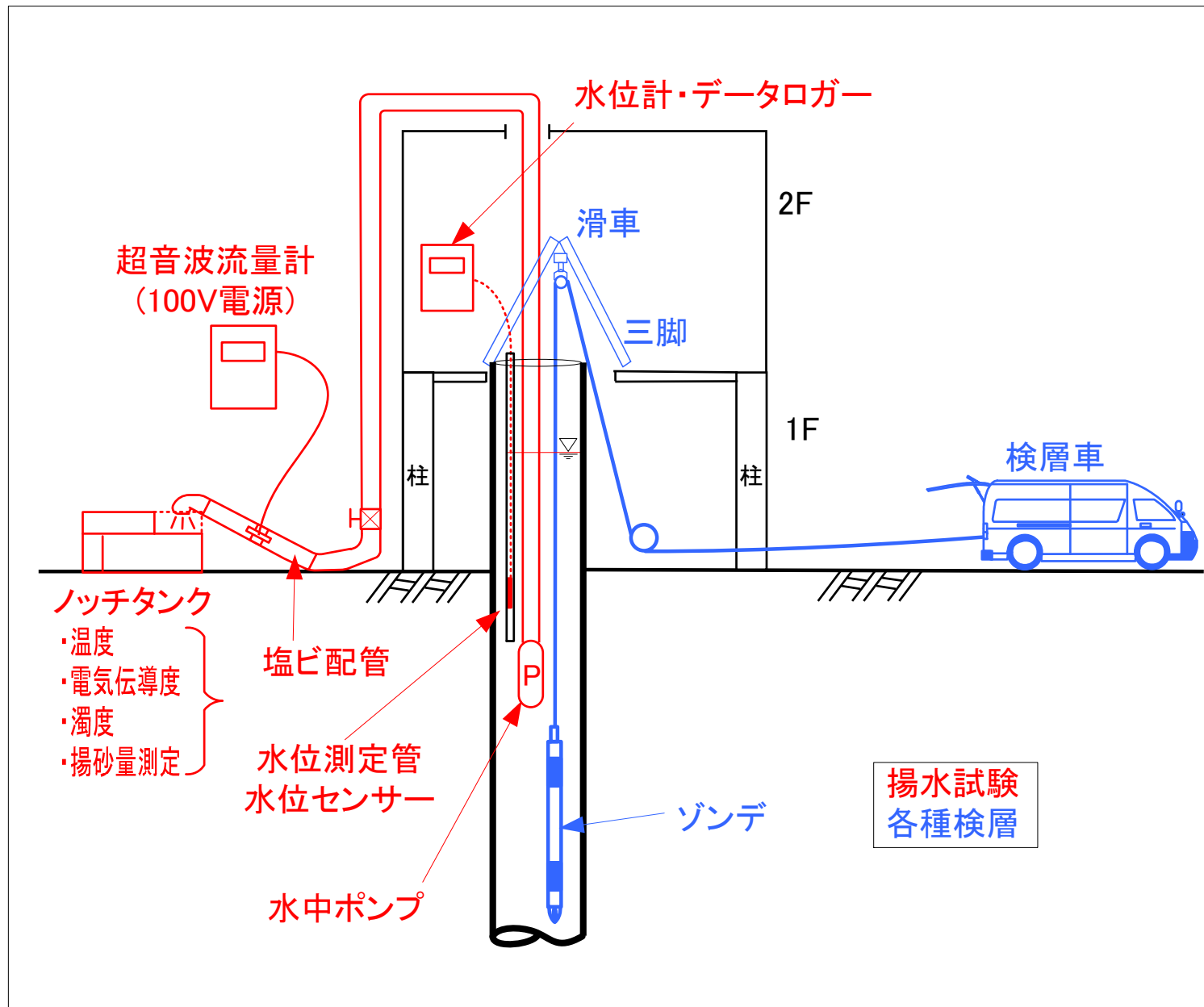
点検のポイント

- ①限界揚水量以上で運用：動水位の低下速度（安定性）の把握⇒段階試験：一日一段階×5段階
- ②スクリーンが3箇所分散：スクリーン区間ごとの揚水能力の評価⇒微流速検層
- ③揚水開始時に揚砂が発生：揚水量と揚砂量の経時的変化の把握⇒揚水試験時の砂の定量的評価

表 6.3.1 井戸点検計画一覧

	種 目	測定項目	目 的	数 量
検 層	温度・ 電気伝導度 検層	温度	孔内温度の局所的変化から、地下水流入・漏水箇所および帯水層の判定。	3回
		電気伝導度	溶存電解質成分が多いほど高い値を示すことから、地層水(地下水・温水)の流入箇所検出に有効。	
	水中 テレビカメラ	画像	孔内にカメラを入れて直接見ることにより、ケーシングの破損、スクリーンの目詰まりなどを把握する。	2回
	微流速検層	孔内流速	自然・揚水状態での孔内の縦流速を測定することで、地下水流入箇所とその水量を把握する。	自然1回 揚水5回
揚 水 試 験	段階揚水試験	水位 水量 水温 電気伝導度 揚砂量	揚水量 Q を段階的に増加させる。水位低下量 s と揚水量の関係図(s-Q図)から限界揚水量を把握する。 段階揚水試験の各水量に対する動水位の低下速度(安定性)を把握するため、一日一段階(8時間揚水+16時間回復)×5段階	一式

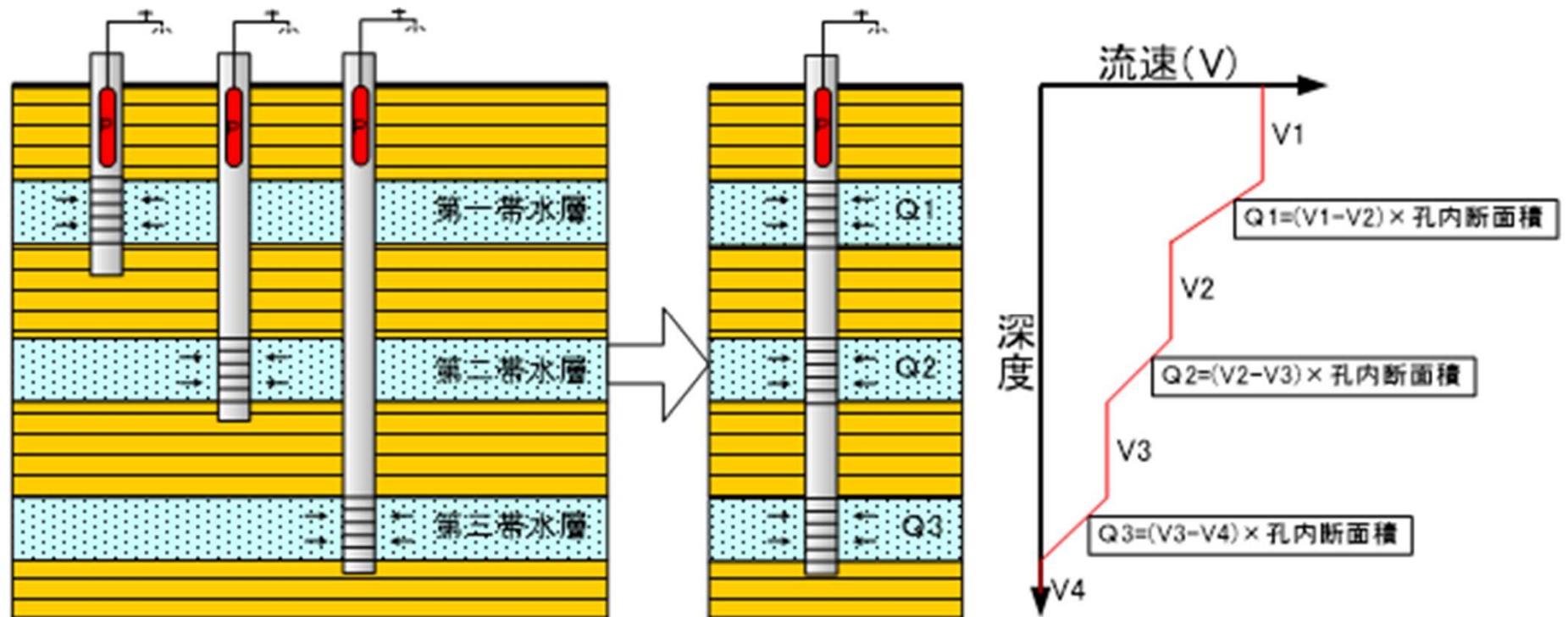
N10号井 各種試験実施概念図



【孔内微流速検層】

孔内（井戸内）で測定した鉛直方向の流速を流量換算することによって、地下水流動層（帯水層）の位置と層毎の揚水量（流入量）を把握できます。これまでは、図に示すように複数の帯水層の揚水能力評価は帯水層の数だけの調査井が必要でしたが、孔内微流速検層を行うことで一本の調査井で複数の帯水層の調査が可能です。

測定の方法は、非揚水状態と揚水量を2～3段階に変化させた状態で行います。



【使用機器】

砂分測定 cc/m^3



Cat. No.5512 簡易プランクトンネット

SIMPLE PLANKTON NET

河川、池、沼で使われる短円錐型の簡易表面ネットで、教材としても使われています。底管は透明プラスチック製でピンチコックで止めるようになっています。

網 地：NXX13(目合 0.1mm)

Cat. No.	口 径 cm	側 長 cm
5512-A	20(0.03m)	50
5512-B	25(0.05m)	60
5512-C	30(0.07m)	75

孔内微流速検層使用機器一覧

項 目		型 式 等
マイクロ フローメーター	検出部(プローブ)	羽根車式 MODEL-3216(応用地質製)
	測定器	ハンディロガーMODEL-3217(")



温度・電気伝導度測定プローブ仕様

型 式	温度/孔内水導電率プローブ TCDS (ロバートソング&キング社製)	
外形および重量	φ38mm、長さ 2440mm	
温 度	レンジ	0~70°C
	精度	±0.5°C
	示差	1 m当りの温度変化
導 電 率	レンジ	50~50000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
	精度	500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ で±2.5%
	示差	1 mでの伝導率の傾き



5.4 10号井点検結果

N10号井 揚水試験結果（改修前）

段階	揚水量		水位 (GL-m)		低下水位 SW(m)	比湧出量 (L/min/m)	時間 min
	Q(L/min)	Q(m ³ /d)	初期水位	動水位			
1	402	579	-2.061	-1.933	0.13	3,141	720
2	708	1,020	-2.053	-1.841	0.21	3,340	720
3	1,204	1,734	-2.082	-1.685	0.40	3,033	720
4	2,023	2,913	-2.095	-1.185	0.91	2,223	720
5	3,008	4,320	-2.053	-0.260	1.79	1,678	720
6	3,997	5,756	-2.052	1.076	3.13	1,278	720

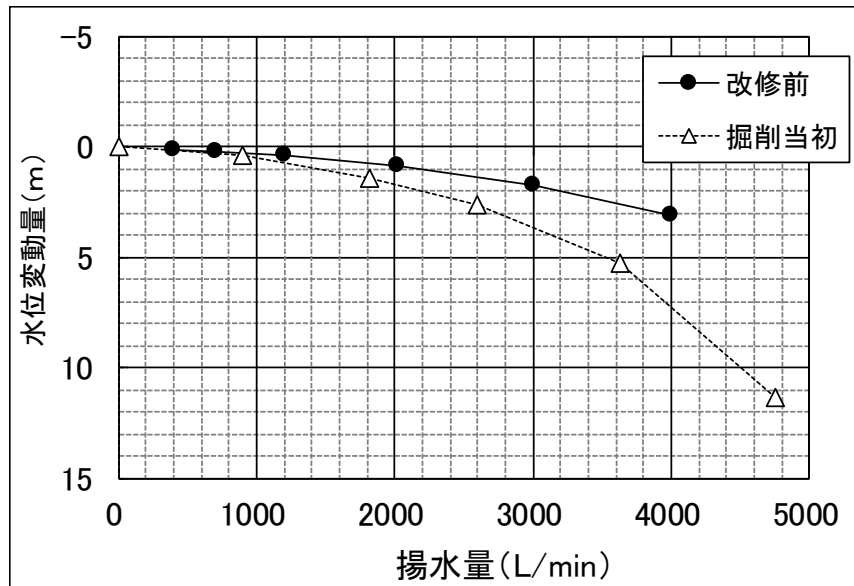
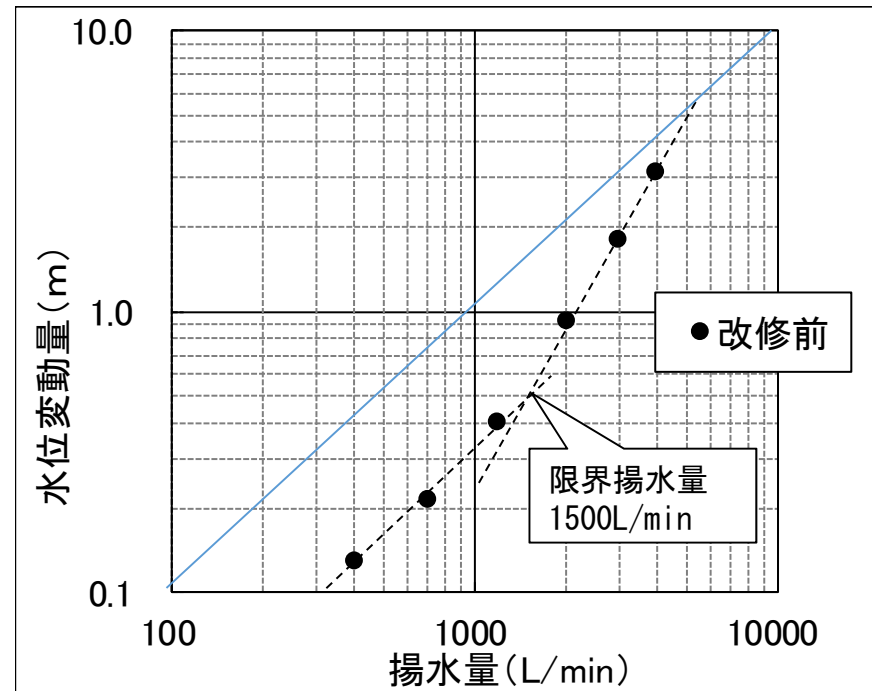


図6.4.1 水位(s)-揚水量(Q)特性図
(セクション)



揚 砂

- ポンプメーカーが提示している深井戸水中ポンプの砂の許容範囲は、『50 mg/L以下、粒径0.1~0.25mm以下』とされているが、本試験では目幅0.1mmのプランクトンネットで砂をサンプリングして容積 (cc/m³) で計測した。
- したがって、ここでは基準を0.1mm以上の砂が50mg/L以下と考えると、砂の比重を2~2.5と仮定して1 m³当たりの砂の基準値は20~25cc/m³以下となる。
- 揚水試験の結果、揚砂量は最大でも揚水直後の1.5cc/m³であり、ポンプに支障をきたす量ではないと判断された。
- 揚砂量は、揚水量にかかわらず40分後には0.5 cc/m³以下となった。
- しかし、5段、6段階目のように3 m³/min以上の揚水では、0.2cc/m³前後と僅かではあるが揚砂が継続して確認された。

ケーシング周辺からの地下水の湧出状況

湧水と揚水試験時の地下水の温度・電導度を表6.4.2に示した。湧水は、以下の理由から井戸内の地下水がケーシング外側に流出したものと考えられる。

- ① 地下水と湧水は、温度・電導度ともほぼ同じ値を示している。
- ② 孔内の水位の低下と共に湧水量は減少する。

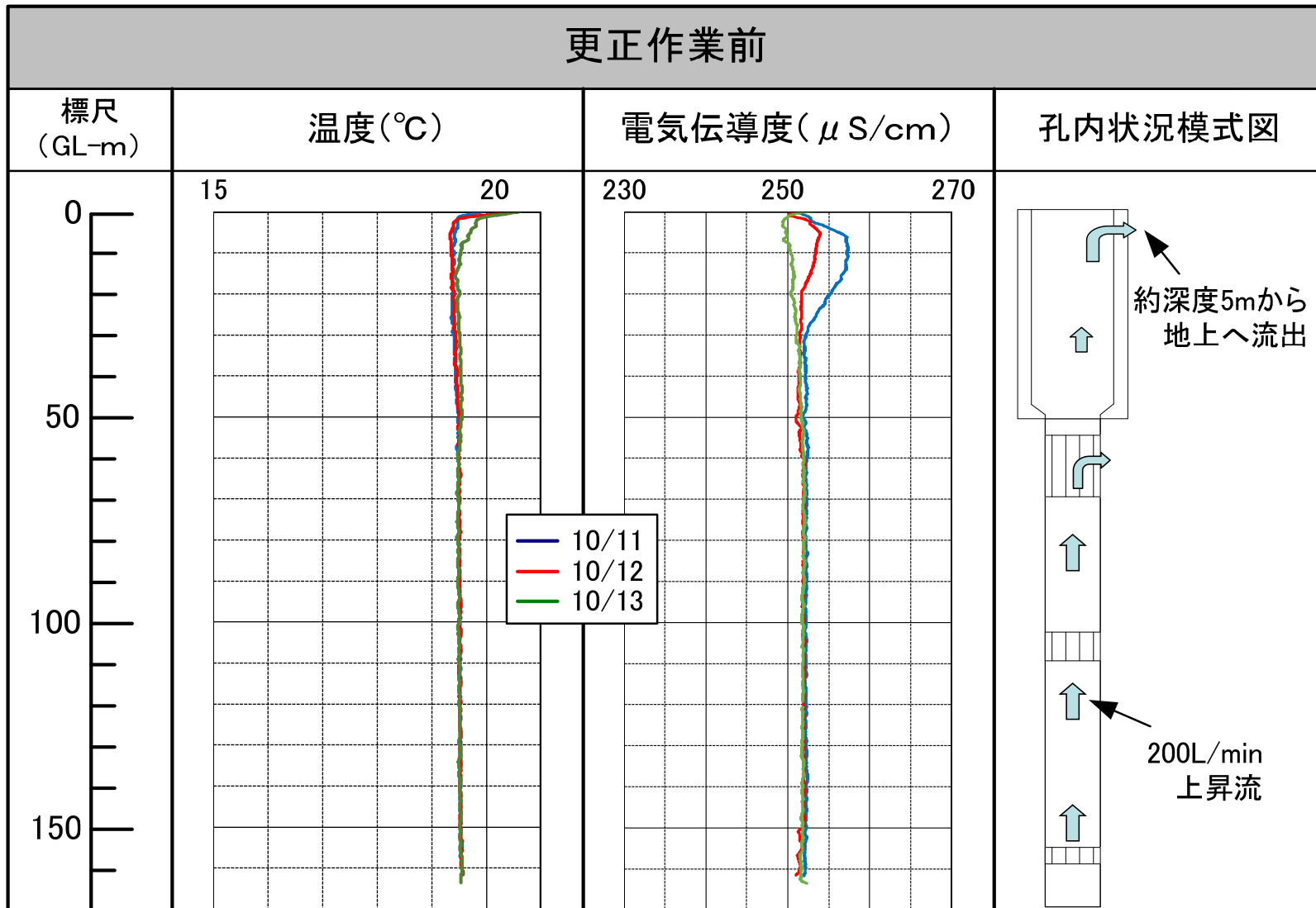
表6.4.2 揚水試験時の湧水

段階	沼山津10号井					湧水	
	揚水量 Q(L/min)	水位 (GL-m)		温度 °C	電導度 mS/m	温度 °C	電導度 mS/m
		初期	動水位				
1	402	-2.061	-1.933	20.3	21.4	19.4	21.1
2	708	-2.053	-1.841	19.9	21.6	19.7	22.2
3	1,204	-2.082	-1.685	19.1	21.8	湧水なし	
4	2,023	-2.095	-1.185	18.9	21.9		
5	3,008	-2.053	-0.260	18.6	22.0		
6	3,997	-2.052	1.076	18.4	22.0		

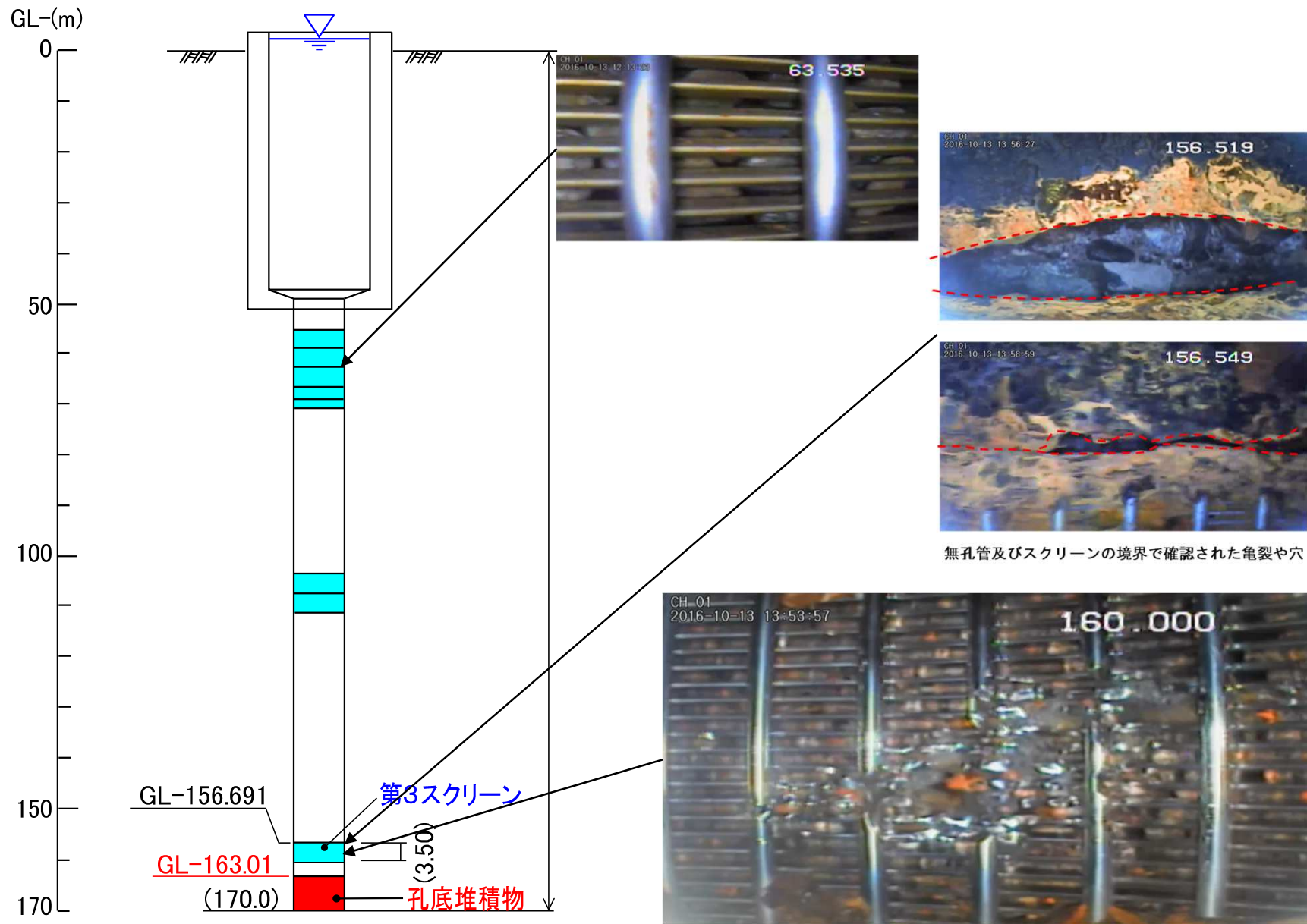


写真6.4.1
 抜け上がりによる井戸元 (GL) の変状
 ケーシング周辺より地下水湧出

温度・電気伝導度検層



水中テレビカメラ撮影結果



スクリーンで確認された破損箇所

5.5 機能診断

既存資料および井戸点検結果から、沼山津10号井の機能診断を実施した。その結果判明した課題を表6.5.1に総括し、以下に検討する。

表 6.5.1 沼山津 10 号井機能診断一覧

データ	項目	課題		結論
既存データ	揚水能力	1	限界揚水量 1500L/min を超えた 3000L/min 以上の揚水。	要検討
	稼働記録	2	比湧出量の減少を井戸能力の低下と評価しているが、限界揚水量以上で使用しているため、この評価は妥当でない。	要検討
		3	水位測定の基準点が不明なため、水位計交換時にデータが繋がらない。	要検討
井戸点検結果	揚水能力	4	当初揚水能力より上昇。	要検討
	ケーシングパイプ	5	揚水停止時、ケーシング内の地下水が、深度 5m 付近よりケーシング外側に流出し、地表に数 L/min 湧出。	要対策
			深度 156.5m 付近、腐食の進行により破損。	要対策
スクリーンパイプ	6	深度 160m 付近、揚砂により摩耗し破損。		

課題1

限界揚水量1500L/minを超えた3000L/min以上の揚水⇒要検討

最大4000L/min揚水においても、10年後の水位低下は僅か0.13mである。したがって、本井は限界揚水量1500L/minを大きく超える4000 L/min揚水(6段階目)においても水位は極めて安定的であり、揚水には全く問題ないと評価される。

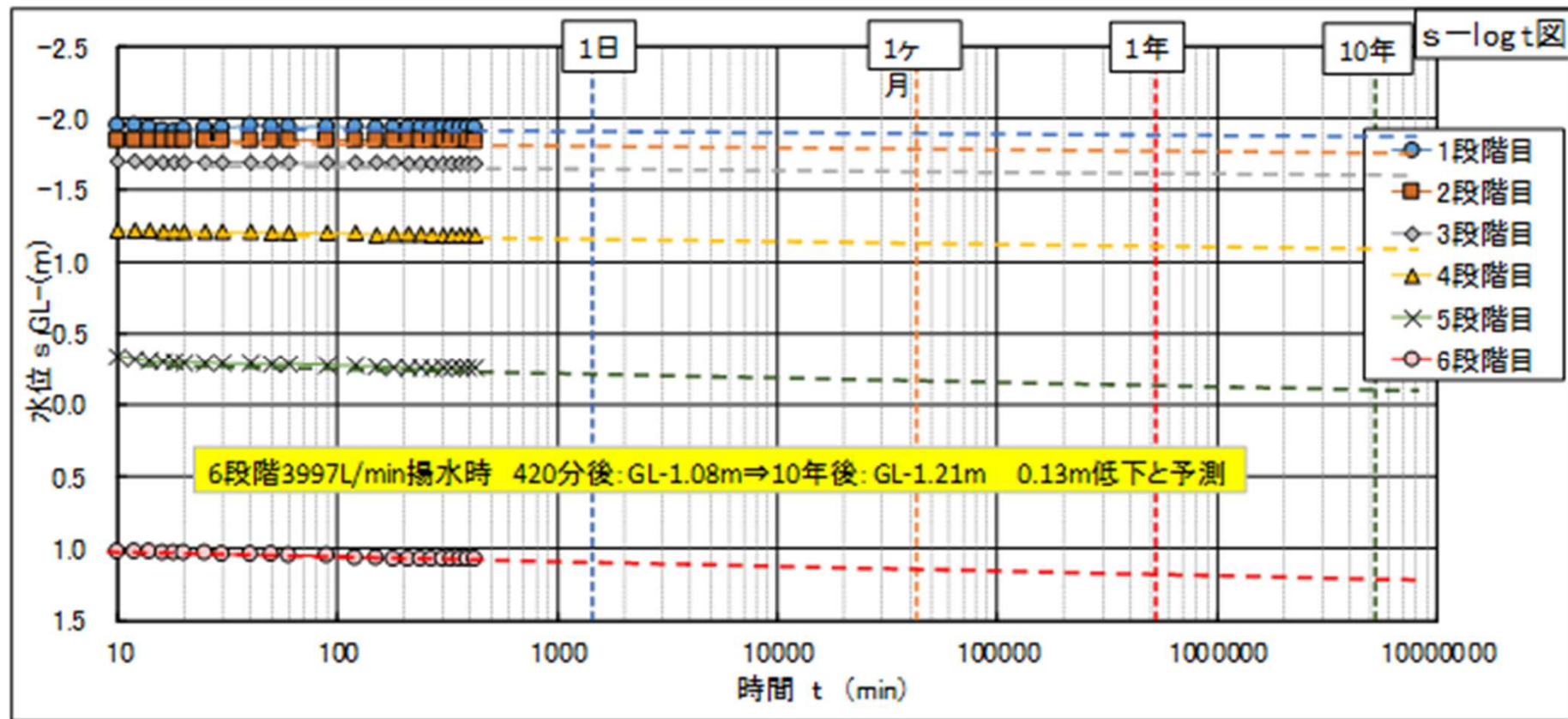
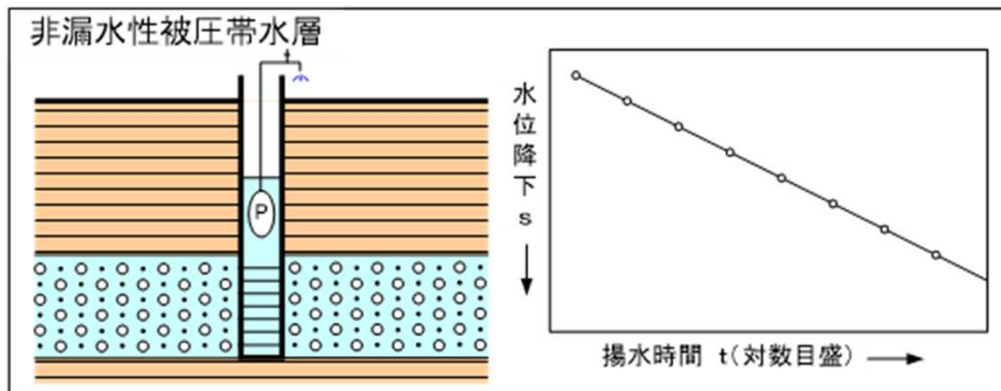


図6.5.1 N10号井 揚水水位長期予測



ヤコブ (Jacob) の直線解析法の理論は、図 6.5.2 に示すように同一帯水層が連続・無限の広がりを持ち、他層からの漏水はないという条件下で成り立っており、両者の関係は直線で近似される。

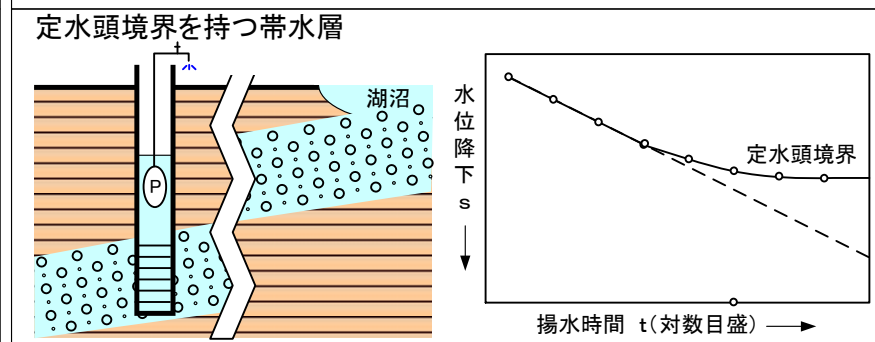
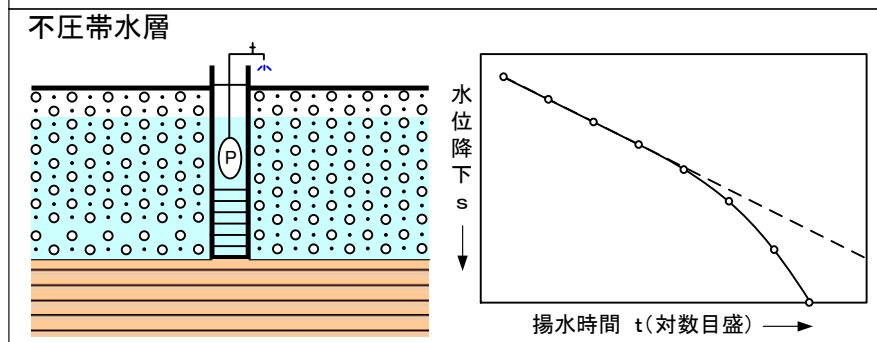
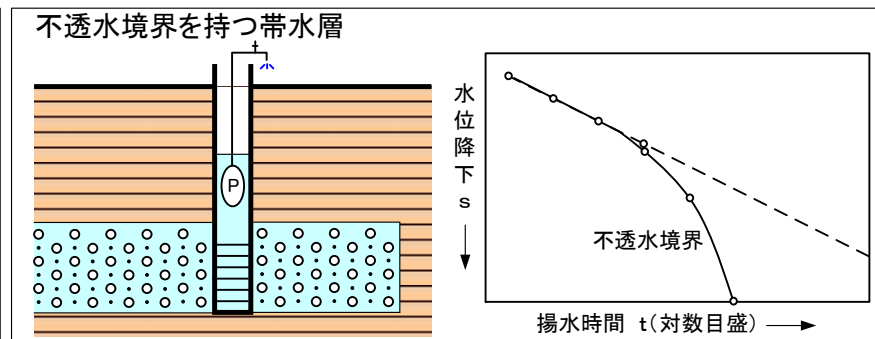
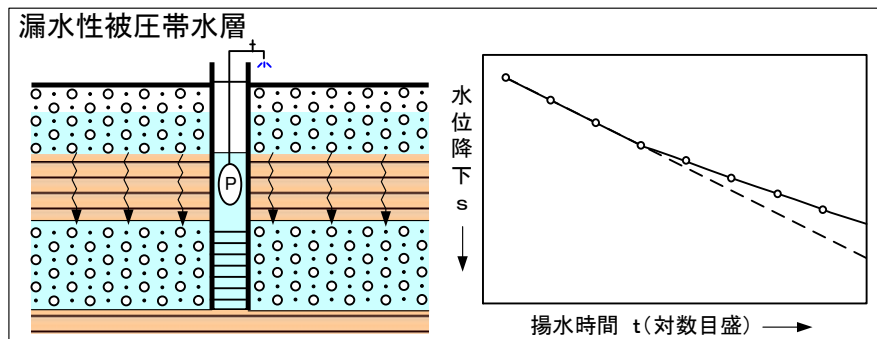


図6.5.3 帯水層系の違いによる水位降下と揚水時間 (対数目盛) 模式図

課題2

比湧出量の減少を井戸能力の低下と評価しているが、限界揚水量以上で使用しているため、この評価は妥当でない⇒要検討

- 適正揚水量以内の範囲では水位と揚水量の関係はほぼ直線で示され、その勾配から求められる比湧出量は一定となる。このことから比湧出量は井戸機能診断の基本的な指標の一つとなる。
- しかし、本井は限界揚水量を超えた揚水量で運用している。限界揚水量を超えると、揚水量の増加に伴い比湧出量が減少するので、比湧出量の低下が、井戸能力の低下と直結するものではない。
- この場合の井戸能力に関する井戸機能診断の最もシンプルな方法は、揚水試験結果から得られる水位（ s ）と揚水量（ Q ）との関係をグラフ化（ $s-Q$ 特性図）し、稼働記録から得られる揚水量（ Q ）とその時の水位（ s ）をグラフに記入し、比較することである。稼働記録のデータが $s-Q$ 特性の下方に描かれれば揚水能力は低下していると判断することができる。
- 図6.5.5に沼山津10号井の、掘削当初と今回調査（改修前）の $s-Q$ 特性を描き、稼働記録を記入した。図に見るように、ほとんどの稼働記録は掘削当初の $s-Q$ 特性の上部に位置しており、井戸能力は低下していないことが読み取れる。
- しかし、今回調査（改修前）の $s-Q$ 特性は、稼働記録の上部にプロットされている。この原因としては、地震により井戸能力が上昇した可能性が考えられる。

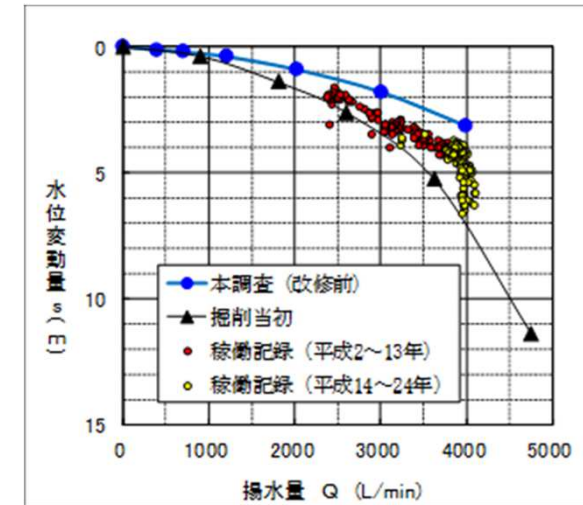


図6.5.5 $s-Q$ 特性図と稼働記録

課題4

当初揚水能力より上昇⇒要検討

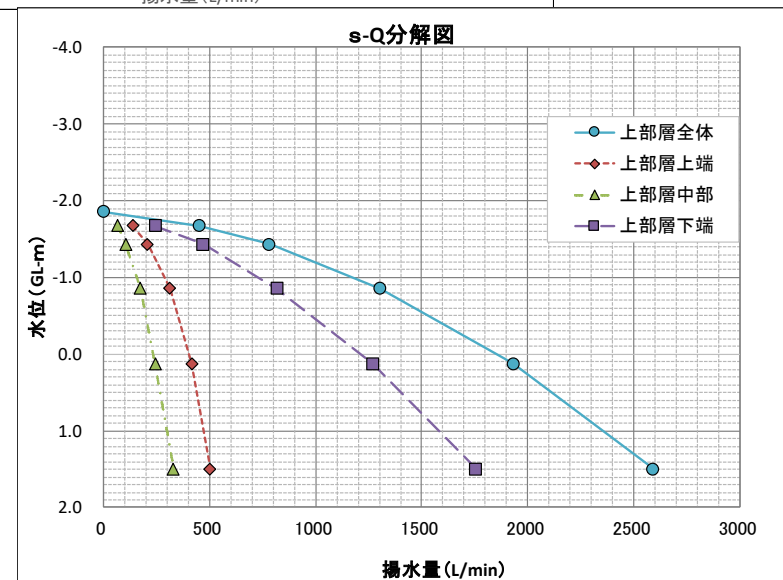
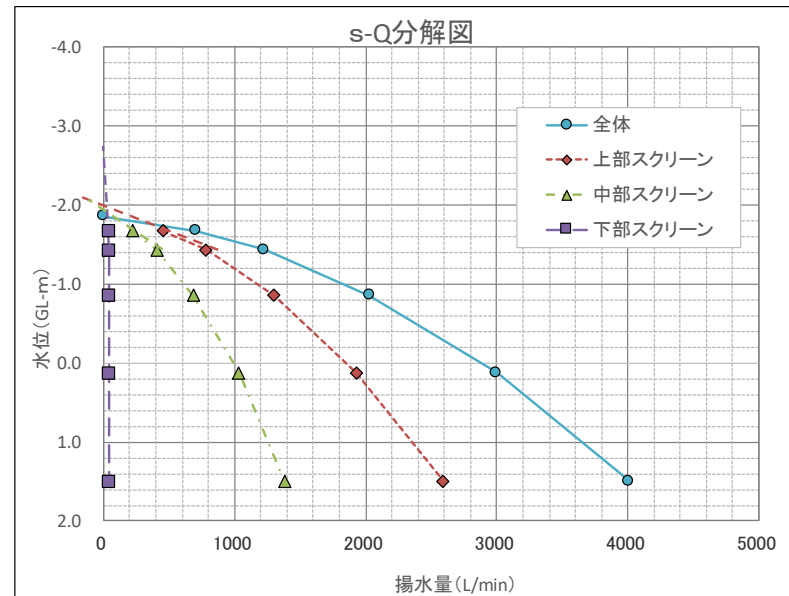
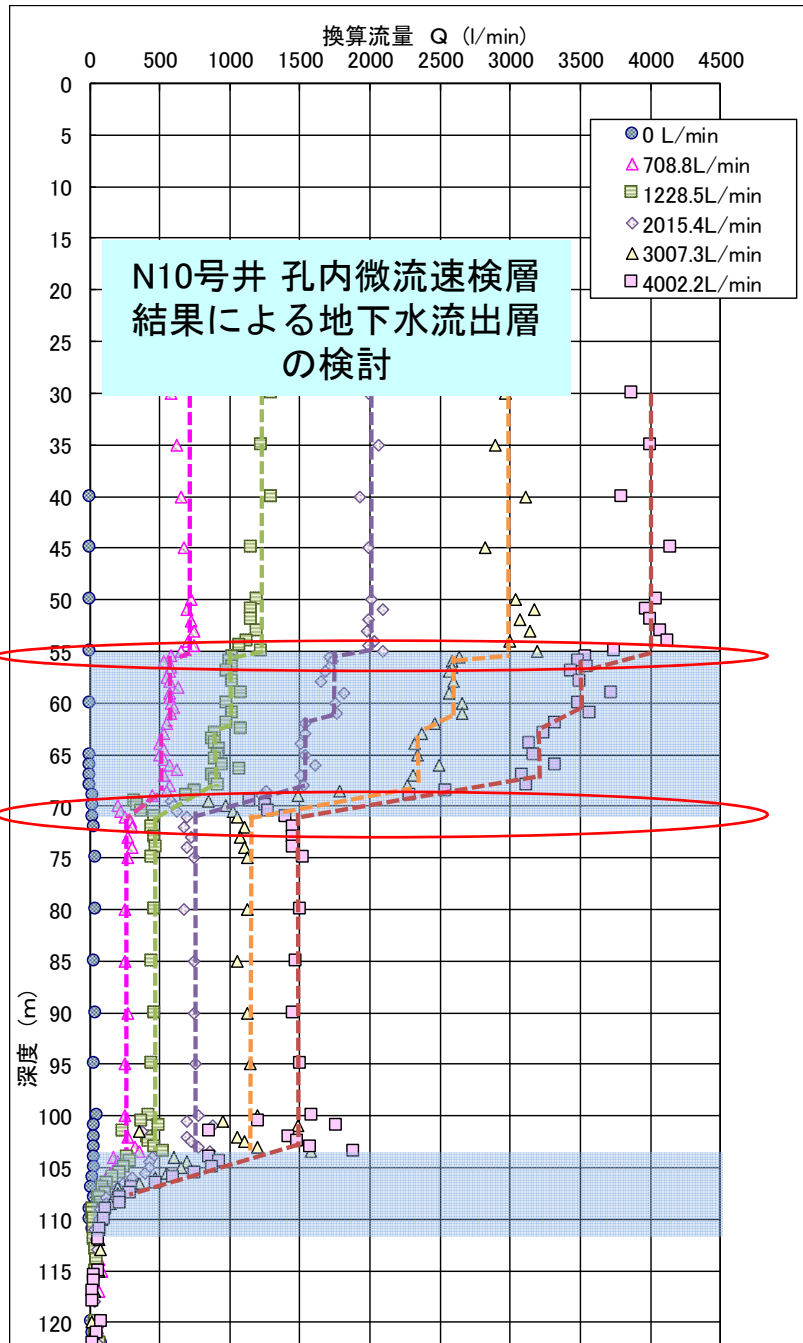


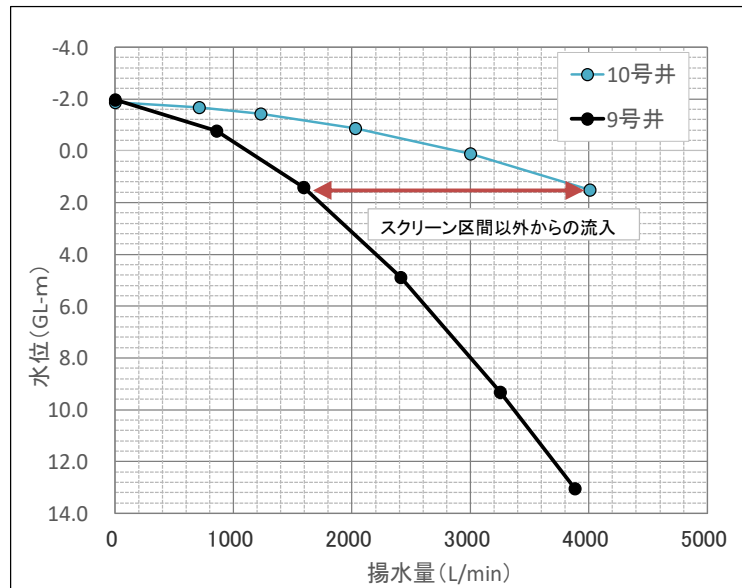
表6.5.2 沼山津10号井区間別詳細負担率

全揚水量	スクリーン区間別			スクリーン詳細区間別		
	区間	揚水量	負担率%	区間	揚水量	負担率%
3000	第一	1929	64	中部	243	8
				上端	417	14
				下端	1269	42
	第二	1031	34		1031	34
	第三	40	1		40	1

揚水量の単位:L/min

スクリーン区間以外から流入していると思われる上・下端部の総量は、全体の半分以上の56%⇒井戸効率を低下させている。

掘削当初より揚水能力が上昇したのは、このスクリーン以外からの流入量が増えたためと考えられる。その時期に関しては、6.5.2課題2で述べたように地震発生直後と考えられる。



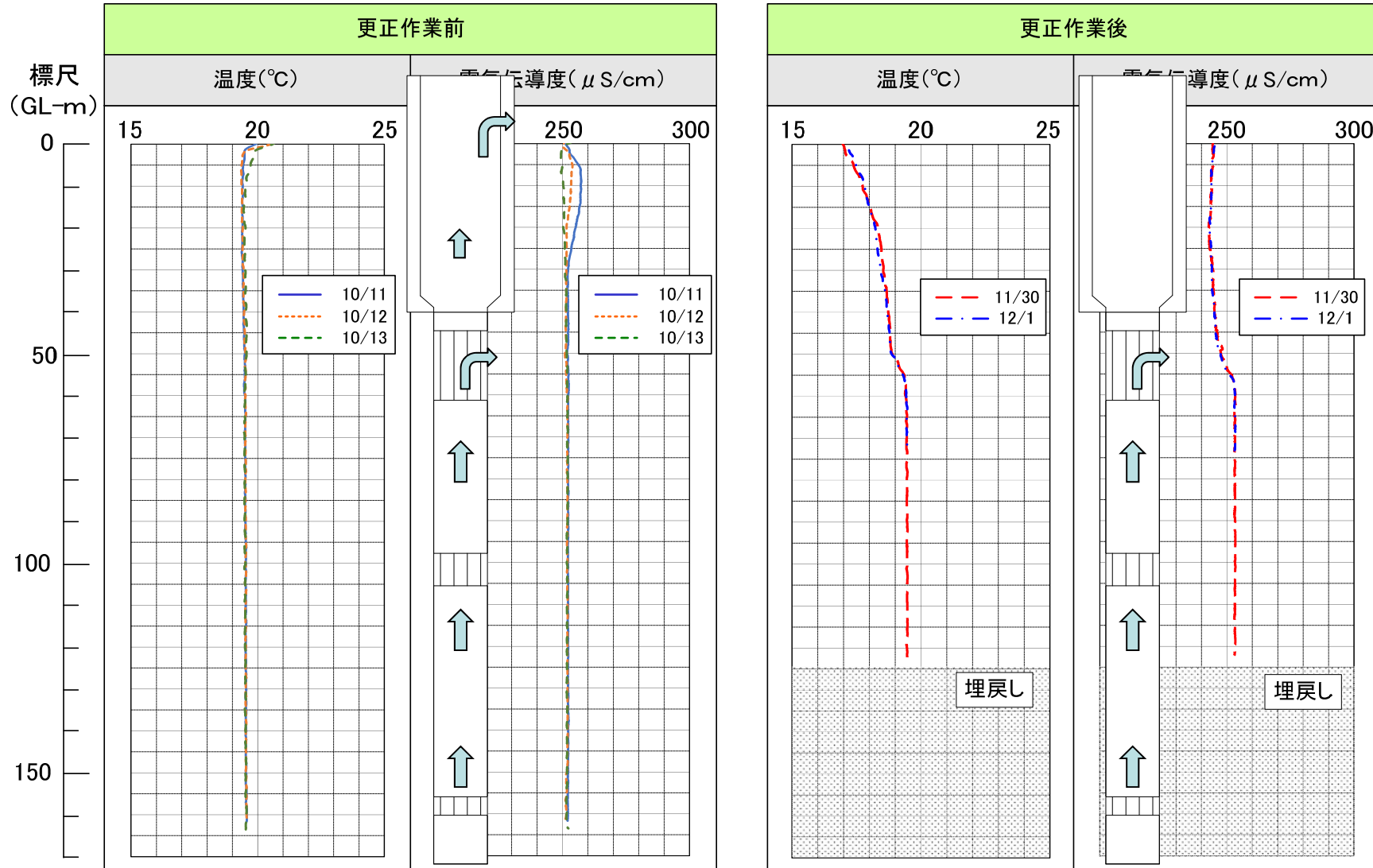
- 図6.5.10に沼山津9号井と10号井の揚水特性を示した。
- 両井ともほぼ同様の構造で、取水層も同じであるが、9号井の揚水能力は10号井の半分以下の揚水能力となっている。
- この揚水能力の差は、9号井はスクリーン区間以外からの流入がないためと考えられる。

図6.5.10 沼山津9号、10号揚水特性比較図

課題5

CP内の地下水が深度5m付近よりCP外側に流出、地表に数L/min湧出⇒要対策

対策工は、井戸周辺部にセメントミルクを注入する地盤改良方式で実施された。セメントミルクは、図6.6.1に示すように4孔のボーリング孔から、深度1~6mに965L/孔、合計3860Lの注入量である。



水温および電気伝導度の第三スクリーンからの直線化は作業前は地表付近まで続いていたが、作業後は第一スクリーンまでとなり、深度5m付近の破損部はセメントミルク注入により、完全に遮水できたと判断される。

課題6

深度156.5m付近のCPおよび深度160m付近のスクリーンで破損が確認された⇒要対策

カメラで確認された破損部から、孔内に流入した環状部の充填砂利は僅かであり、現状では井戸構造の機能は維持されているが、この状況で井戸を使用すれば、さらに孔内に充填砂利が流入する可能性が高く、大量に流入すれば井戸の修復は困難となることから、早期の対策が必要である。

対策の方法としては、以下の2つの方法が考えられる。

- (1) 破損部に内装管を設置し、下部スクリーン付近を修復する。
- (2) 破損部付近を砕石・セメント等で閉鎖する。

(1) 内挿管設置を設置する場合

この方法は、図2に示すように口径200mmの内挿管を設置する工法である。この方法を選択すれば、現状の揚水能力を低下させることなく安全に施工可能であり、最適な工法である。

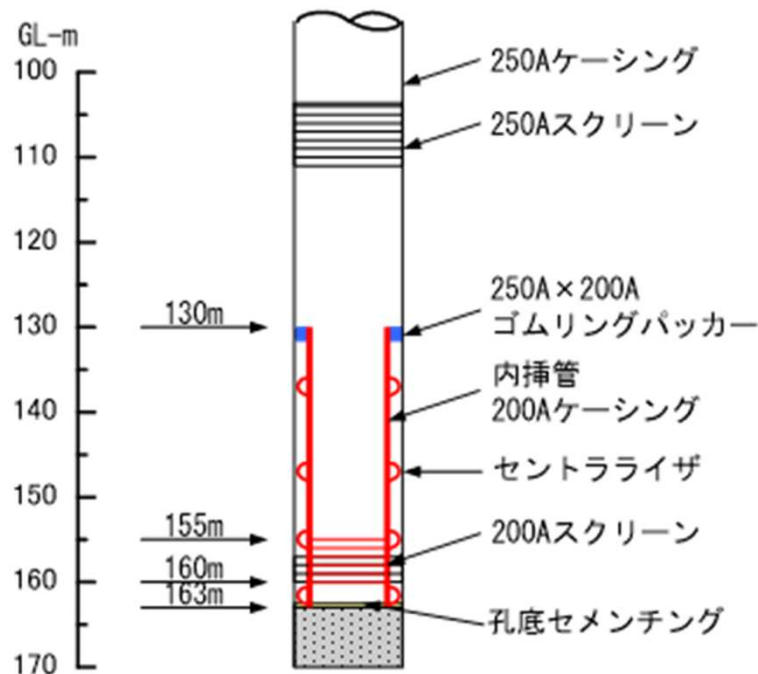


図6.5.12 改修計画図（内挿管設置）

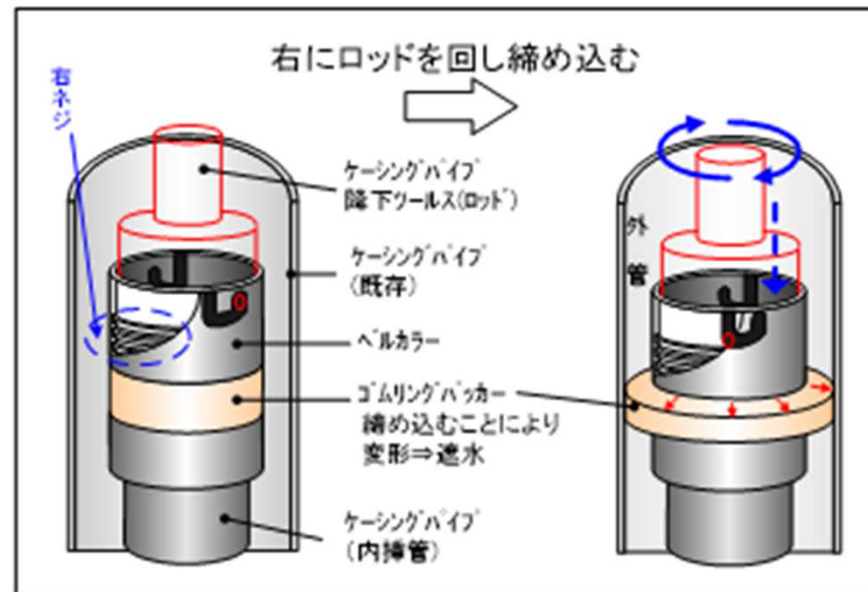


図6.5.13 ゴムリングパッカー概念図

(2) 破損部付近をセメント等で閉鎖する場合

本井は、揚水しない状態において、最下部スクリーンから最上部スクリーンへ約200L/minの地下水が上昇・流入している。その為、碎石の細粒分やセメント粒子が上部スクリーンへ流入し、目詰まりを生じる可能性がある。

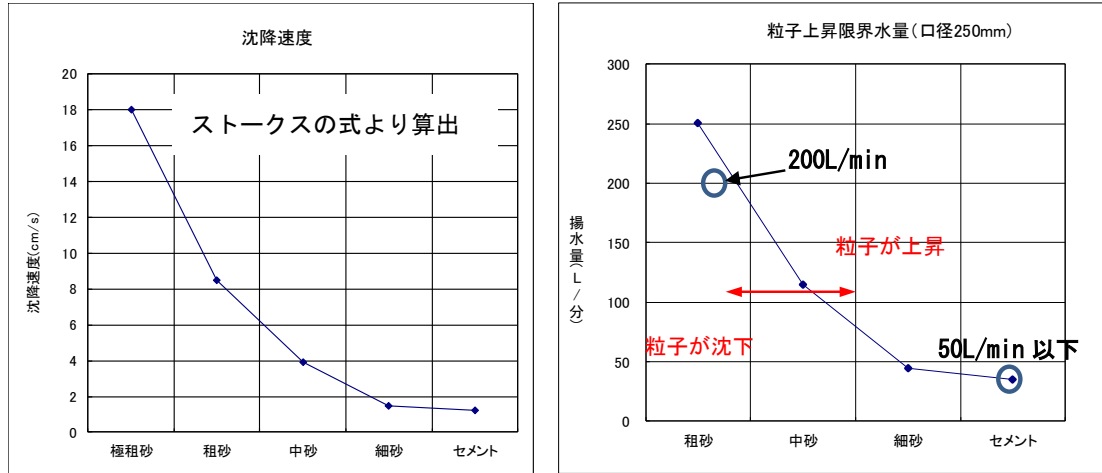


図1 粒子の沈降速度と上昇限界水量

第三スクリーンを完全に閉鎖した場合、沼山津10号井のs-Q曲線は下図の黒色破線のように計算される。したがって、閉鎖前の動水位より0.5m程度の低下で、3000L/minは揚水可能と判断される。

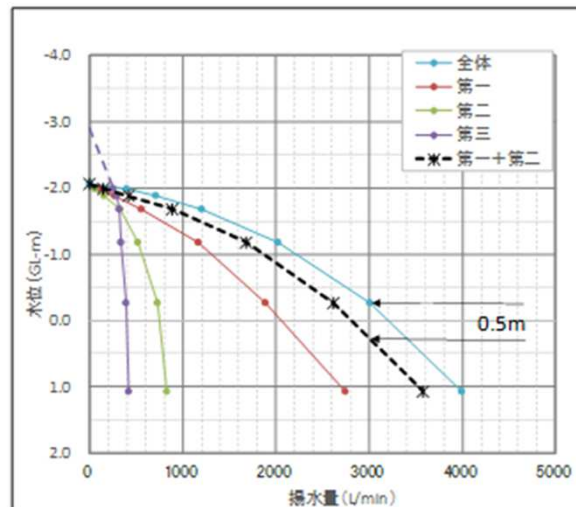


図6.5.15 第三スクリーン閉鎖後の揚水特性推定図

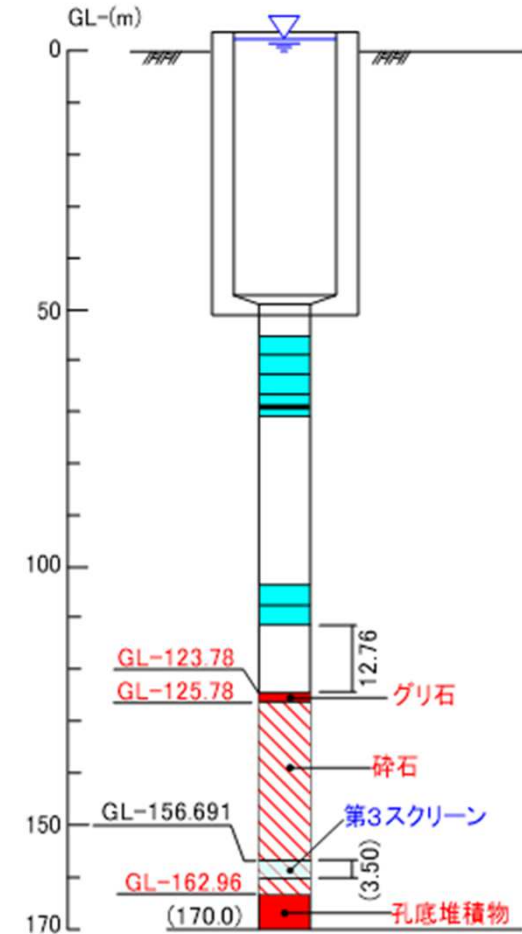
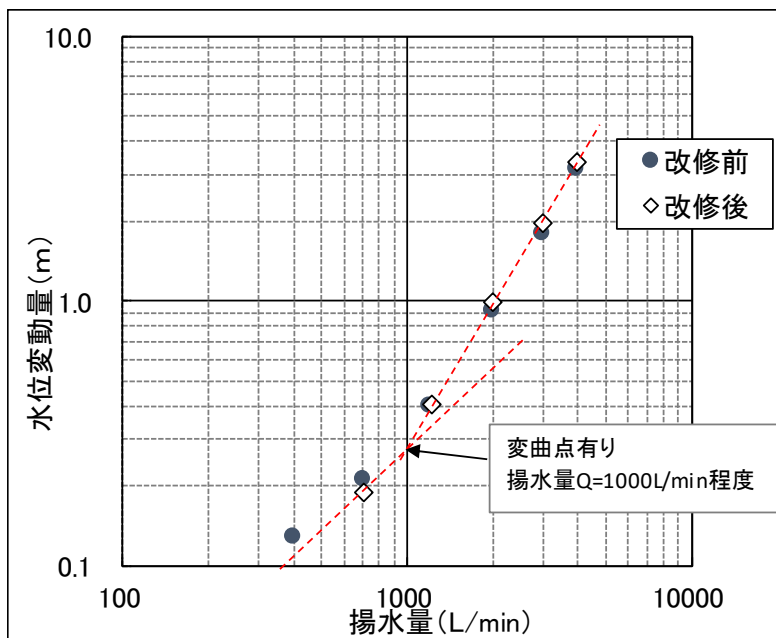
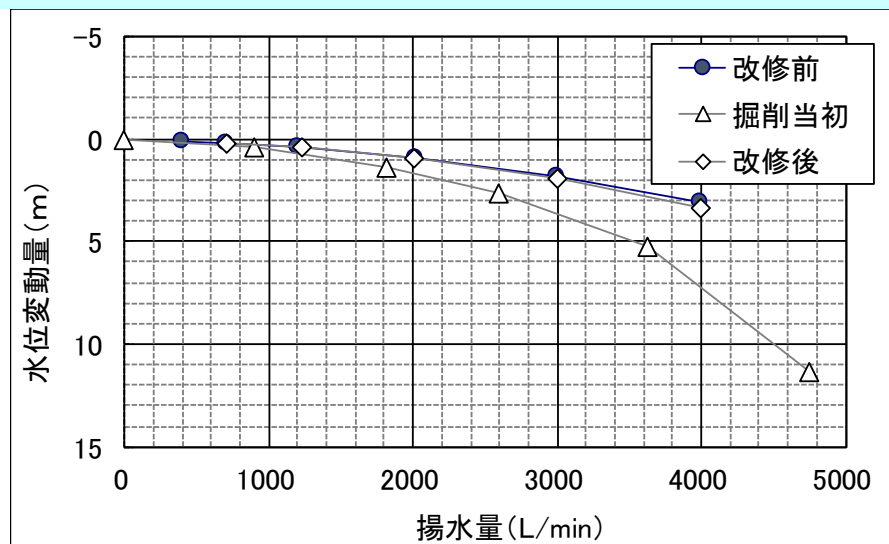
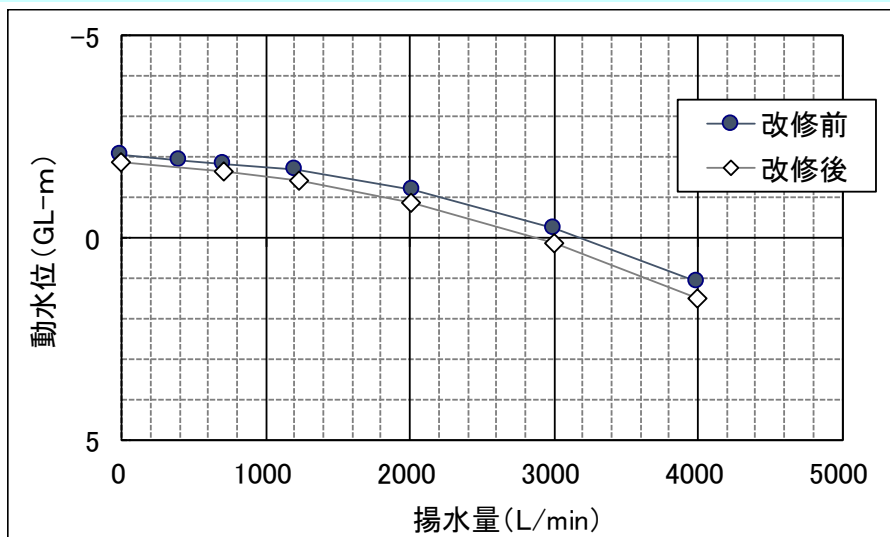


図6.6.2 破損部閉鎖作業結果図

5.6 10号井能力回復評価

揚水試験



改修前

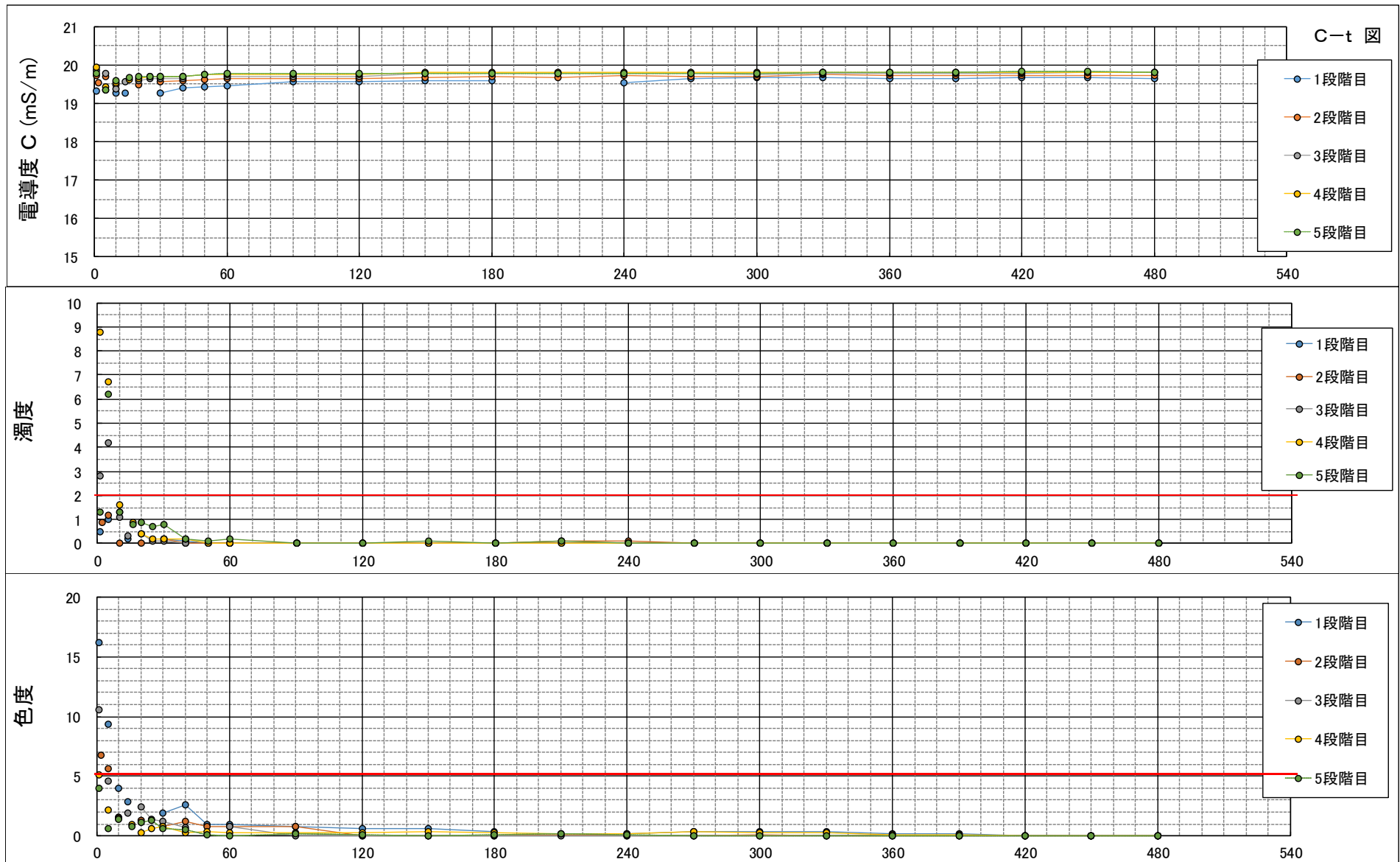
段階	揚水量		水位 (GL-m)		低下水位 SW(m)	比湧出量 (L/min/m)	時間 min
	Q(L/min)	Q(m ³ /d)	初期水位	動水位			
0	0		-2.061	-2.061			
1	402	579	-2.061	-1.933	0.13	3,141	720
2	708	1,020	-2.053	-1.841	0.21	3,340	720
3	1,204	1,734	-2.082	-1.685	0.40	3,033	720
4	2,023	2,913	-2.095	-1.185	0.91	2,223	720
5	3,008	4,320	-2.053	0.260	1.79	1,678	720
6	3,997	5,756	-2.052	1.076	3.13	1,278	720

改修後

段階	揚水量		水位 (GL-m)		低下水位 SW(m)	比湧出量 (L/min/m)	時間 min
	Q(L/min)	Q(m ³ /d)	初期水位	動水位			
0	0		-1.862	-1.862			
1	708.8	1,021	-1.862	-1.672	0.19	3,731	720
2	1,228.5	1,769	-1.843	-1.435	0.41	3,011	720
3	2,015.4	2,902	-1.842	-0.860	0.98	2,052	720
4	3,007.3	4,331	-1.839	0.120	1.96	1,535	720
5	4,002.2	5,763	-1.840	1.498	3.34	1,199	720

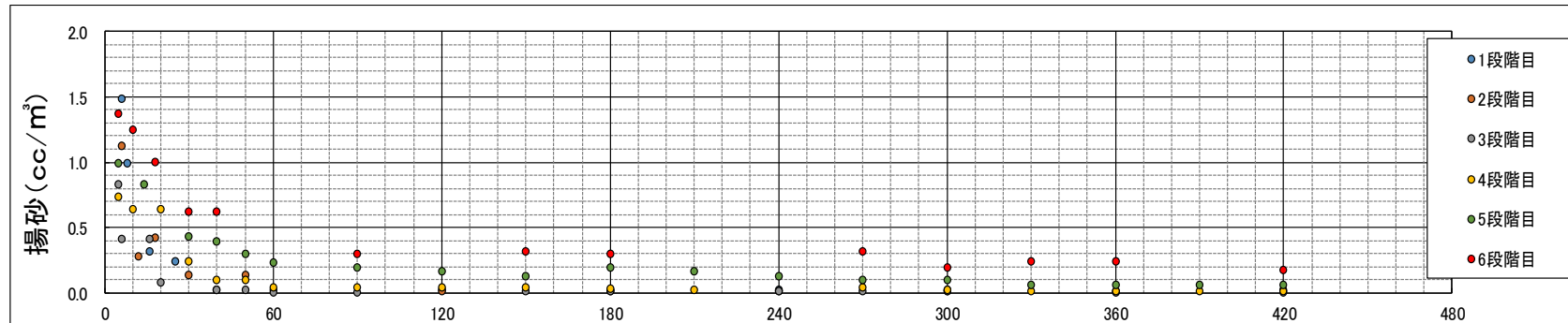
3000L/minの動水位は、改修前後で0.38mの低下

N10号井 電気伝導度・色度・濁度測定結果（改修後）

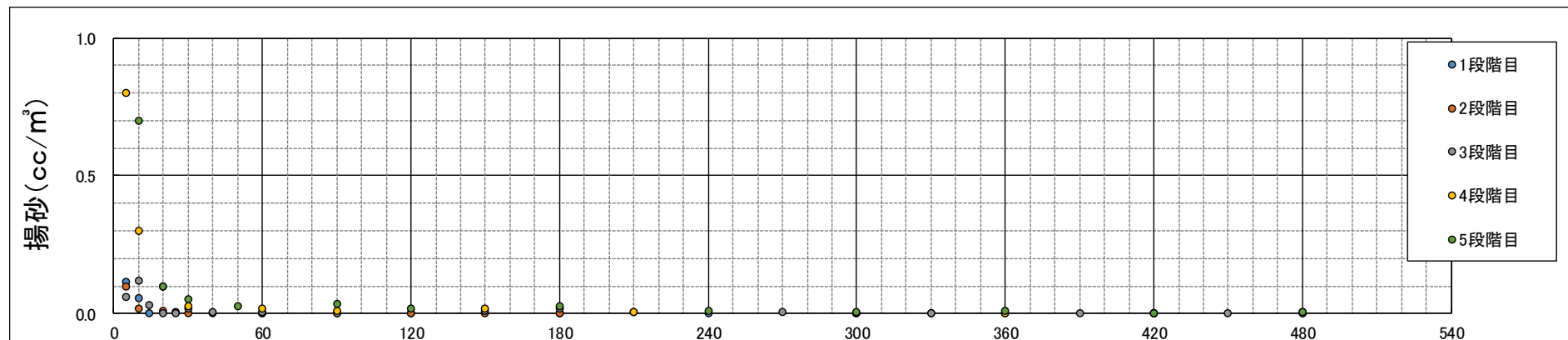


N10号井 揚砂測定結果

改修前

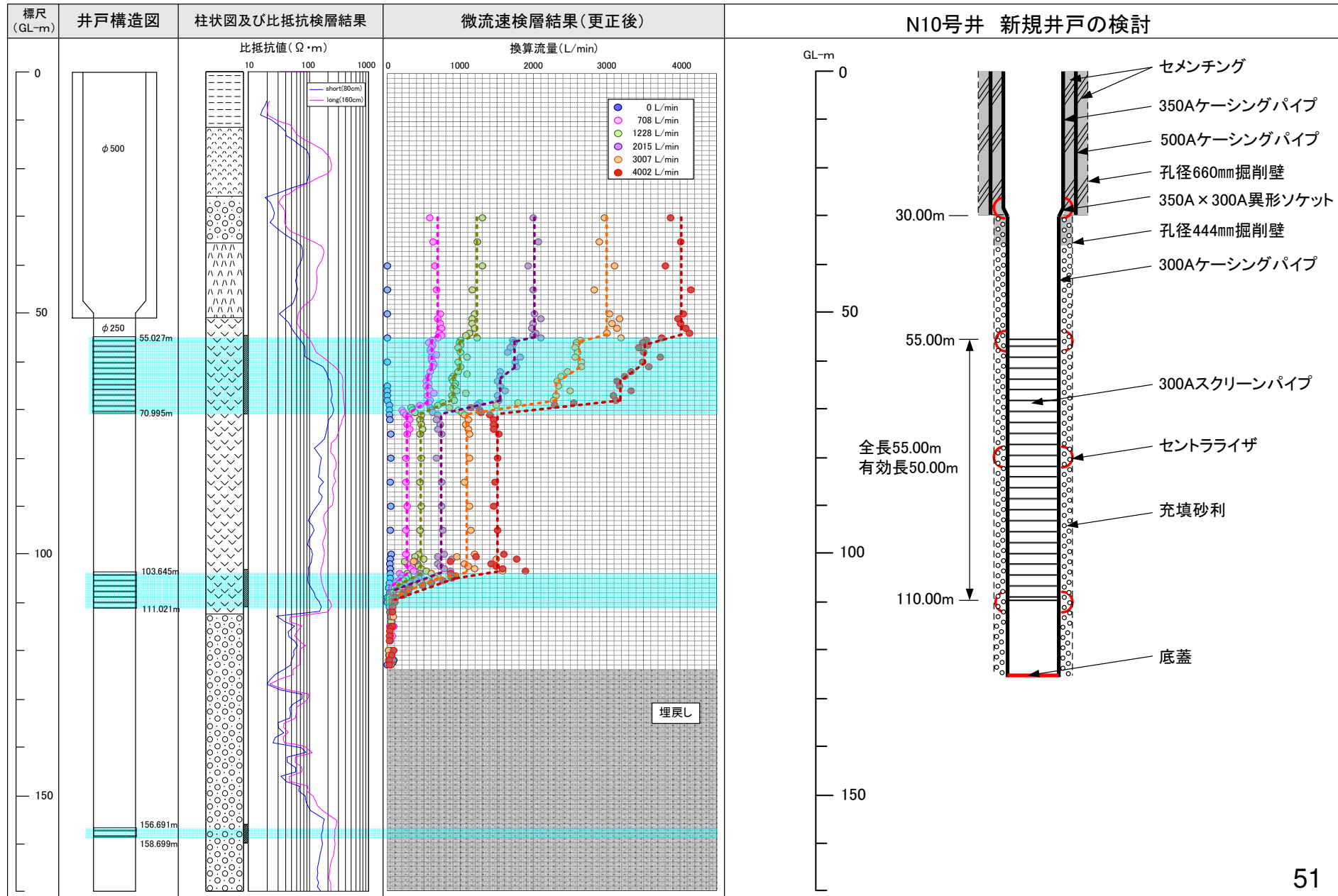


改修後



揚砂のほとんどは、下部スクリーンから発生

N10号井 新規井戸の検討



○砂を流入させない（防砂）ための検討

揚水時の砂の流入を防止するためには、計画水量揚水時のスクリーンの流入流速を掃流限界速度以下にしなければならない。

掃流限界速度を求めるためには、掘削時の地層サンプルや既存井の揚砂でふるい別け試験による砂の有効粒径・比重などの確認が必要だが、実際は事前に知ることができない場合が多く、一般的には表1に示した値で検討する。

帯水層からの流入速度をVとすると、流入量Qは以下のように求められるので、掃流限界流速1.0cm/sと1.5cm/sの時のスクリーン1m当たりの流入量を計算すると表2のようになる。

$$Q = A \times V \times 60 \div 1000$$

ここに Q: 流入量(L/分)

A: 流入断面積

= 土質の間げき率0.3(一般値) × 開孔面積 (cm²/m)

V: 流入流速(cm/秒)

表1 土の分類と掃流限界速度

土の分類	細砂	中砂	荒砂
粒径mm	0.05~0.25	0.25~0.5	0.65~2.0
限界流速cm/s	1.0~1.5	1.5~1.7	1.7~3.7

(出典) 『水道施設設計指針』2010 (公社) 日本水道協会

表2 流入流速1.0cm/s、1.5cm/s時の1m当たりの流入量

呼び径	スロットサイズ											
	0.5 mm			1.0 mm			1.5 mm			2.0 mm		
	開孔率 %	揚水量 L/分		開孔率 %	揚水量 L/分		開孔率 %	揚水量 L/分		開孔率 %	揚水量 L/分	
	1.0 cm/秒	1.5 cm/秒		1.0 cm/秒	1.5 cm/秒		1.0 cm/秒	1.5 cm/秒		1.0 cm/秒	1.5 cm/秒	
150 A	11.1	11	17	20	20	30	27.3	28	41	33.3	34	50
	17.9	17	26	30.3	29	43	39.5	38	57	46.5	44	67
200 A	11.1	14	22	20	25	38	25.0	35	53	33.3	43	65
	17.9	22	33	30.3	38	57	33.3	49	74	46.5	58	87
250 A	10.0	16	23	18.2	28	43	25.0	39	59	30.8	48	72
	14.3	22	33	25	39	58	33.3	52	77	40.0	62	93
300 A	10.0	20	29	18.2	34	51	25.0	47	70	30.8	58	86
	11.1	20	31	20	37	55	27.3	50	76	33.3	62	92
350 A	9.4	20	29	17.2	36	53	23.8	49	74	29.4	61	91
	11.1	23	35	20	41	62	27.3	56	85	33.3	69	103
400 A	9.4	21	31	17.2	40	60	23.8	56	84	29.4	69	103
	11.1	26	39	20	47	71	27.3	64	96	33.3	79	118
500 A	9.4	22	33	17.2	51	76	23.8	61	92	29.4	87	130
	11.1	33	49	20	56	84	27.3	80	120	33.3	98	147
600 A	9.4	33	50	17.2	61	91	23.8	84	126	29.4	104	156
	11.1	39	59	20	71	106	27.3	96	144	33.3	118	176

計画水量: 3,000 L/分 取水層厚(スクリーン長): 50 m 取水層: 砂礫(砂は中砂)

取水層の砂分は中砂であることから、掃流限界速度1.5cm/秒、スクリーンはスロットサイズ(目幅)1.5mm、開孔率25%を選択し、口径250mmと300mmで検討すると、下表からスクリーン1m当たりの地下水流入量は59L/分と70L/分とる。

したがって、計画水量3,000 L/分を確保するために必要な、それぞれのスクリーン長Lは

口径250A $L = 3000 \div 59 = 50.9m > 50m \Rightarrow \times$
 口径300A $L = 3000 \div 70 = 42.9m < 50m \Rightarrow \bigcirc$

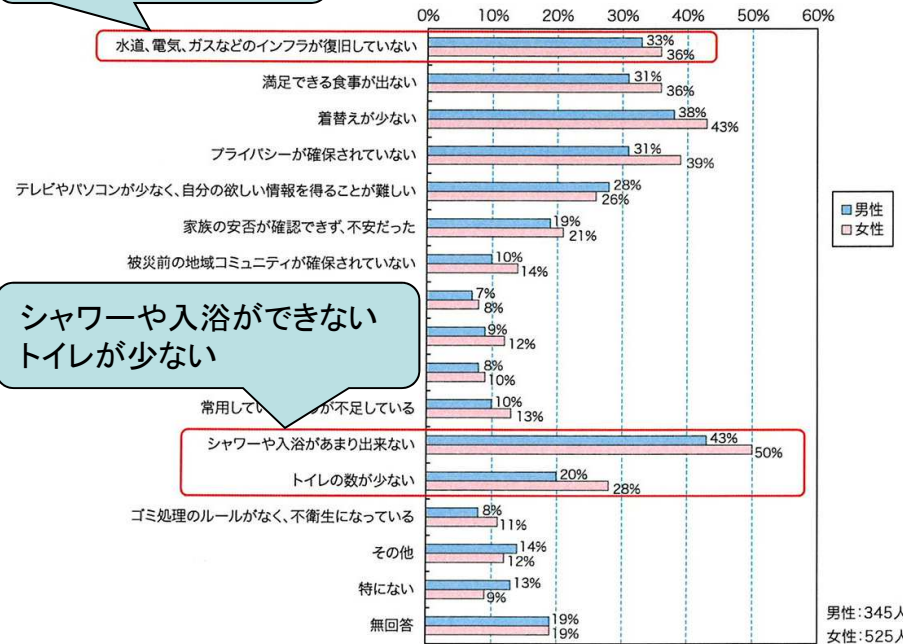
本日の話題

1. 熊本県の地下水
2. 熊本地震概要
3. 井戸被害調査概要
4. 聞き取り調査による井戸被害調査結果
5. N10号井戸点検
6. 災害から学ぶこと
7. おわりに

東日本大震災 避難所・自宅で困ったこと

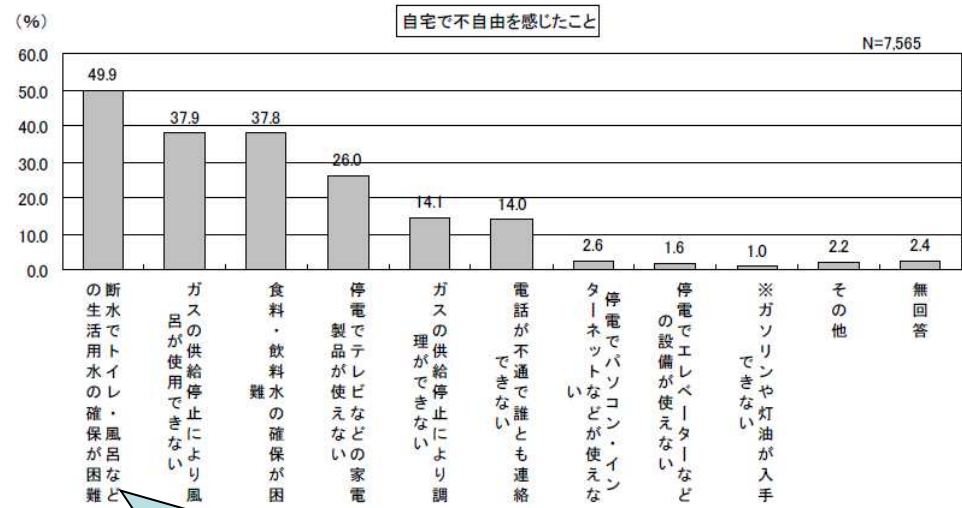
水道などのインフラが復旧していない

シャワーや入浴ができない
トイレが少ない



(注) 内閣府中央防災会議資料をもとに国土交通省水資源部作成

避難所生活で困っていること(アンケート)
平成24年度日本の水資源(国土交通省)より引用



※が付いているものは、他の中から特に多かった項目を抜粋

断水でトイレ風呂など生活用水が確保できない

3月11日以降、自宅で生活する中で特に不自由を感じたこと
仙台市ホームページより引用

熊本地震において避難所の設備で困ったこと、役に立った機能

※46設置者（県及び全市町村）へ照会し、27設置者から回答あり。（うち、有効回答は24設置者分。）

◆備えられていなかったために困った機能

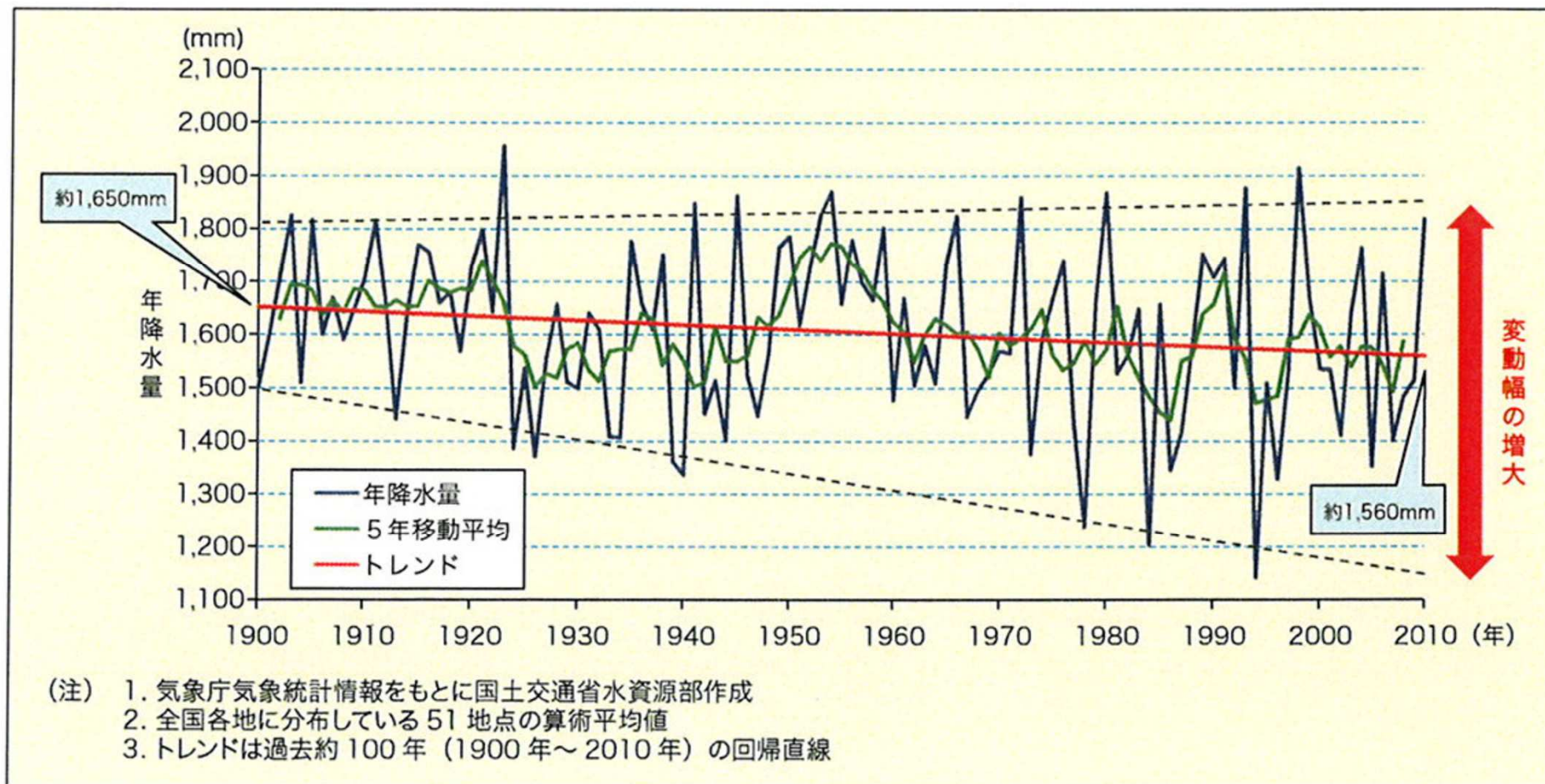
- 全般を通して、外にあるトイレの往復が不便とのことから、多くの設置者が体育館内の多目的トイレの必要性を挙げた。
- 地震発生時は広い範囲で停電が発生し、自家発電設備の必要性を求める設置者が多かった。
- 夜間は館内が真っ暗になるため、調光機能を備えた照明や館内出入口の照明が必要という回答があった。
- 避難当初はライフラインの断絶により水の確保、とりわけトイレの水が確保できずに困ったと多くの設置者が回答。
- 断水解消後は、生活スペースとしての機能を求める住民が多くなったとして、空調やプライバシー配慮スペースが必要とほとんどの設置者が回答。

◆備えられていて役に立った機能

- 全般を通して、避難所として活用できた施設は構造体はもちろん、非構造部材における耐震化を行っている施設だった。
- 断水後は井戸や中水道施設が、停電時には自立運転機能等を備えた太陽光発電設備が役に立ったとの回答が多かった。
- 今回の地震の特徴として、車中泊が多かったためナイター照明が安心感を得られる等の理由からも役に立ったとの回答が多かった。

出典：さく井協会九州支部 岩隈支部長『防災用井戸のススメ』

日本の年降水量の経年変化



水道における災害・事故の状況

災害	要因	水源域現象	水道施設の影響		最近の発生事例
			原水水質	取水・浄水施設	
自然災害	風水害	土石流、地盤崩壊、	濁度、鉄・マンガン濃度上昇等	<ul style="list-style-type: none"> 取水口土砂埋塞 急速・緩速ろ過池機能停止等 	2009年9月;台風9号でA町5浄水場冠水断水(約4600世帯,22日間)
	豪雪災害	シャーベット・氷発生		<ul style="list-style-type: none"> 取水スクリーン結氷(目詰現象、取水量減) 	
	渇水災害	流量減少	水源域の藻類による臭気発生	<ul style="list-style-type: none"> 取水量減少・停止 	2009年5月~7月;A市水道給水制限、B町は6月に22日間の夜間断水
	火山災害	火山噴火、降灰	濁度、PH上昇	<ul style="list-style-type: none"> ろ過砂に灰付着等(ろ過能力低下、停止) 	1978年5月;有珠山噴火降灰で浄水場停止、断水
	津波災害		塩水化	<ul style="list-style-type: none"> 構造物損壊 取水量減少・停止 	2009年8月;駿河湾を震源とする地震で静岡県、神奈川県内で断水(75,000戸,最大3日間)
	地震災害	山崩れ、土石流、地盤崩壊	濁度、鉄・マンガン濃度上昇等	<ul style="list-style-type: none"> 取水口土砂埋塞 施設設備損傷 取水量減少・停止 	2011,3;東日本大震災で断水(230万戸)
人為災害	化学物質の流出	水源流域での工場、事業所排水等	油類、薬品類	<ul style="list-style-type: none"> 活性炭注入 取水量減少・停止 	2012年5;利根川水系化学物質廃水流出、減・断水(36万戸、87万人に影響)

* 最近の発生事例は「国土交通省平成21水資源白書及び被災県HPなど」より作成

地域防災計画における地下水利用の優位性

河川・池・湖沼水や海水⇒△

これらの水資源の水質は不安定で取水位置も限定される。

プール⇒△

施設が耐震化されていない場合が多い。特に古い施設は液状化等により損壊する恐れがある(東日本大震災において損壊率46.8%)。また、一般的なプール容量約660立方メートルは容量不足(収容500人×250Lで5.3日分)。

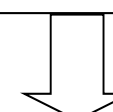
地下水⇒◎

- 気象条件に左右されない身近な水資源であり、水質が良好であれば飲料水や医療用水に活用できる。また、飲料水として直接使用することが水質面から難しい場合でも、トイレ用水などの生活用水として利用可能であり、災害後の公衆衛生を確保するうえで極めて有効である。
- 「東日本大震災・熊本地震による井戸の被害調査」から、井戸は地震に強く、耐震性に富んでいることが再確認された。
- さらに、需要(必要とされる場所)と供給場所(井戸の設置箇所)が同一または近接しているため、配管の寸断などのリスクは少ない等、他水源に比し優位性に富んだ水資源である。

水道における災害・事故の対策

	地下水の活用(表流水と併用又は単独使用)	対策と効果
平常時	<p>平常時</p> <p>70% 30%</p> <p>地表水取水 → 浄水場 ← 地下水</p> <p>↓</p> <p>配水池</p> <p>*%数値は原水量の負荷分散比率の例を示す</p>	<p>□ 予備水源及び水源の多系統化</p> <ul style="list-style-type: none"> • 災害時の予備水源の確保 • 浄水処理の安定化 • 薬品処理コストの軽減化策など • 災害リスクの低減化策
異常時	<p>水源域で水量・水質に影響を及ぼす諸現象(渇水、水質汚染等)発生時</p> <p>80~50% 20~50%</p> <p>地表水取水 → 浄水場 ← 地下水</p> <p>↓</p> <p>配水池</p> <p>* 地下水併用時の揚水量は地表水取水量で変動</p>	<p>□ 水源水量減少及び水質の異常時</p> <ul style="list-style-type: none"> • 渇水時対応(水量不足) • 濁度上昇等水質異常時の浄水処理の対応(処理プロセスの負荷軽減、処理コスト(薬品・汚泥発生量など)の軽減)
災害時	<p>地震、集中豪雨、土石流、火山噴火などにより施設損傷、損壊及び機能低下発生時</p> <p>0% 100%</p> <p>地表水取水 → 浄水場 ← 地下水</p> <p>↓</p> <p>配水池</p> <p>* ろ過機能を維持できない場合は、地下水の指標菌の不検出を確認し、滅菌後に直接配水池に送水</p>	<p>□ 取水・浄水処理不能及び水質異常時など</p> <ul style="list-style-type: none"> • 土石流等による取水不能対応 • 災害で浄水システム停止時の対応 • 応急給水拠点としての機能確保

地表水を水源とする水道では、予備水源または代替水源を備えることが必要である。



地下水の活用を図ることが、有効な対策となる。

簡易水道は人口減少、水道職員の削減が続き、水道経営に大きな影響を与えており、老朽化施設の更新や維持管理の困難性が想定されている。

このため、全国簡易水道協議会では低コストで安全性の高い地下水源に着目し、最小の費用で水道施設を設置・活用して安全な水道水の確保を目的として、『**わかりやすい簡易水道井戸ハンドブック**』を作成した。

水道システムでの地下水の活用例(水道)

地域防災計画における地下水利用の現状

(1) 国土交通省の地下水有効利用の取り組み

- 平成19年3月:『健全な地下水の保全・利用に向けて』
- 平成21年3月:『震災時地下水利用指針(案)』

(2) 自治体の災害用協力井戸(応急給水用井戸)制度の展開

- 災害時に個人や企業が保有する水井戸を生活用水として提供してもらう「災害用協力井戸の制度」が全国の自治体で導入されてきている。
- この制度は、個人や事業所で保有する井戸を自治体に登録し、災害時に水道が断水した際に近隣住民に生活用水として無料で開放・使用できる仕組みで、これまでに都内21区のほか政令指定都市など15市で、12,000個所の井戸が登録されているとの報道もある。

(3) 災害時の医療活動用水の事例

『災害医療等のあり方に関する検討会(平成23年10月厚生労働省)』によると、東日本大震災における医療活動用水について、以下のように報告されている。

- 井戸設備を備えている病院は229 病院(46.8%)であった。
- [参考]国立病院機構水戸医療センター(病床500床)で2011年1月に地下水飲料化システム導入
⇒ライフラインの2WAY化
- 東日本大震災時には、水が使用可能だったことから、患者の受け入れが可能であった。

(4) 災害時の防火用水の事例

東日本大震災での東京都対応(消防水利の確保に関して)

【課題】

今回の震災では、大津波による被害だけでなく火災も発生し、被害を受けている。首都直下地震の際、都内においては、木造住宅密集地域を中心に、同時多発火災や大規模市街地火災が発生する可能性が高い。

しかしながら、消防水利の不足地域を見ると、そのほとんどが木造住宅密集地域に集中しており、この地域内では防火水槽の設置用地の確保が困難になりつつある。そのため、迅速な消火活動の実現に向けた、消防水利の整備のための方策を講じる必要がある。

【対応】

今回の震災を踏まえて、区市町村では、地元消防署と連携した水利整備や、都市構造の変化に対応した水利整備計画の推進の検討などが進められている。

都としては、防火水槽の整備等の既存の手法だけではなく、**発災時における生活用水等にも活用が図れる多機能型深井戸の整備を推進し、木造住宅密集地域における水利の確保を図っていく。**

東京都:防災対応指針(平成23年11月)

地域防災計画における地下水利用

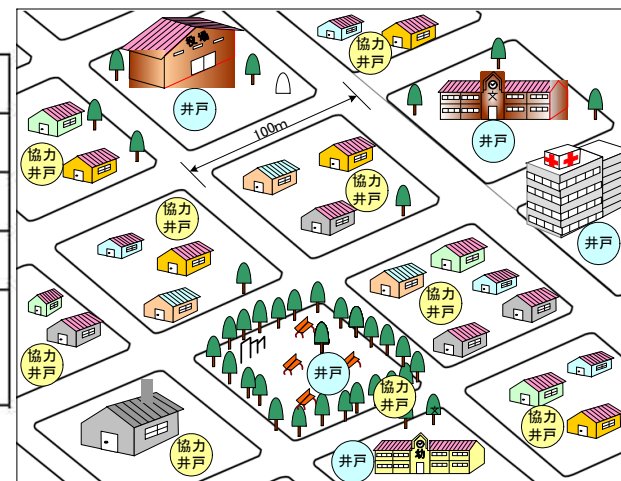
(1) 地域防災計画における非常用給水計画

- 大規模震災時に求められる水需要は、下表に示すように震災発生直後から各段階で変化する。

応急給水の目標設定例

地震発生からの日数	目標水量	市民の水の運搬距離	主な給水方法
地震発生～3日まで	3 ㎥/人・日	概ね 1km 以内	耐震貯水槽、タンク車
10日	20 ㎥/人・日	概ね 250m 以内	配水幹線付近の仮設給水栓
21日	100 ㎥/人・日	概ね 100m 以内	配水支線上の仮設給水栓
28日	被災前給水量 (約 250 ㎥/人・日)	概ね 100m 以内	仮設管からの各戸給水 共用栓

資料) 厚生労働省「水道耐震化計画等策定指針」(2008年)より抜粋



- 防災井戸は、前章で述べたように自治体の災害用協力井戸(応急給水用井戸)制度を構築・活用するのが有効である。
- 特に、災害対策の重要な拠点となる「収容避難場所(学校・公民館など)」、「病院・診療所などの医療施設」等には、水供給施設として防災井戸とともに揚水ポンプ用の非常用発電設備を備えることは、災害時の断水対策として極めて有効である。
- 防災井戸は災害時のみに利用するのではなく、平常時から必要な給水量の一部または全部を利用することが望ましい。そうすることで、水等のコスト低減化に寄与し、井戸の維持管理も容易となる。

(2) さく井協会 防災用井戸普及の取り組み

女川町森公園で、親子井戸掘り教室を実施しました！

NPO法人女川ネイチャーガイド協会主催、女川町共催、サッポロホールディングス（HD）と一般社団法人全国さく井協会の協賛により、平成27年8月23日に、奥清水溪流の森公園において『親子井戸掘り教室』を開催しました。子どもたちに『人の力で井戸が掘れること・水の大切さ』をみんなで学んでもらう企画です。



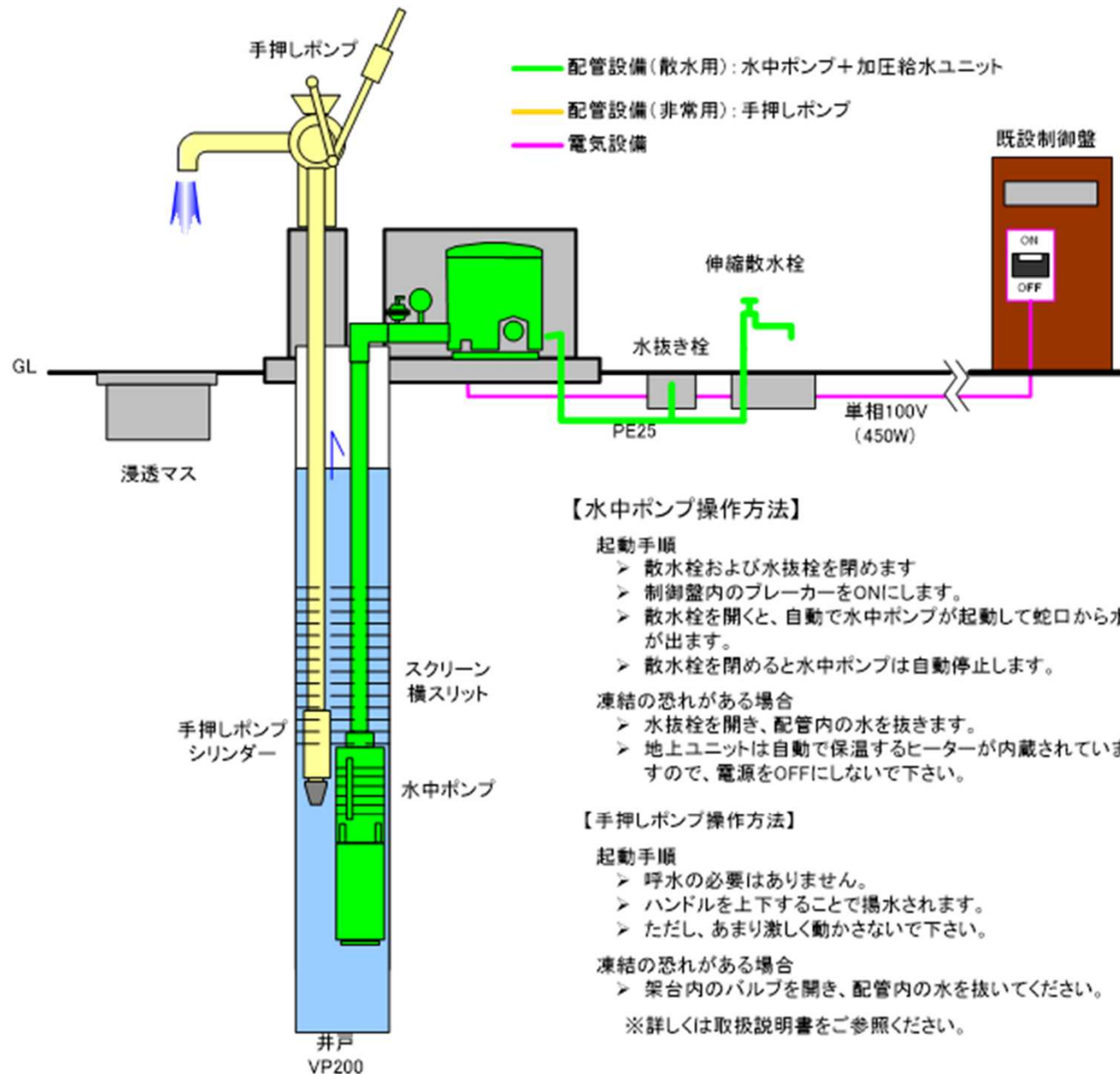
手掘りの打ち込み井戸を、親子みんなで掘きました



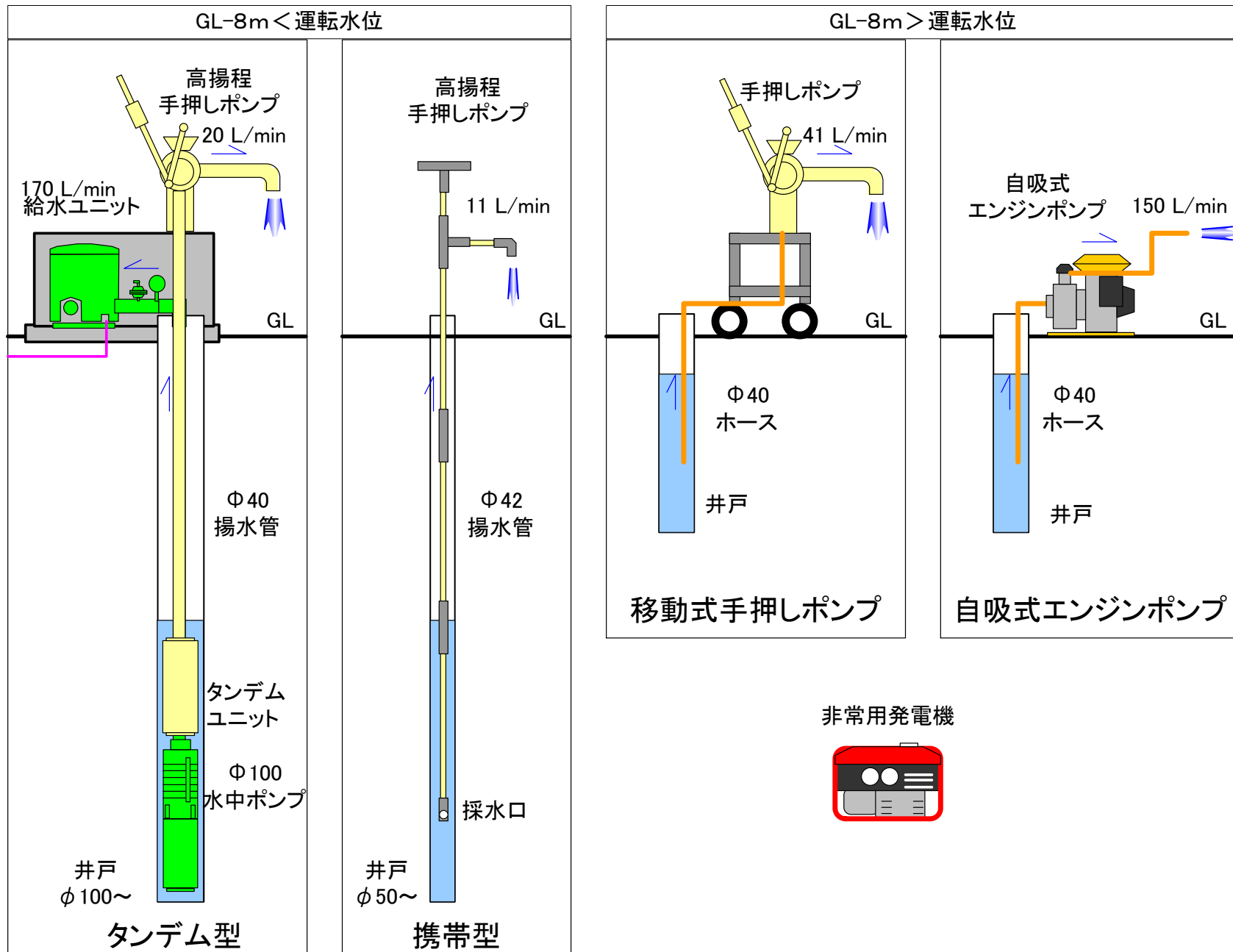
押しポンプを設置し、夢中で汲み上げる子供達



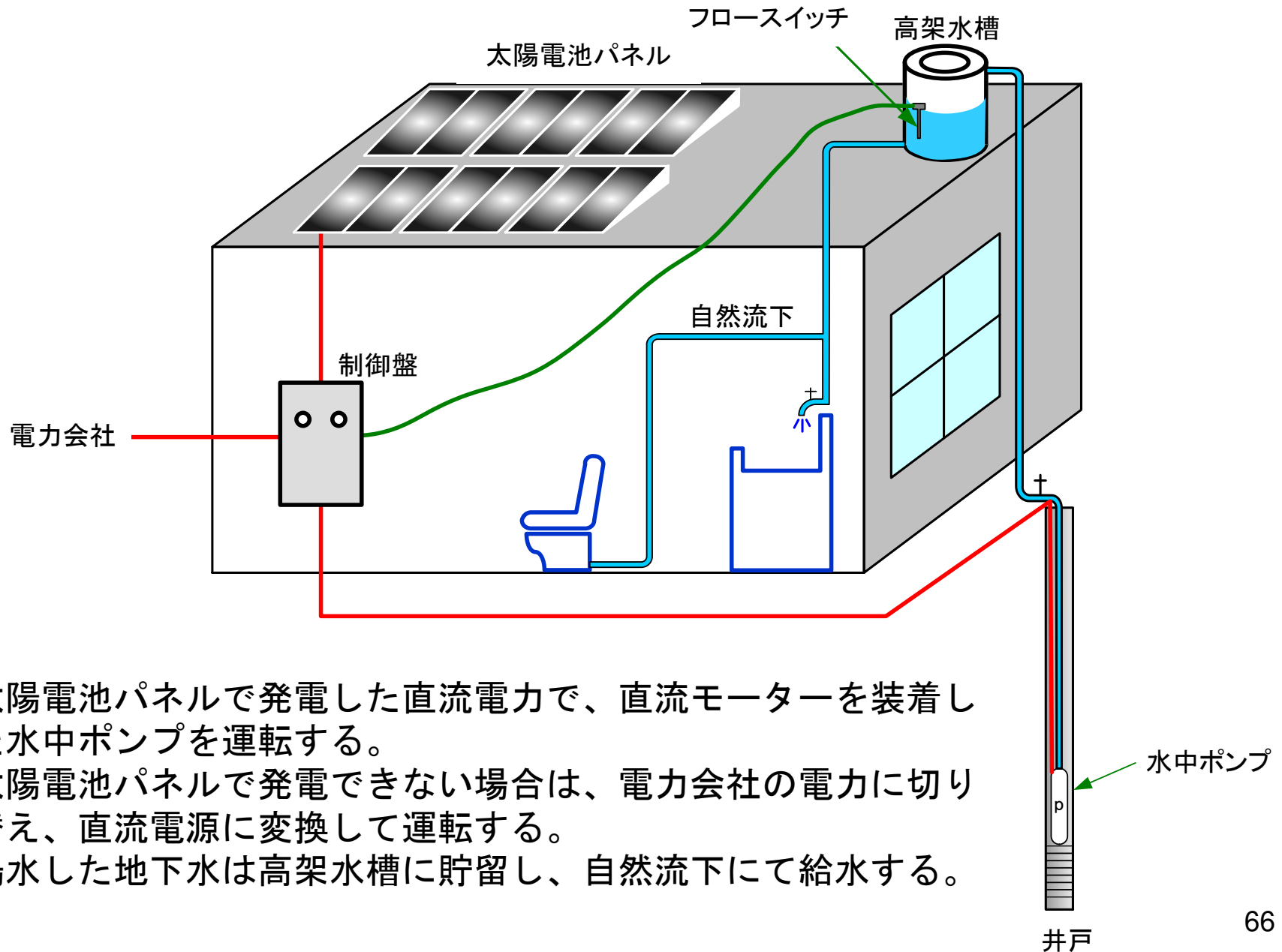
女川町 女川駅前広場に、防災井戸を設置しました！



(3) 防災用井戸の事例1



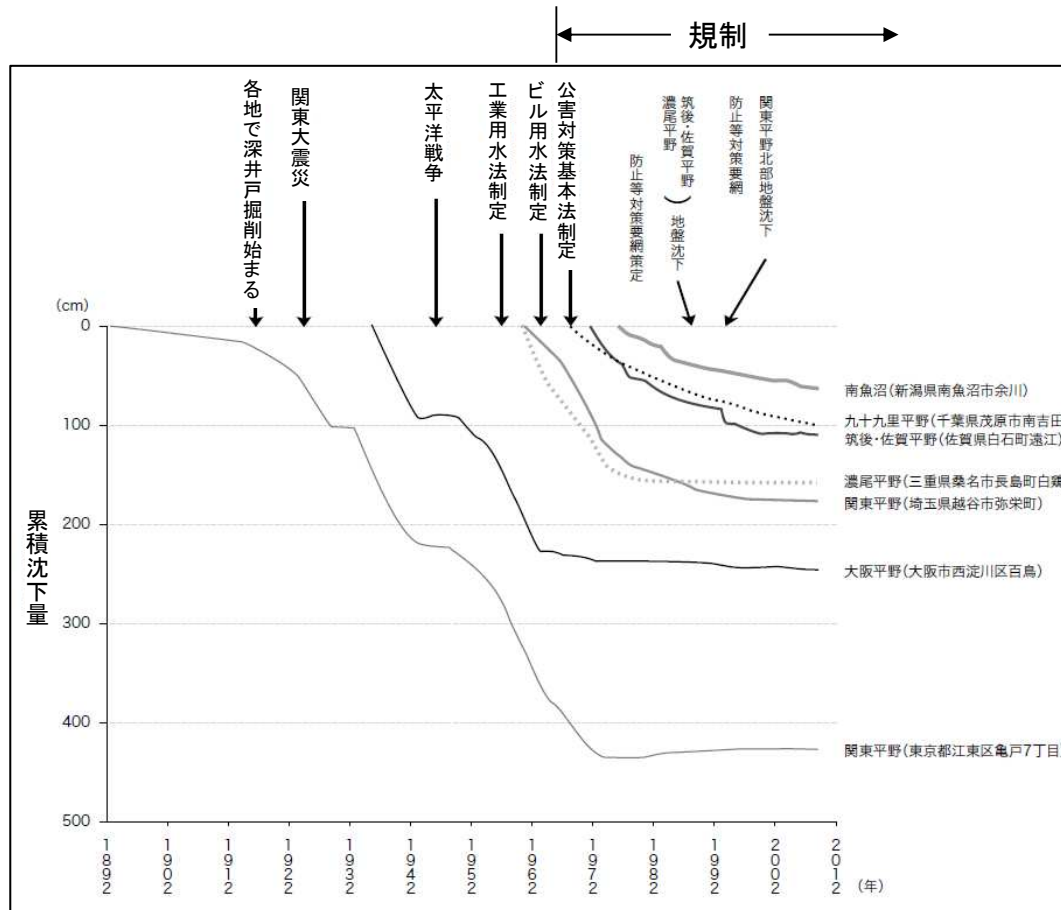
防災井戸の事例 2 : ソーラーポンプシステム



- 太陽電池パネルで発電した直流電力で、直流モーターを装着した水中ポンプを運転する。
- 太陽電池パネルで発電できない場合は、電力会社の電力に切り替え、直流電源に変換して運転する。
- 揚水した地下水は高架水槽に貯留し、自然流下にて給水する。

地下水の保全・利用に向けた課題

地下水使用に関しては、昭和30年代から40年代にかけて地下水の過剰な揚水で大都市圏を中心に地盤沈下を惹起し社会問題となった経緯がある。このため、法律や条例・要綱・指針など(平成25年5月現在、32都道府県385市区町村)による揚水規制を推し進めてきた結果、大部分の地域で地下水水位は上昇し、地盤沈下は沈静化しつつある。



代表地域の地盤沈下の経年変化
(国土交通省:平成24年度版日本の水資源より抜粋)

規制により沈静化



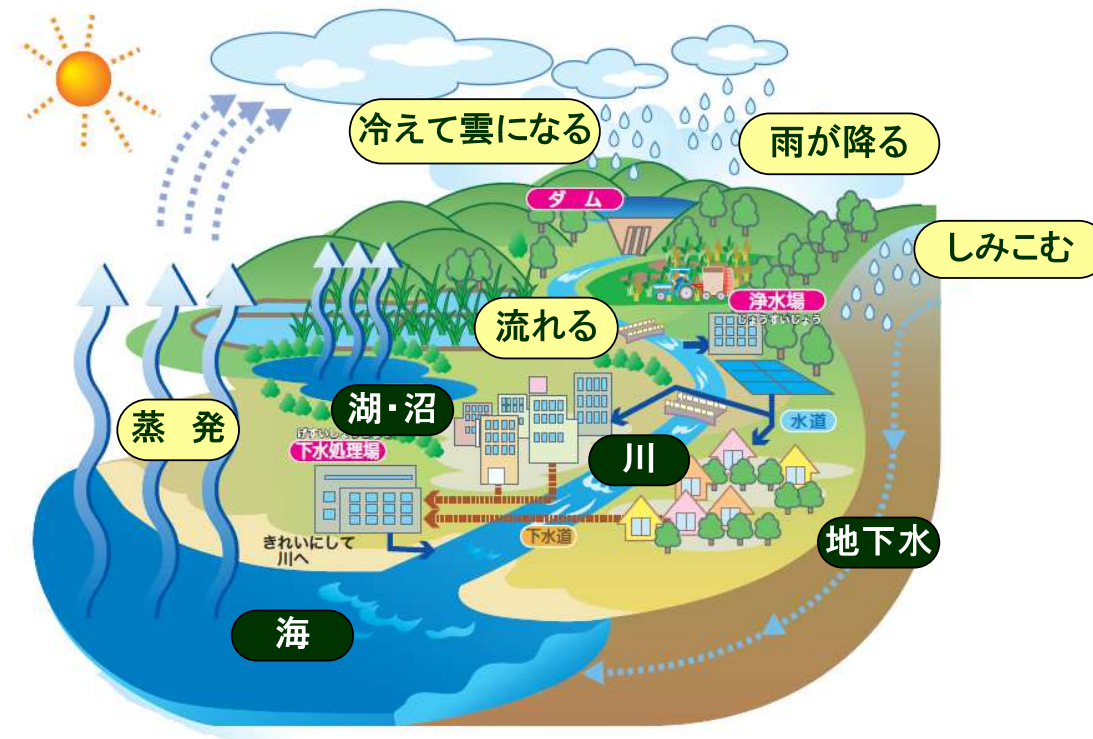
コントロール可能



地下水は循環型の資源であり、『健全な水循環を維持すれば、安定的な地下水利用)は可能である』ということを示している。

地下水の保全・利用に向けた提言

- 地下水は循環型の資源であり、地表からしみこむ供給量以内で利用すれば、持続可能な資源として安定的に利用することができる。
- したがって、『地下水は地域(地下水盆)の共有財産』という認識に立ち、継続可能な地下水の適正利用のあり方を検討し、地下水の保全・利用に関する計画を策定・運用する必要がある。



本日の話題

1. 熊本県の地下水
2. 熊本地震概要
3. 井戸被害調査概要
4. 聞き取り調査による井戸被害調査結果
5. N10号井戸点検
6. 災害から学ぶこと
7. おわりに

- 最大規模の震度を観測した熊本地震において、大部分の水井戸は、未曾有の地震に耐え機能を維持し、改めて井戸が地震に強いことが確認できた。
- 地域の水供給施設として、水道が唯一の手段となって久しいが、近年の地震・風水害など自然災害が多いなかで、災害時の水確保対策として地下水資源の利活用例が大都市圏を中心に注目されている。
- しかしながら、災害時だけの利用となる非常用の施設では、費用対効果が低いことや維持管理などの問題から、地震に強い地下水源(井戸)の利活用が全国的な展開となっていないのが現状である。
- 自然災害に強い地下水源を、安定した水供給施設の水源として一部または全体に組み入れることで、大きな防災効果を得ることができる。
- 特に災害対策の重要な拠点となる『収容避難場所(学校・公民館など)』、『病院・診療所などの医療施設』などには、水供給施設として防災井戸とともに揚水ポンプ用電源を電力会社以外(非常用発電設備・太陽電池発電設備)からも確保することで、災害時にもトイレ用水などの生活用水として利用可能となり、被災地の公衆衛生を確保するうえで極めて有効である。
- 一般社団法人 全国さく井協会は、地下水源の平時の有効活用とその効果について、情報発信を行い、災害時にも安定的な水確保が可能な水供給システムの普及に取り組んでいる。
- 更に地下水開発の手順、地下水保全の考え方、井戸の維持管理の方法など、地下水の調査・設計、施工および維持管理に関する技術資料も広く公開していこうと考えている。
- 我々のそうした活動が、ライフラインの根幹をなす『命の水』の安定確保に少しでも寄与できることを願ってやまない。



ご清聴ありがとうございました！