

【2011 撮影】



東日本大震災による 井戸の被害調査 報告書【Ⅱ】

平成25年3月 社団法人 全国さく井協会



【旧女川病院から町を望む 2013.5.17 撮影】

目 次

1. はじめに.....	1
2. 井戸被害調査の概要.....	2
2.1 調査の方針.....	2
2.2 被害調査の方法.....	2
2.3 調査井戸と調査対象地域.....	2
3. 井戸被害の状況.....	3
3.1 井戸被害の概要.....	3
3.1.1 県別井戸被害の状況.....	3
3.1.2 形状別井戸被害の状況.....	4
3.2 津波による井戸被害の状況.....	4
3.2.1 県別井戸被害の状況.....	4
3.2.2 形状別井戸被害の状況.....	4
3.3 地震による井戸被害の状況.....	4
3.3.1 県別井戸被害の状況.....	4
3.3.2 形状別井戸被害の状況.....	4
4. 井戸被害の要因と対策.....	6
4.1 津波被害.....	6
4.1.1 津波被害の要因.....	6
4.1.2 津波被害の対策.....	7
4.2 地震被害.....	14
4.2.1 地震被害の要因.....	14
4.2.2 地震災害の対策.....	17
5. 地震災害等における地下水を利用した地域防災計画の取り組み.....	21
5.1 地震災害等における水源確保の課題.....	21
5.2 地域防災計画(非常用水及び防火用水)における地下水利用の優位性.....	23
5.3 地域防災計画における地下水利用の現状.....	23
5.3.1 国土交通省の地下水有効利用の取り組み.....	23
5.3.2 自治体の災害用協力井戸(応急給水用井戸)制度の展開.....	23
5.3.3 災害時の重要な拠点(収容避難場所等)の事例.....	24
5.3.4 災害時の医療活動用水の事例.....	25
5.3.5 災害時の防火用水の事例.....	25
5.4 地域防災計画における地下水利用の提言.....	26
5.4.1 地域防災計画における非常用給水計画.....	26
5.4.2 新規防災井戸の検討方法.....	26
6. 水道における災害・事故対策としての地下水活用.....	27
6.1 水道における災害・事故の状況.....	27
6.2 水道における災害・事故の対策.....	28
7. 地下水の保全・利用に向けた基本的考え方.....	29
7.1 地下水の保全・利用に向けた課題.....	29
7.2 地下水の保全・利用に向けた提言.....	31
7.2.1 適切な地下水の保全・利用の手順.....	31
7.2.2 地下水関連のデータ整備の重要性.....	32
8. おわりに.....	36

1. はじめに

社団法人 全国さく井協会は、地下水を中心とした水資源の開発と保全などの社会資本整備に携わる企業が構成する団体で、会員は全国各地で水井戸、温泉井戸の掘削や、その周辺設備などを手掛けてきている。

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は、地震と津波による複合災害であり、東北各県に甚大な被害を及ぼした。これらの被災県内の水道水源用井戸をはじめとした井戸の開発・保全に係ってきた協会会員は、地震発生直後から被災地に入り緊急点検を実施するなどの活動をおこなった。平成 23 年 4 月には、この支援活動を有効かつ機能的に実施するため協会内部に「東日本大震災被害調査委員会」を設置し、関係機関と協議しつつ調査体制などを決めて現地調査を実施した。この調査結果については、平成 24 年 7 月に「東日本大震災による井戸の被害調査報告書」として公表した。

本報告書【Ⅱ】では、水井戸被害の発生状況を地震と津波に区分し、浅井戸と深井戸及び井戸形状等による被害の要因分析をするとともに、今回の調査で得た教訓から井戸施設に関する被害の特徴と対策を考察し、今後の防災対策上で考慮すべきことをまとめた。さらに、平成 7 年 1 月の阪神・淡路大震災以降、震度 7 クラスの地震をはじめとする自然災害が次々と発生してきているなかで、防災井戸や災害応急井戸の果たす役割など地下水の有効利用・活用などを例示するとともに、健全な地下水資源の活用に向けての課題などを提起した。

なお、本報告書【Ⅱ】の別冊として、『福島県 地質・地下水分布図』を作成した。そのデータの整理に当たっては、福島県内の水井戸データベースを構築し、解析時の基礎資料とした。福島県下では、東京電力㈱の原子力発電所事故も重なり、被災地では今もなお 30 万人以上が避難生活を余儀なくされ、復旧・復興への加速化が切望されている状況下にある。この資料は、(社)全国さく井協会として復興に向けて、地下水情報を的確に伝え、地下水を有効に活用し復興に資するための一助となることを目的として作成したものである。本資料が被災地の生活基盤等の復旧・復興に向けた課題の解決に寄与できれば幸いである。

平成 25 年 3 月
社団法人 全国さく井協会
東日本大震災被害調査委員会

2. 井戸被害調査の概要

2.1 調査の方針

(社)全国さく井協会は、地下水を採取するための井戸の掘削や修復などの社会資本整備に携わる企業団体であり、その責務として、今回の地震や津波災害による井戸障害や被害発生状況、さらに、災害発生時の非常給水用として地下水の有効性等の実態調査を行った。その結果を踏まえ、災害時の井戸施設の被害防止・軽減への対策、災害井戸等の地下水活用への提言を行った。

2.2 被害調査の方法

調査方法としては、井戸被害の発生状況と復旧状況を中心に井戸仕様と運転履歴などの項目について記入可能な一覧表を作成し、統一した様式で実施した。

調査に際しては、震災直後から被災地に入り井戸緊急点検の活動実態を踏まえ、図 2.1 に示すように一次調査と二次調査に分けて実施した。

一次調査は、最初に概略調査として、東北6県(青森県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県)の井戸管理者にアンケート形式の調査票を送付し、回答を得たものを整理した(既報告書)。

次に、この概略調査の結果を踏まえ、詳細調査として被害の大きかった東北4県(青森県、岩手県、宮城県、福島県)を対象に各支部会員が同様の調査表を使用し、各井戸担当者に面談し聞き取り調査等を行った。また、必要に応じて現地井戸の外観調査も実施し、被害状況を整理した。

なお、二次調査は、岩手県大槌町で電気探査(水源井戸の代替井戸の掘削場所選定を目的)を実施した。

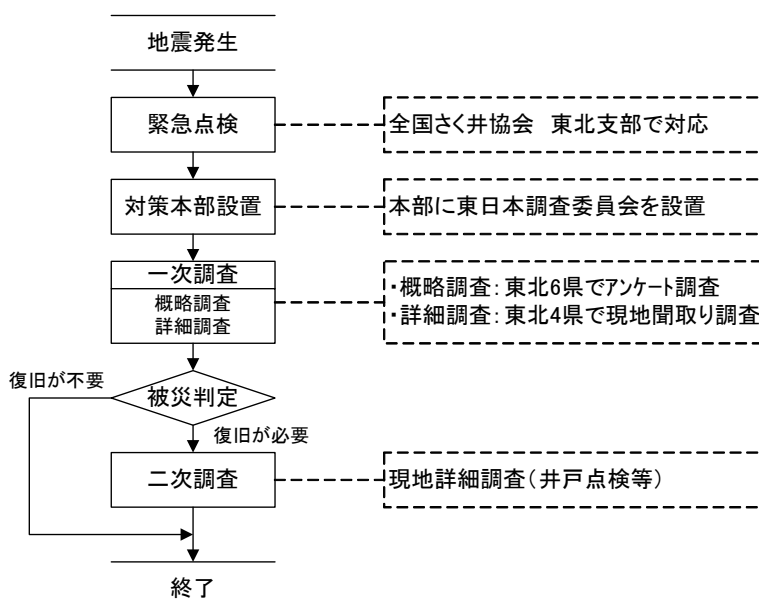


図 2.1 井戸被害調査の流れ

2.3 調査井戸と調査対象地域

被災地では様々な用途で地下水採取用の井戸が使用されているが、本調査では復旧が急がれる水道水源用井戸施設の被害状況の確認を主体とした。さらに、工場や事業所などに使用されている井戸や温泉の泉源井戸なども可能な限り調査した。

この調査で井戸管理者などから被害状況などの詳細な情報を得ることができた水井戸・温泉井戸の総数は、表 2.1 に示すように 242 本であった。本報告書では、地震・津波被害の大きかった東北4県(青森県、岩手県、宮城県、福島県)の水井戸 234 本について結果を整理した。

表 2.1 井戸の被害調査数量一覧

地域	青森	岩手	宮城	福島	計
水井戸	45	83	46	60	234
温泉井戸	3	0	1	4	8
調査井戸数	48	83	47	64	242

* 調査時期: H23 年 9 月~11 月、12 月一部追加

3. 井戸被害の状況

3.1 井戸被害の概要

地震発生後に濁りなどの障害を発生した井戸について、現地調査に入った2001年9月時点で適切な処置のもと復旧していた井戸と未復旧の井戸があった。被害の主たる要因を「津波」と「地震」に区分し、復旧した井戸も含めて被害の発生率を調査県別にまとめて表3.1に示した。被害のあった各井戸について、塩水化発生などの被害現象の内容で分類整理し、表3.2に示した。また、井戸形状による被害状況について、表3.3・表3.4に示した。

本震災による水井戸被害の結果を要約すれば、以下のようになる。

3.1.1 県別井戸被害の状況

- ① 今回の災害では、地震とともに東北沿岸部は津波の影響により都市インフラ等は壊滅的な被害をうけたなかで、水井戸の被害発生率は表3.1に示すように宮城県が最も多く32.6%、次いで岩手県の21.7%が多かった。これに対し、福島県および青森県は5%以下と比較的少なかった。
- ② この結果は、宮城県、岩手県の沿岸地域では『津波遡上高や地盤沈下量が、他被害県に比べ非常に大きかった』ことと関係があったと考えられる（ただし、福島県沿岸地帯で原子力発電所事故の警戒区域等の地域は未調査）。
- ③ 被害発生の主たる要因を地震と津波で比較した場合も、4県の中では宮城県と岩手県ではほぼ同じ割合で発生していた。
- ④ 表3.2に示すように全調査水井戸数234本のうち、地震・津波発生後も機能維持した井戸は196本で全体の83.8%を占めていた。さらに、一時的に被害が発生したが短期間に復旧した井戸25本（10.7%）を合わせると、調査した井戸の221本（94.4%）が機能維持または機能回復し使用されていた。
- ⑤ 調査時点で未復旧の水井戸は、13本で全調査井戸数の5.6%となっていた。

表3.1 井戸の県別被害発生率一覧

地域		青森	岩手	宮城	福島	4県全体	
調査井戸数		45	83	46	60	234	
津波	被害箇所数	0	9	7	0	16	
	被害率%	0.0	10.8	15.2	0.0	6.8	
地震	被害箇所数	2	9	8	3	22	
	被害率%	4.4	10.8	17.4	5.0	9.4	
全体	被害あり	2	18	15	3	38	
	被害率%	4.4	21.7	32.6	5.0	16.2	

表3.2 調査結果総括一覧

	被害		井戸別被害箇所数				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				
		濁り	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	濁り	1			1	2	0.8	5	2.1				
井戸破損			2	1	3	1.2								

3.1.2 形状別井戸被害の状況

- ① 調査した全体の井戸数 234 本の内訳は、浅井戸 67 本、深井戸 167 本となっている。
- ② 表 3.4 に示すように全調査井戸の 16.2%にあたる 38 本に被害が発生した。この内訳は、浅井戸 18 本で被害率は 26.9%、深井戸 20 本で被害率は 12.0%であった。被害率では、浅井戸は深井戸に比べると約 2 倍の被害発生となっていた。
- ③ また、調査した浅井戸 67 本の形状では、RC 井筒 45 本、CP 浅井戸 22 本であり、RC 井筒形状の水井戸が岩手県沿岸部を中心に CP 浅井戸に比較し数多く使用されていた。
- ④ このうち RC 井筒は、45 本のうち 16 本に被害が発生し 35.6%と高い被害率を示していた。一方、CP 浅井戸は、22 本中 2 本で被害率 9.1%と RC 井筒に比較し 1/4 程度に収まっていた。
- ⑤ この被害率を地震と津波で夫々比較すると表 3.4 に示したとおりで、RC 井筒浅井戸が CP 浅井戸に比べ何れも被害発生率が高くなっていた。

3.2 津波による井戸被害の状況

3.2.1 県別井戸被害の状況

- ① 表 3.2 で示すように、津波で発生した被害現象は宮城県、岩手県の沿岸都市に集中しており、「水質の塩水化、揚水設備破損、井戸破損」が主たる内容であった。
- ② 海水浸水による塩水化が 10 本（復旧 7+未復旧 3）あり、井戸被害の中では地震による濁り発生 18 本（復旧 16+未復旧 2）に次いで二番目に多かった。これらは、本災害の特徴ともいえる津波で発生したものであった。
- ③ また、揚水設備破損は 4 本（復旧 1+未復旧 3）、井戸破損は 2 本（未復旧）であり、こうした被害の場合は未復旧の井戸が多いのが特徴である。

3.2.2 形状別井戸被害の状況

- ① 表 3.4 から津波による被害は、浅井戸が 11 本(16.4%)に対し深井戸 5 本(3.0%)であり、浅井戸は深井戸と比べると津波被害率は約 5 倍大きかった。
- ② このうち、浅井戸における RC 井筒の被害は、45 本のうち 10 本に発生し、約 5 本に 1 本の割合で被害を受けていた。一方、CP 浅井戸は、22 本中 1 本に被害が発生し、被害率では RC 井筒に比較し 1/5 程度であった。
- ③ 表 3.3 に示すように塩水化が発生した 10 本のうち、RC 井筒浅井戸では 8 割に当たる 8 本と多く、また 3 本は 6 ヶ月経っても水質は改善されていなかった。

3.3 地震による井戸被害の状況

3.3.1 県別井戸被害の状況

- ① 地震で発生した被害現象としては、表 3.2 に示すように「水質の濁り、水量減少、揚水設備破損、井戸破損」の何れかに属する内容であった。
- ② 地震発生に伴い濁り水が発生した井戸数は、全調査井戸数 234 本の 7.7%に相当する 18 本であった。大部分の井戸は、連続揚水等による対処で、0.5~2 日程度の期間で水質改善され供用されていたが、2 本は 6 ヶ月を経ても改善していなかった。
- ③ その他の現象として、水量減少 1 本、井戸破損 3 本が発生していた。

3.3.2 形状別井戸被害の状況

- ① 表 3.4 から、浅井戸 67 本のうち被害 7 本(10.4%)であり、深井戸は 167 本のうち 15 本(9.0%)が被害を受けており、被害率には差がなかった。深井戸の地震被害は浅井戸の約 1/2 である。
- ② このうち、RC 井筒井戸の被害は、45 本のうち 6 本に被害が発生し 13.3%と高い被害率を示していたのに対し、CP 浅井戸は、22 本中 1 本で被害率 4.5%と RC 井筒に比較し 1/3 程度であった。

表 3.3 井戸の形状別被害状況一覧

	被害		井戸の形状別被害箇所数				計		合計		利用可井戸数	
	要因	被害区分	RC井筒	CP浅井	CP深井	小計	箇所数	%	箇所数	%	箇所数	%
調査井戸数			45	22	167	234			234	100.0		
被害なし			28	19	149	196			196	83.8		
被害あり⇒復旧	津波	塩水化	5	0	2	7	8	3.4	25	10.7	221	94.4
		井戸破損										
		揚水設備破損	1			1						
	地震	水量減少(水位低下)	1			1	17	7.3				
		濁り	5	1	10	16						
		井戸破損										
揚水設備破損												
被害あり⇒未復旧	津波	塩水化	3			3	8	3.4	13	5.6		
		井戸破損	1	1	0	2						
		揚水設備破損	0	0	3	3						
	地震	濁り	0	0	2	2	5	2.1				
		井戸破損	0	0	3	3						
		揚水設備破損										

RC井筒: 鉄筋コンクリート造り井筒式浅井戸(口径1~6m)
 CP浅井: ケーシング式浅井戸(口径1m以下、深度30m以浅)
 CP深井: ケーシング式深井戸(口径1m以下、深度30m以深)

表 3.4 井戸の形状別被害発生率一覧

井戸形状	浅井戸		深井戸	井戸全体
	RC井筒	CP浅井	CP深井	
調査井戸数	67		167	234
	45	22		
津波	被害あり	11	5	16
	被害率%	16.4	3.0	6.8
	被害あり	10	1	
	被害率%	22.2	4.5	
地震	被害あり	7	15	22
	被害率%	10.4	9.0	9.4
	被害あり	6	1	
	被害率%	13.3	4.5	
全体	被害あり	18	20	38
	被害率%	26.9	12.0	16.2
	被害あり	16	2	
	被害率%	35.6	9.1	

4. 井戸被害の要因と対策

4.1 津波被害

4.1.1 津波被害の要因

今回の地震では、太平洋沿岸において津波が発生した。岩手県、宮城県、福島県にかけては、気象庁によるとその高さは宮城県南三陸町で 15.9m、岩手県宮古市では 40.5m に達していたと発表されている。この状況にあって、岩手県と宮城県内の水井戸が被災した津波被害について、井戸構造と対処内容についてまとめて表 4.1 に示した。

津波被害の大部分が塩水化現象であり、中でも RC 井筒形状の浅井戸に多かったことは前記したとおりで、今回の井戸被害の特徴である。

表 4.1 津波による井戸被害の現象と対処

被害	市町村	井戸名・住所	井戸構造	被害状況と対処	井戸形状
塩水化	大槌町	水道事業所内	大口径井戸	膝位の津波浸水があり、塩水による水質障害が発生したが、1日程度の連続揚水で解消した。	RC井筒
	陸前高田市	竹駒第1	φ8000 深度11.7m	津波浸水し地上装置が全て流出し井戸自体も塩水化。自家発電により連続揚水し基準値以内まで低下し、給水開始。	RC井筒
	気仙沼市	本吉町	φ3500 深度10m	塩水化現象が現れた。施設自体が被災したため、仮設ポンプによる仮取水を行った。	RC井筒
	南三陸町	戸倉地内	φ1500 深度28m	津波の被害を受け著しく塩水化(塩素イオン濃度 182mg/L)。揚水を続け、90mg/Lまで低下したので、給水再開。	RC井筒
		伊里前地内	φ5000 深度5m	津波により井戸構造物自体の被害は無かったが塩水化(152mg/L)。降雨時には559mg/Lと上昇したので揚水を続け、7月14日に124mg/Lまで低下したので給水再開。	RC井筒
	宮古市	新川町宮古第1取水場	φ300深度66m	約2日間の連続揚水で塩水化が解消。被災前と同様に飲料水として取水を開始した。(水質検査実施)	CP深井
	宮古市	新川町宮古第2取水場	φ300~200 深度60m	約2日間の連続揚水で塩水化が解消。被災前と同様に飲料水として取水を開始した。(水質検査実施)	CP深井
	陸前高田市	竹駒第2	φ3000 深度6m	津波浸水し地上装置が全て流出し井戸自体も塩水化。使用停止。	RC井筒
		長部水源	φ3000 深度7m	津波浸水し地上装置が全て流出し井戸自体も塩水化。使用断念。	RC井筒
南三陸町	助作地内	φ5000 深度10m	津波により井戸構造物自体の被害は無かったが塩水化が著しい(1,300mg/L)。連続揚水で200mg/Lまで低下したが、給水は控えている(8月8日時点)。	RC井筒	
揚水設備破損	陸前高田市	矢作水源	φ3000 深度7m	津波により地上装置が全て破損したが、仮揚水で水質に問題が無いことを確認。	RC井筒
	山元町	灌漑用井戸/蛭淵揚水機場	φ250 深度100m	津波によりRC製ピットや電柱、制御盤が流失。使用不能。	CP深井
		灌漑用井戸/白山揚水機場	φ250 深度100m	津波により制御盤が傾き、フェンス破損。当面は運転せず。	CP深井
灌漑用井戸/屋敷下揚水機場		φ300 深度100m	津波が浸水し、井戸の所在すらわからなくなってしまった。	CP深井	
井戸破損	宮古市		φ200 深度12m	津波で施設が全損し揚水不能となった。	CP浅井
	大槌町	浪板ポンプ場	水源井	津波により壊滅的な被害。	RC井筒

被被害あり⇒復旧 被被害あり⇒未復旧

津波の被害は、図 4.1 に示すように塩水化が 10 箇所と一番多く発生し、次いで揚水設備破損が 4 箇所、井戸破損が 2 箇所の順であった。

1) 塩水化

津波による塩水化被害は、その多くは、井戸口元からの海水浸入によるケース、または帯水層の塩水化によって発生するケースに大別される。

表 4.1 で示したように、揚水を継続することにより比較的短時間で塩水化が解消した井戸は、その原因が井戸口元からの海水の流入が主因と考えられ、水質の回復後に再び問題になることは

ないと判断される。今後の対策としては、後述するように、井戸ピットや井戸口元は防水性を確保する等の対処が必要である。

一方、塩水化がなかなか改善されない井戸は、塩分を含む地表の津波堆積物から帯水層への塩分の溶出・浸透や地盤沈下による塩水淡水境界面の変化、隣接する河川への海水の進入状況（塩水クサビ）の変化などの原因が考えられる。このような場合は、障害が発生している地域で地下水調査を実施して、塩水化発生の原因を解明し、塩水化解消の可能性、利用の可否、適切な対策（井戸の洗浄方法、塩水化を発生させない安全揚水量＝限界水位低下量の設定など）を検討する必要がある。

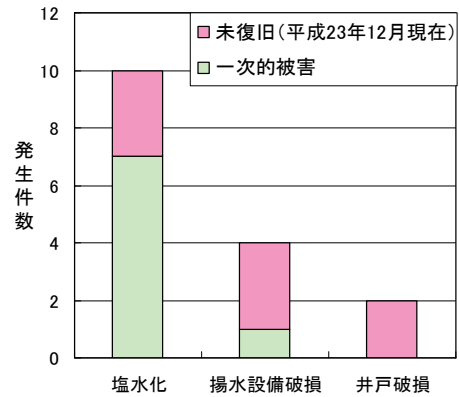


図 4.1 津波による被害発生件数

2) 揚水設備破損と井戸破損

津波による揚水設備破損と井戸破損の被害は、すべて海水の浸水による地上設備の破壊・流失によるものであった。被害井戸数6本のうち、未復旧の井戸が5本と多いが、調査時点（平成23年12月）では復旧作業が行われておらず、未復旧として整理した。

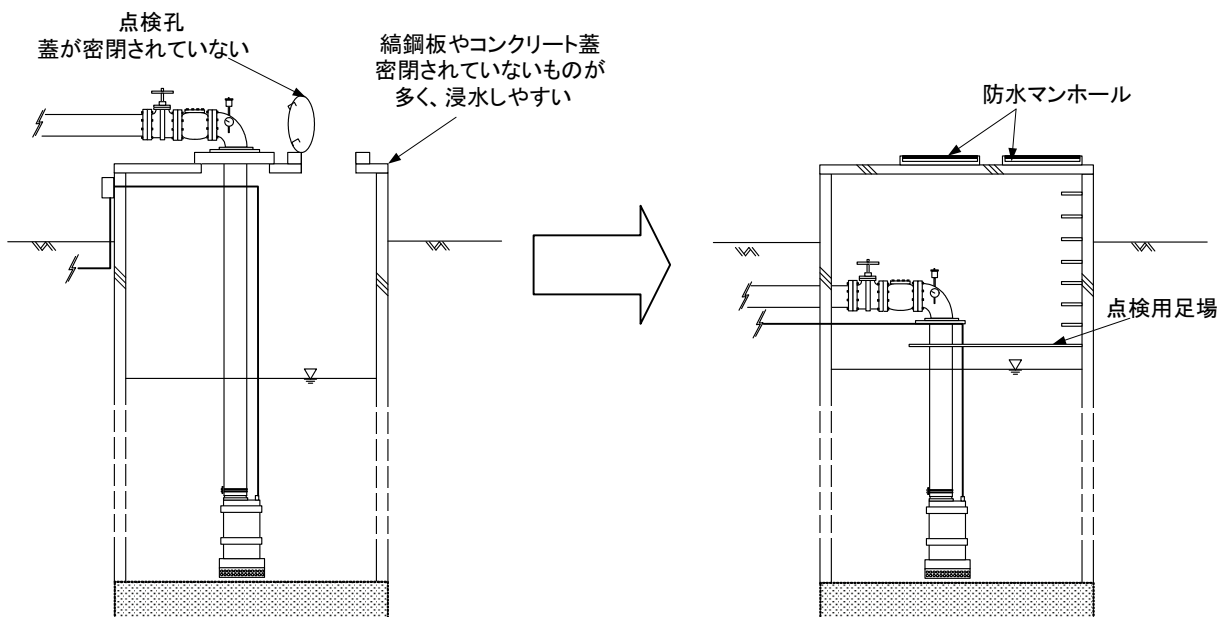
4.1.2 津波被害の対策

1) 井戸ピット・井戸口元塩水化対策

(1) 鉄筋コンクリート造りの井筒式浅井戸（RC 井筒）

井戸最上部の蓋は、縞鋼板の二つ割り形状が多く、津波の浸水域では蓋が流され、海水が流入して井戸の塩水化を引き起こすとともに、がれきや砂等の異物が井戸内へ侵入し、早期の復旧を妨げている井戸もみられた。

したがって、今後改修または施工する井戸は、図 4.2 に示すような密閉型の井戸蓋で施工し、海水や異物・汚染水の浸入を防ぐ構造とすることが望ましい（水道水源は水質汚染の防止上から必須）。



多く見られる構造

井戸そのものを防水構造とすることが望ましい。

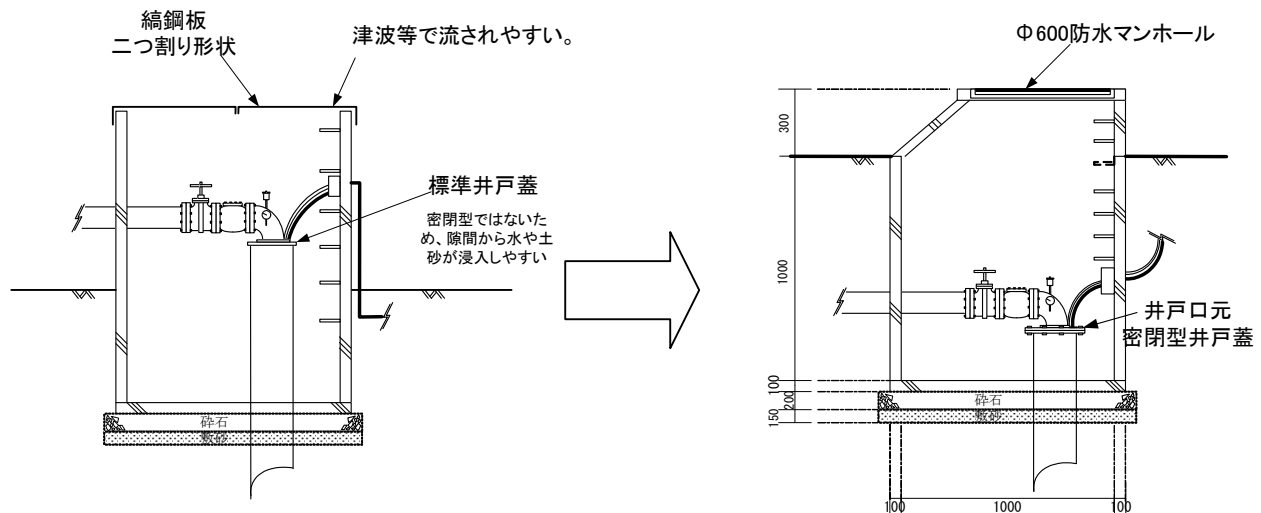
図 4.2 鉄筋コンクリート造りの井筒式浅井戸の防水対策

(2) ケーシング式井戸 (CP 浅井・CP 深井)

地上部の井戸ピットの蓋は縞鋼板の二つ割り形状が多く、津波の浸水域ではピット本体が流され、井戸蓋の隙間から海水が流入して井戸の塩水化を引き起こすとともに、砂等の異物が侵入した井戸もみられた。

したがって、今後改修または施工される井戸は、図 4.3 に示すように井戸ピットは防水マンホールを用いた密閉型とし、井戸蓋も図 4.4 に示す密閉型を使用して、海水や異物・汚染水の浸入を防ぐ構造とすることが望ましい（水道水源は必須）。

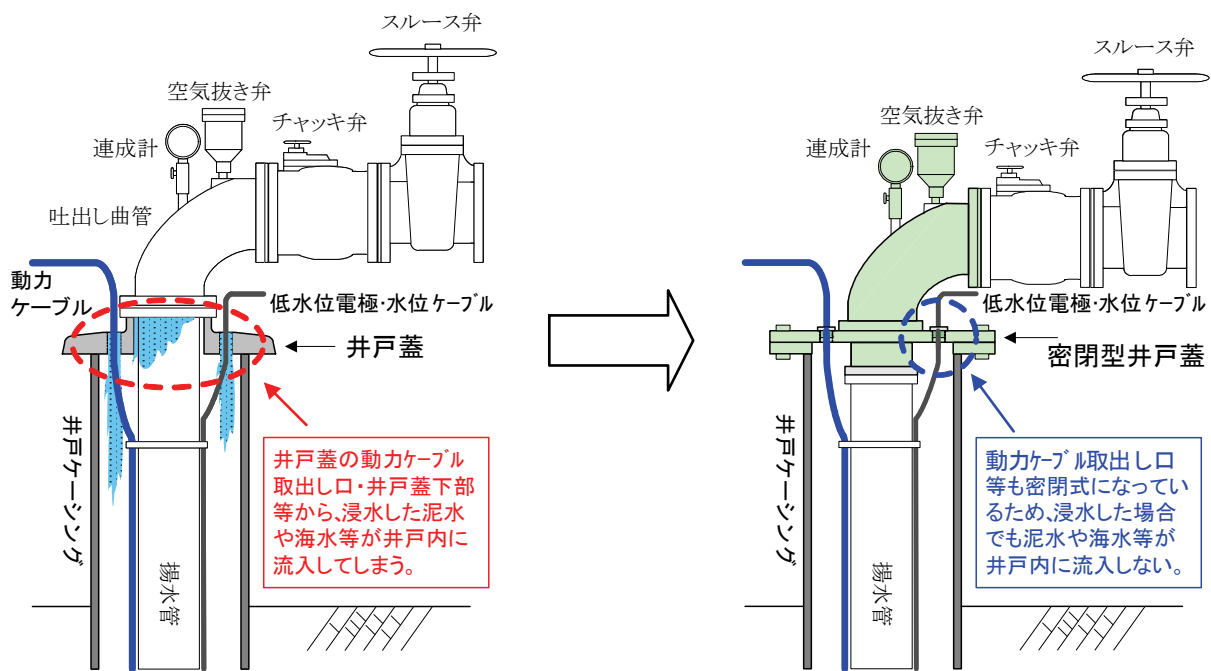
ただし、水道水源の口元は、冠水防止のため地上に立ち上げる必要がある。



多く見られる構造

ピット及び井戸蓋を
防水構造とする事が望ましい

図 4.3 ケーシング式井戸ピットの防水対策



一般的井戸蓋

密閉型井戸蓋

図 4.4 ケーシング式井戸蓋の防水対策

2) 帯水層の塩水化対策

地表の塩分を含む津波堆積物からの塩分の溶出・浸透が原因の塩水化は、石灰などナトリウム吸着現象を利用した除塩方法がある。塩分は降雨により洗い流されるので、時間はかかるものの、塩水化は徐々に改善されていくと考えられる。

ここでは、海からの海水流入による帯水層の塩水化について概説するとともに、塩水化を生じさせないための必要な条件などを示す。

(1) 塩水化の基本的な考え方

海岸付近の井戸で揚水により地下水位が低下した際、井戸に海水の浸入を招くことがある。海水の比重は 1.02~1.03 であるので、海水は淡水の下位に位置する。海水と淡水の境界面は、Ghyben-Herzberg が以下の様な関係を示している。

$$D = \gamma_f \times h_f / (\gamma_s - \gamma_f)$$

ここに h_f : 海水面を基準として自由水面の高さ
 D : 海水面から淡水-塩水の境界面までの深さ
 γ_s : 海水の比重、 γ_f : 淡水の比重

ここで、 $\gamma_s = 1.025$ 、 $\gamma_f = 1.00$ とすると、「 $D \approx 40 \times h_f$ 」となる。これは、 h_f の 40 倍の深度に海水と淡水の境界面があることになり、井戸からの揚水時の塩水化は、この境界面が井戸底までに到達した際に発生する。図 4.5 にこの模式図を示す。

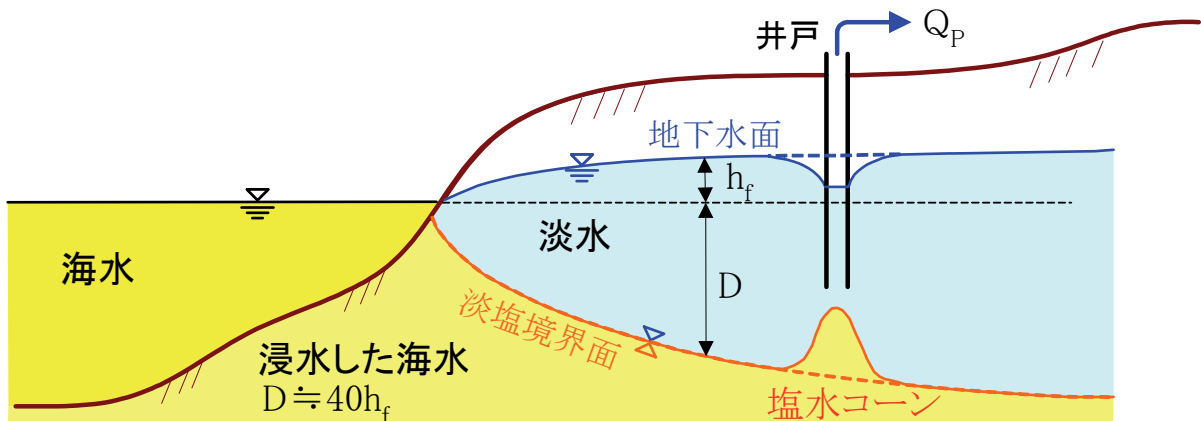


図 4.5 地下水位低下と塩水化のメカニズム

(2) 塩水化を発生させないための条件

井戸の揚水水位（動水位）は、塩水化限界水位（ $h_f = D \div 40$ ）より低下させないこと（図 4.6）が望ましいが、海までの距離が十分あり、図 4.7 に示すようにその間で $h_f > D \div 40$ の条件を満たす区間があれば、揚水水位が $h_f < D \div 40$ となっても海水は井戸まで浸水せず、塩水化は発生しない。

一方、図 4.8 に示すように井戸と海の間で $h_f > D \div 40$ の条件を満たす区間がなくなれば、帯水層に浸水した海水は井戸まで到達し、塩水化が発生する。

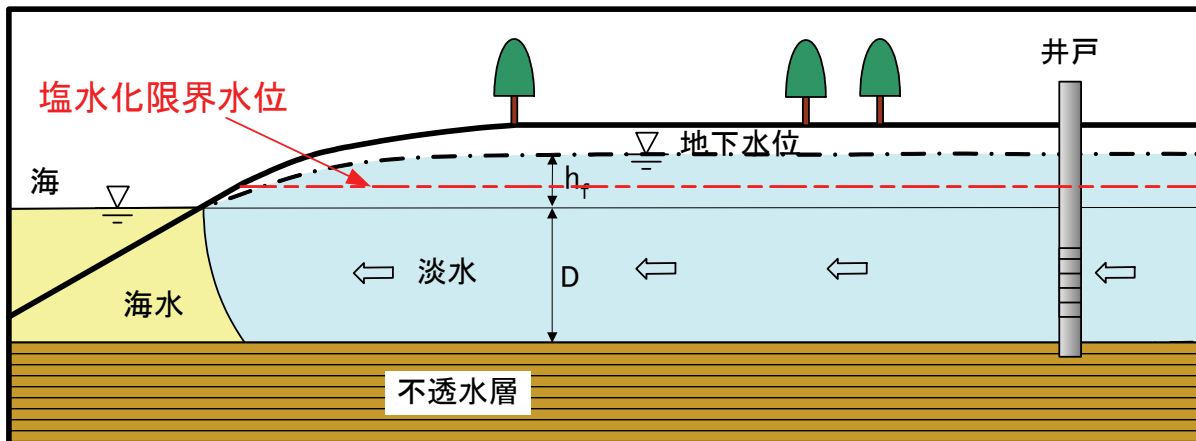


図 4.6 不圧帯水層の塩水化概念図(揚水なし、塩水化なし)

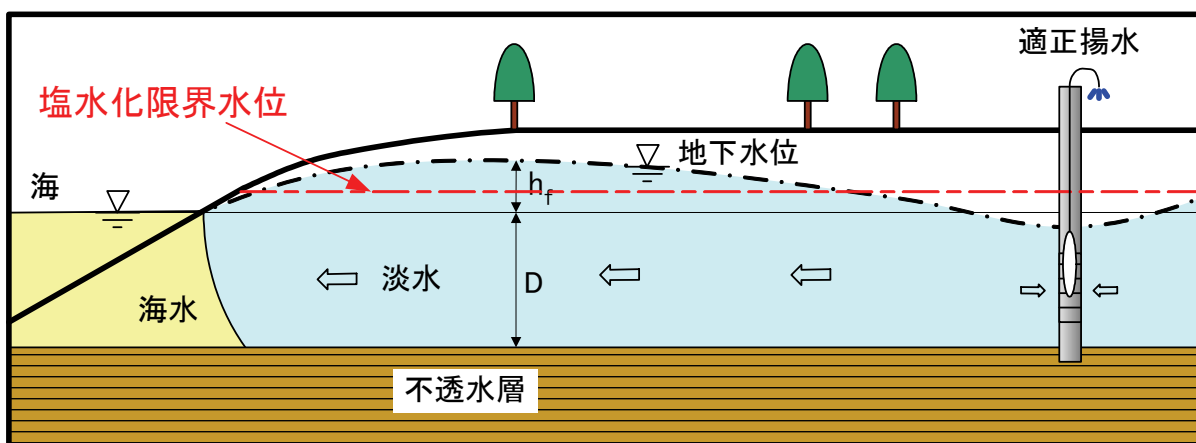


図 4.7 不圧帯水層の塩水化概念図(適正揚水、塩水化なし)

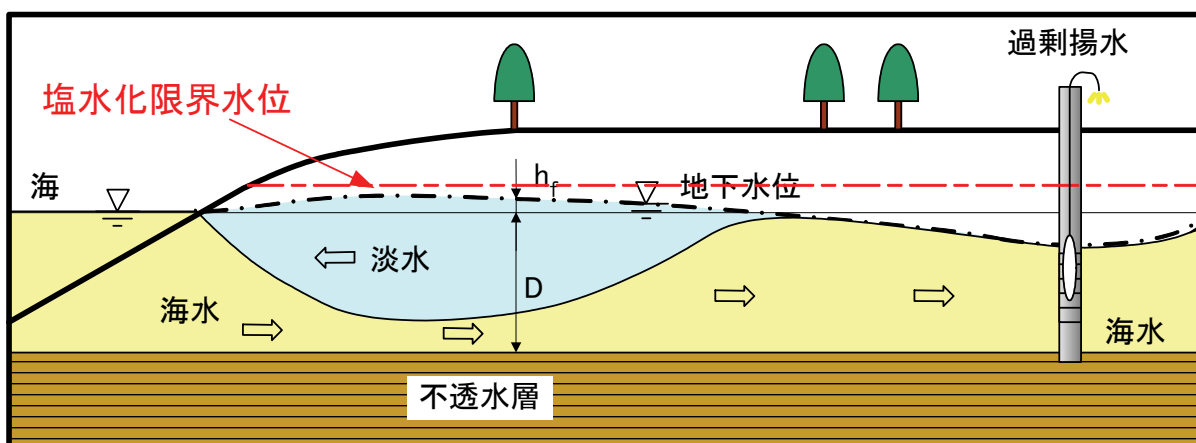


図 4.8 不圧帯水層の塩水化概念図(過剰揚水、塩水化発生)

(3) 海水浸入による帯水層の塩水化検討の事例

宮古市のSセンターでは、新規井戸を設置し、毎分1 m³の地下水を施設の水源として利用する計画であるが、施設が海岸付近に位置することから、揚水による塩水化が懸念された。

そのため、新設した井戸の揚水試験を実施して、当該井戸の揚水能力や水理特性を把握し、塩水化を発生させることなく、安定的に連続揚水可能な揚水量について検討した。

その手順を図4.9に示す。

海までの間に $h_f > D \div 40$ の条件を満たせば、塩水化は発生しない

- ① 水理地質構造(帯水層の構造)を把握する。
- ② 海の潮位と地下水位との関係を把握する。
- ③ 揚水水位を精度高く予測、確認する。

塩水化限界水位の把握
揚水水位の予測

塩水化限界揚水量

図4.9 地下水塩水化検討の手順

① 水理地質構造を把握する

既存資料から、検討地の水理地質断面を描けば図4.10のようになる。検討地の調査対象帯水層は、KBM(仮ベンチマーク) -11.5~-17.5mに分布する砂礫層で、被圧帯水層を形成している。

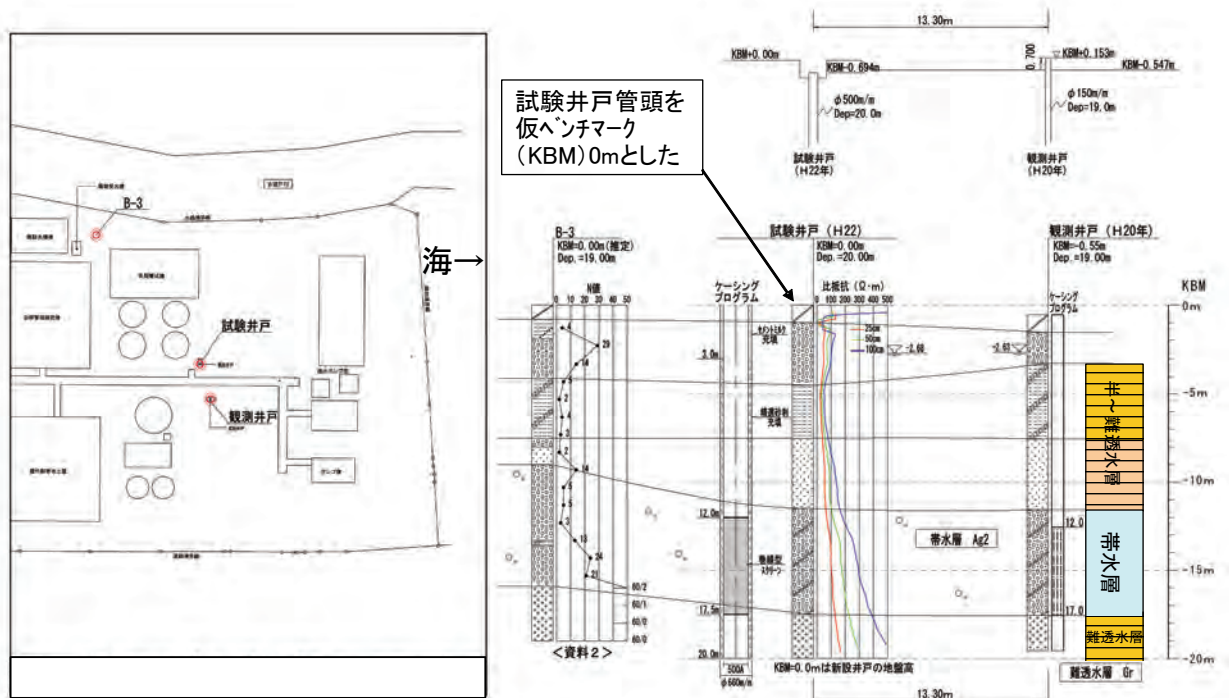


図4.10 水理地質断面図

② 潮位の地下水位の関係を把握する

本井は被圧地下水を対象としており、試験井戸と観測井戸の水位は共に潮位の影響が認められたことから、潮位と地下水位（自然水位）の相関関係を把握し、両井戸の水位を補正することにした。

塩水化の検討にあたり、海水面は満潮時の潮位にあたる KBM-4m とした。

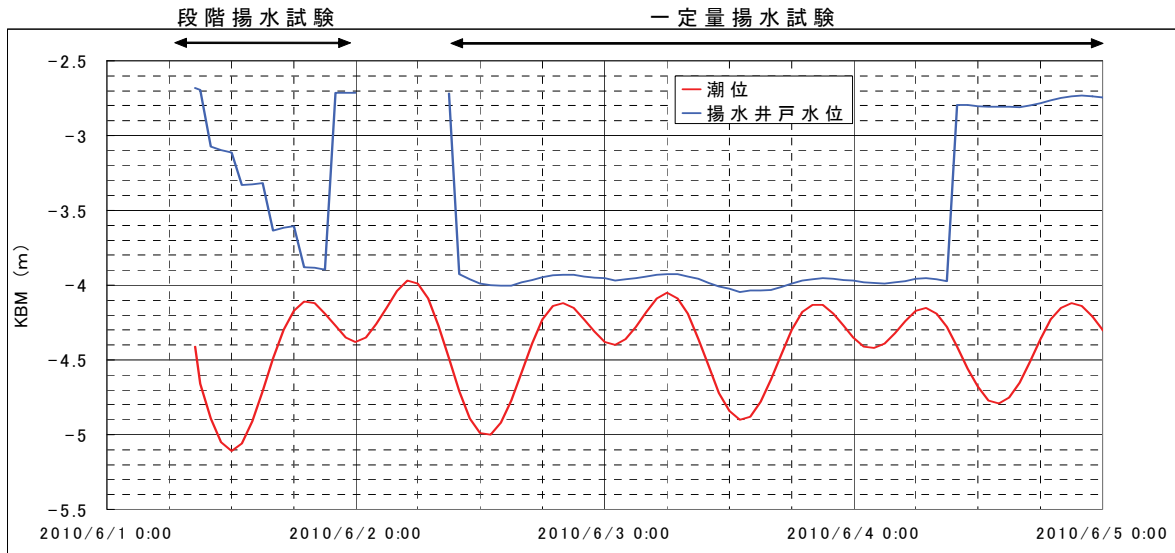


図 4.11 潮位と地下水位の関係

図 4.12 に示すように、自然状態（揚水してない）での潮位と地下水位（観測孔）の関係から求めた両者の相関式から、潮位が KBM-4m の時の揚水試験時の地下水位の潮位補正を行った。

結果を図 4.13 に示す。

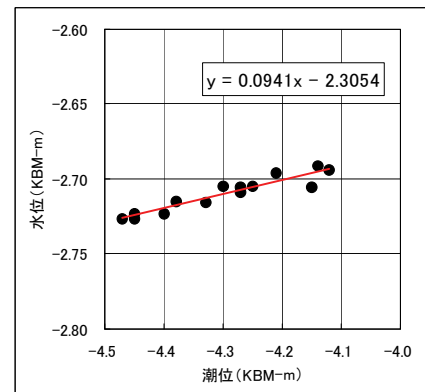


図 4.12 潮位-地下水位相関図

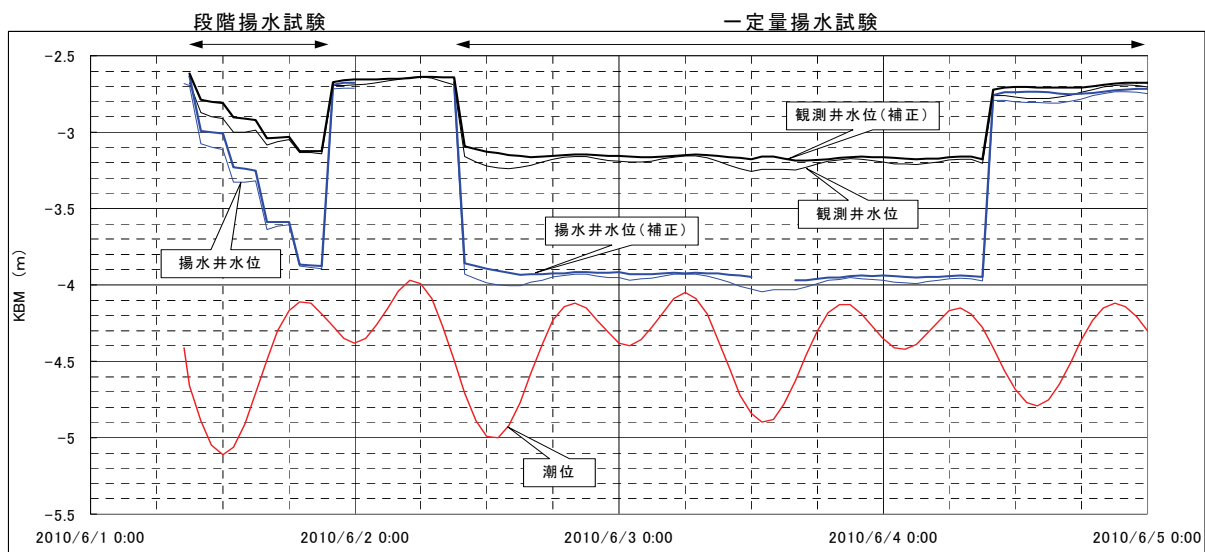


図 4.13 潮位と地下水位の関係

③ 揚水水位を精度高く予測・確認する

一定量揚水試験 (1000L/min) の揚水井及び観測井の補正水位を、図 4.14 に示すように縦軸に水位、横軸に時間 (対数) のグラフにプロットし、10 年間連続揚水した場合の水位予測を行った。本地区の渇水期最大水位低下量は 0.25m が確認されているので、これを加えて 10 年後の最低水位は、表 4.2 に示すように揚水井で KBM-4.450m、観測井は KBM-3.650m と予測される。

表 4.2 揚水水位の実測・予測

経過日数	揚水井		観測井	
	揚水量 (L/min)	水位 KBM-m	水位 KBM-m	
0	0	2.72	2.67	
2日	1000	4.01	3.22	
10年	1000	4.20	3.40	
渇水期水位低下量m		(0.25)	(0.25)	
10年後最低水位		4.450	3.650	

一定量試験(実測)
 予測

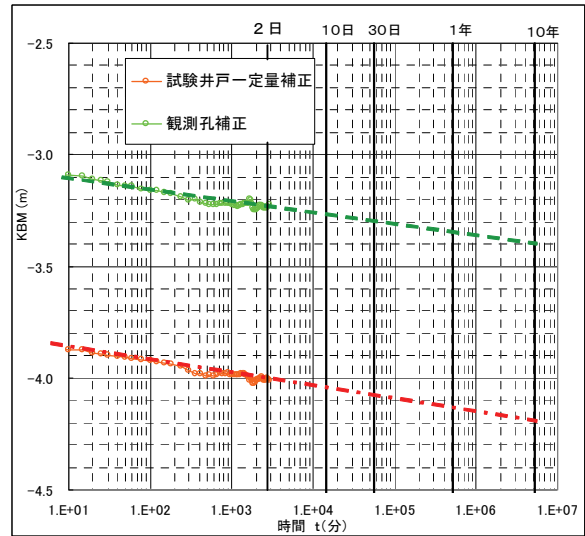


図 4.14 10 年後の水位低下予測図

④ 結論

計画水量 1000L/min を 10 年連続で揚水した場合、揚水井の水位は KBM-4.450m と塩水化限界水位 KBM-3.66m を大きく超えていた。しかし、観測井においては KBM-3.650m と僅かに塩水化限界水位以浅にとどまった。また、海側の敷地境界付近 (揚水井から海側 50m 付近) の予測水位は図 4.15 から KBM-3.37m と多少余裕があること、さらに、10 年後の予測に対し、実際の揚水は年に 6 ヶ月程度であることから、塩水化は発生しないと判断される。

ただし、上記の結果は 1000L/min 揚水時の推定値であり、実際の運用に当たっては、揚水井の揚水量・水位、境界付近に観測井を設置し、水位・塩分濃度など監視するのが望ましい。

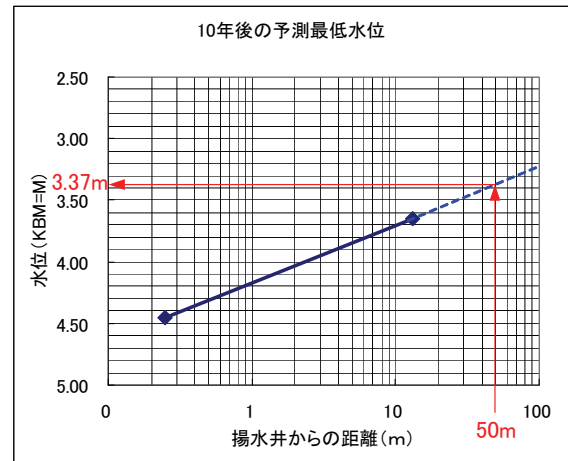


図 4.15 10 年後の予測水位と距離の関係

塩水限界水位 $h_f = D \div 40 - 4.0 = (17.5 - 4.0) \div 40 - 4.0 = -3.66m$

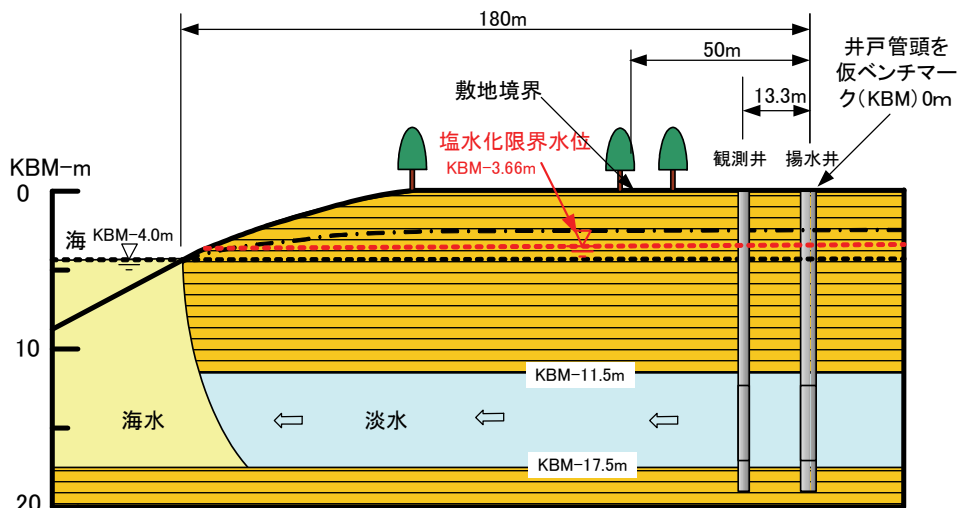


図 4.16 解析モデルと塩水化限界水位

4.2 地震被害

4.2.1 地震被害の要因

今回の地震は、日本の観測史上最大のM9.0、最大震度7を記録するとともに、その後の余震活動もM7.0以上が繰り返し発生した。この状況下において、水井戸被害の発生は、表3.2に示したように青森県、岩手県、宮城県および福島県のほぼ全域で確認された。その中でも3章の被害状況で記したとおり、岩手県と宮城県が地震による被害率は高かった。

この地震による被害現象の特徴として、今回の災害が地震と津波の複合災害であったなかで、水井戸被害38本中で地震による濁り発生が18本で水井戸被害の約半数を占めたこと、その9割が表4.3に示す対処により短期間で使用に供したことなど、過去最大の地震規模に揺さぶられたにもかかわらず、97.9%の水井戸は地震発生後もその機能を維持できたことである。

表 4.3 地震による水井戸被害の現象と対処

被害	市町村	水井戸・住所	水井戸構造	被害状況と対処	水井戸形状
濁り	一関市	弥栄字小間木	φ3500深度20m	一時的に濁度が発生したため、排水作業後通常の運転とした。	RC井筒
		中里字新川原	φ6000深度8.2m	濁りが発生したが一時的なもので使用再開。たび重なる余震で濁りが発生しやすくなった。	RC井筒
		千厩町奥玉字一の坪16番地	φ5000深度5m	一時的に濁りが発生したが1日程度の揚水で正常に戻った。	RC井筒
		東山町長坂字西本町37-20	φ5000 深度7m	一時的に濁りが発生したが2時間程度の揚水で正常に戻った。	RC井筒
		弥栄字小間木	φ600深度31m	一時的に濁度が発生したため、排水作業後通常の運転とした。	CP浅井
		孤禅寺石ノ瀬	φ6000深度10m	濁りが発生したが一時的なもので使用再開。たび重なる余震で濁りが発生しやすくなった。	CP深井
	紫波町	仁郷字25番1	φ1500深度3.7m	一時的に濁りが発生したが半日程度の揚水で正常になった。	RC井筒
	青森市	大野野木	φ150 深度301m	地震発生後、濁りは発生したが一時的なもので、約半日の揚水で正常になる。	CP深井
	平泉町	平泉字馬場/戸河内水源	φ200深度100m	一時的な濁り発生(2~3日で濁りが取れた)。停電時に発電機を賃貸して揚水した。	CP深井
	国見町	石母田	φ250深度152m	地震後に濁り発生したが、半日程度で解消した。	CP深井
	加美町	工場雑用水水井戸	φ300深度200m	一時的に濁り発生。1日程度の揚水で正常に戻った。	CP深井
		工場雑用水水井戸	φ300深度160m	一時的に濁り発生。1日程度の揚水で正常に戻った。	CP深井
	石巻市	石巻工業港の工場用雑用水水井戸	φ200深度280m	一時的に濁りが出たが、3時間程度の揚水で正常になった。津波で電気系統が不良、工場も津波で被災したため、工場自体の再開目処がつかず。	CP深井
	仙台市	泉区本田町6-1学校の雑用水水井戸	φ200深度150m	一時的に濁りが発生したが、2日程度の揚水で元に戻った。	CP深井
	富谷町	民家の雑用水水井戸	φ1500深度8.0mの裸孔	濁りが取れない状態が継続している。	CP深井
利府町	森郷字内ノ目北地内	φ250 深度101.5m	1000L/分以上の揚水時に濁りが生じるようになり、揚水量を減じて使用することにした。	CP深井	
中泊町	尾別	φ300 深度100m	色度が発生し、連続揚水しても濁りや色度はとれないため、水井戸の使用を中止する。本水井戸は上部12.0m~34.0mにもストレーナーが設置されており、砂利の充填をしているがセメンチングによる遮水はされていない。これまで充填砂利で遮断されていた不良地下水が、地震時の強振動によって外側の壁肌が崩壊して流入、あるいは下部からの上昇流の可能性もある。早急に水源の確保が必要であり、現在掘削中である。	CP深井	
国見町	石母田	φ250深度60m	地震後自家発電で運転。余震のたびに濁るので運転停止。	CP深井	
水量減少	一関市	藤沢町黄海字箕ノ輪下110番地1	φ5000 深度6.8m	水量減少⇒地震発生後揚水量が約半分に減少したが、継続して使用。	RC井筒
水井戸破損	大和町	鶴巣大平字勝負沢5-1雑用水水井戸	φ200 深度150m	斜面の崩壊に伴って、ケーシング管が切断され(深度10m付近)、使用不能となった。代替水井戸掘削を検討。	CP深井
	利府町	森郷字内ノ目北地内	φ250深度120m	水中テレビカメラにより、第1から第3帯水層のスクリーンに破断、破損が確認された。現在対応策を協議中。	CP深井
	いわき市	田人町個人宅雑飲用水源水井戸	φ100深度45m	余震のたびに上がりが悪くなり、砂が混入し揚水不能になった。	CP深井

被害あり⇒復旧

被害あり⇒未復旧

地震の被害は、図 4.17 に示すように濁りが 18 箇所と一番多く発生し、次いで井戸破損が 3 箇所、水量減少が 1 箇所の順であった。ここでは、濁り発生と水量減少の主たる原因について考察を加えた。

1) 濁り発生の原因

濁りが比較的短時間で解消された井戸は、ケーシングなどの破損が原因ではなく、スクリーン周辺部の細粒分の一時的流出と考えられ、井戸構造には問題ないと判断される。

濁り解消に多くの時間を要した井戸または解消不能な井戸は、ケーシングやスクリーン周辺部の空洞化が主な原因として考えられる。被害の大きさは、この空洞化の程度と地質状況に大きく左右されると推定される。

適正に仕上げられた井戸（ケーシング井戸の例）は、図 4.18 に示すようにスクリーン周辺部の空隙が充填砂利で満たされている。このため、一般に地震動により土砂移動や崩壊を生じることとは無い。適正に仕上げられた井戸は地震動により濁りは発生しないと考えられている。

一方、施工時の砂利充填不備などによりスクリーン周辺部に空洞が存在すると、図 4.19 に示すように地震動により上部が崩壊する可能性が高い。崩壊した場合には、スクリーン挿入区間以外の上部帯水層などから、充填砂利空隙部と掘削壁のベントナイトや地層の細粒砂分などが巻き込まれてスクリーンへ流入し、濁りが発生すると考えられる。また、その流入速度が表 4.4 に示す砂の掃流限界速度を上回ると、揚砂も同時に発生すると考えられる。

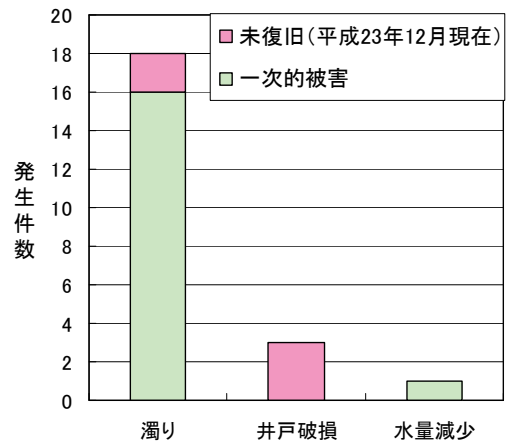


図 4.17 地震による被害発生件数

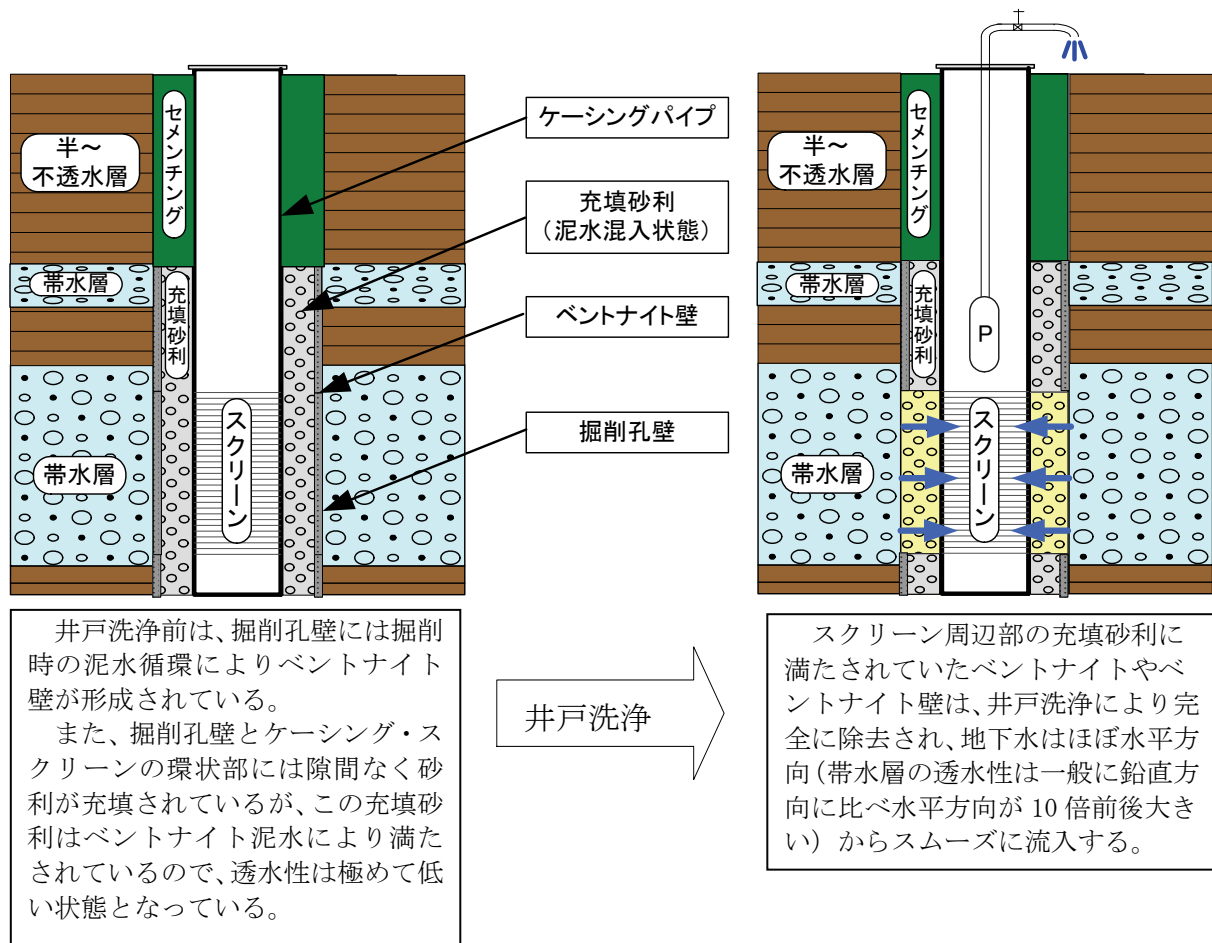


図 4.18 ケーシング井戸の濁り発生の概念図

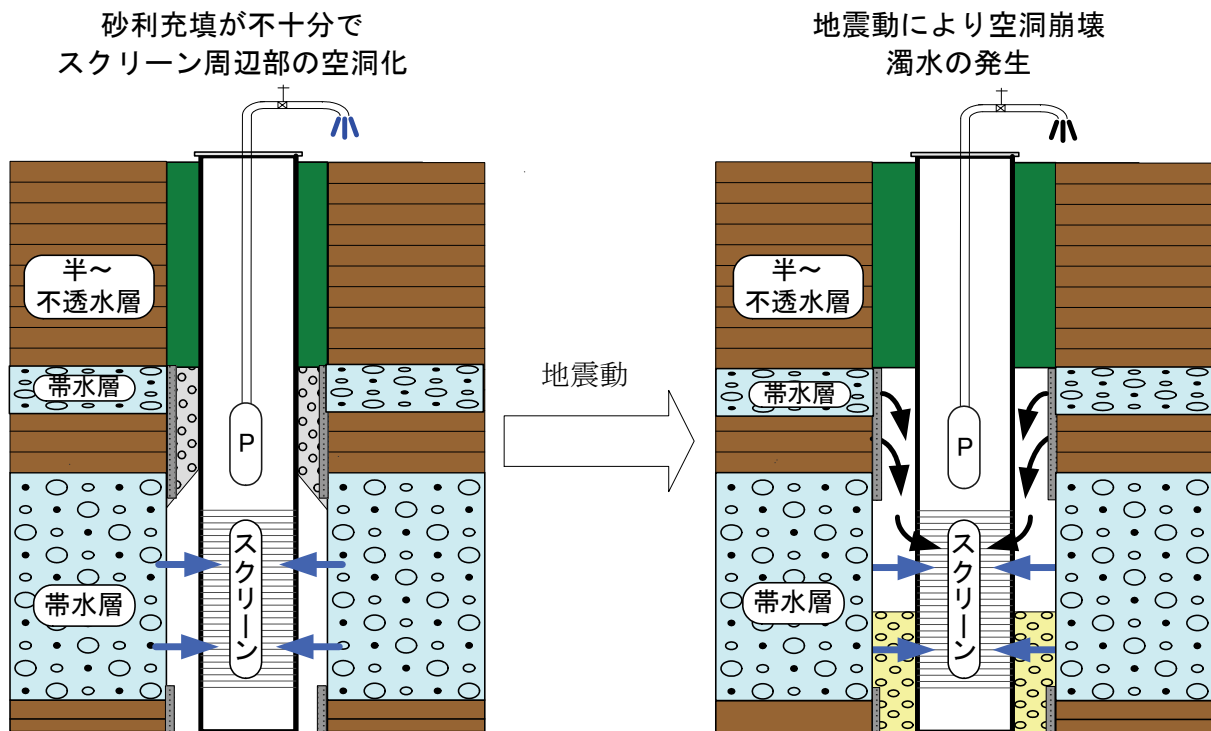


図 4.19 ケーシング井戸の濁り発生の概念図

その他、ケーシング破損による濁り発生も考えられるが、これは腐食の進行による破損などが要因として考えられる。

表 4.4 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

水道施設設計指針 2000：日本水道協会より抜粋

2) 水量減少の原因

地震による深井戸の水量減少は、濁り発生の原因と同様にスクリーン周辺部の空洞化と崩壊が主因と考えられる。

図 4.20 に示すように、水量減少の原因はスクリーン周辺部の空洞が、地震動によりスクリーン上側空洞部の崩壊を誘発し、この崩壊物がスクリーン周辺部に堆積してスクリーン部の透水性を低下（目詰まり）させているためと考えられる。

崩壊物がスクリーンの一部を閉鎖

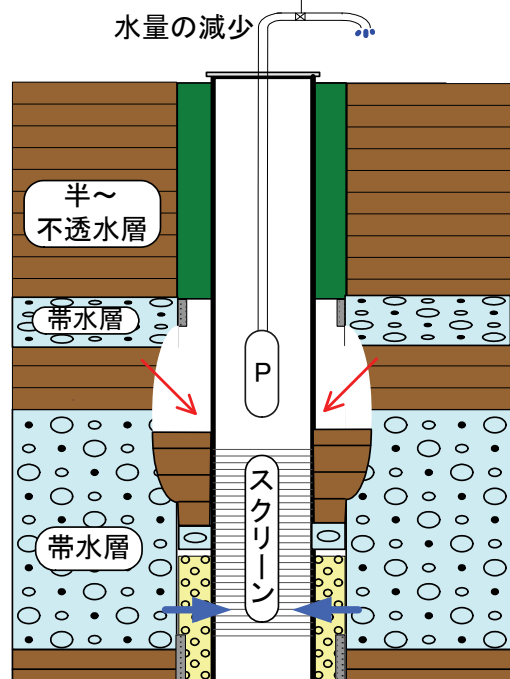


図 4.20 深井戸の水量減少の概念図

4.2.2 地震災害の対策

濁水発生・水量減少の主因は、施工時の砂利充填不備によるスクリーン周辺部の空洞化であると考えられ、図 4.21 に示すように隙間なく適切な砂利充填を実施することで、大規模地震時の濁水対策は可能であることは、今回の被害調査で検証できた。

その他、ケーシング破損による濁り発生も考えられるが、これは腐食の進行による破損などが考えられ、地震は障害発生のかげに過ぎないと推定される。ケーシングとスクリーンの腐食や破損の状況は、適切な井戸管理を実施することにより、初期の段階で発見可能である。

適切な砂利充填の方法については、『井戸施工管理指針（全国さく井協会）』で詳細が示されている。ここでは井戸管理について説明する。

1) 井戸管理の基本的な手順

井戸の管理情報は、水位計、流量計などの稼働記録と水質検査結果を基本に、この記録を解析することで揚水量の減少や他の機能障害の傾向を把握し、さらに、保全や更新の時期と方法等の的確な判断材料ともなる。井戸管理の手順を図 4.22 で示す。

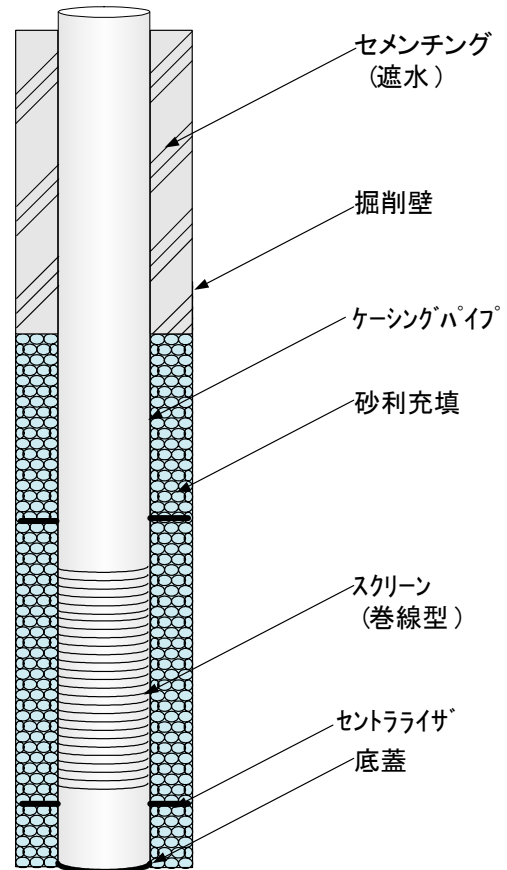


図 4.21 井戸構造概念図

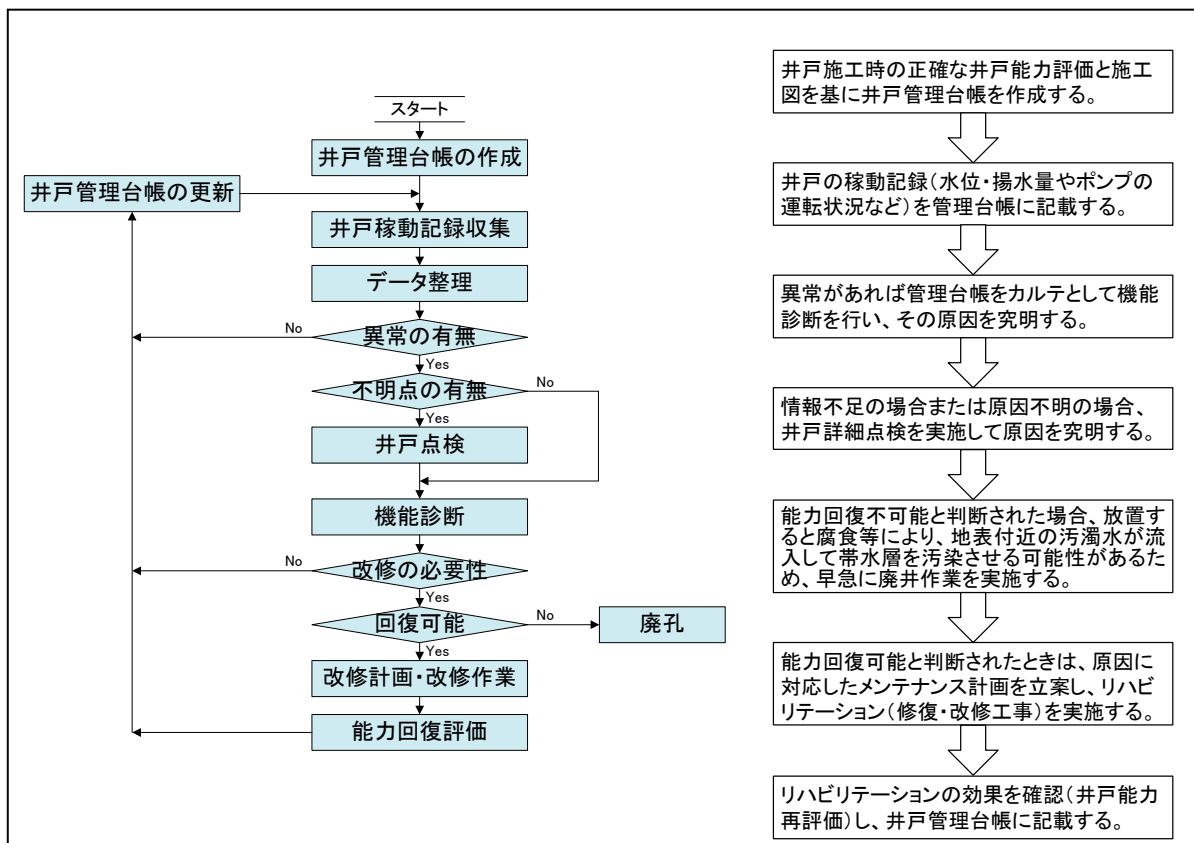


図 4.22 井戸管理の手順

2) 稼働記録の収集

井戸の機能診断の指標は、①水位、②水量、③水質の3項目が基本である。井戸の機能が低下すれば、一般に水位の低下、水量の減少、水質の悪化として現れる。

したがって、井戸の異常を早期に発見するためには、この3つの項目を継続して測定することが重要である。図 4.23 に井戸の稼働記録システムの参考図、図 4.24 にデータ整理の事例を示す。

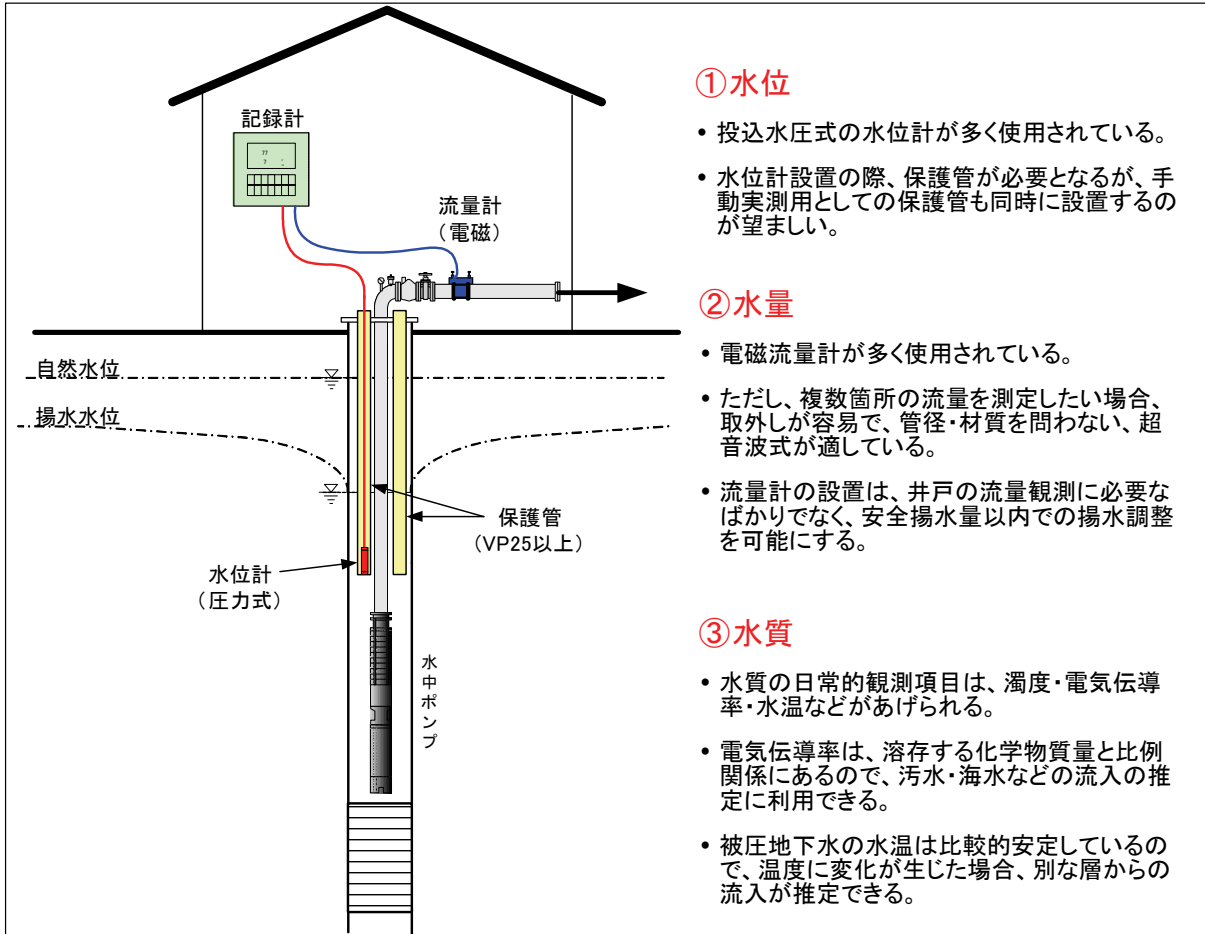


図 4.23 井戸稼働記録システム参考図

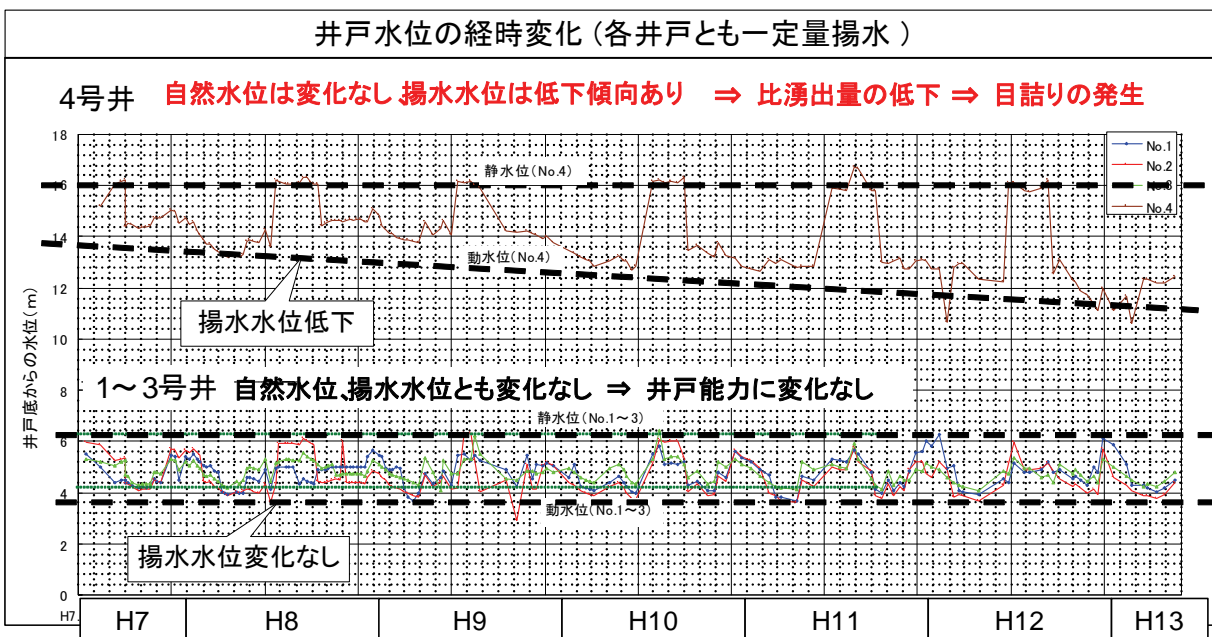


図 4.24 データ整理 (静水位・動水位) の事例

3) 井戸点検

図 4.22 に示したように、井戸の稼動記録から異常が発見されれば、井戸台帳（井戸施工時資料、稼動記録等）をカルテとして機能診断を行い、その原因を解明する。情報不足により解析が出来ない場合、井戸点検を実施する。

図 4.25 に井戸点検の一般的手順、図 4.26 に井戸点検に有効な検層一覧を示した。

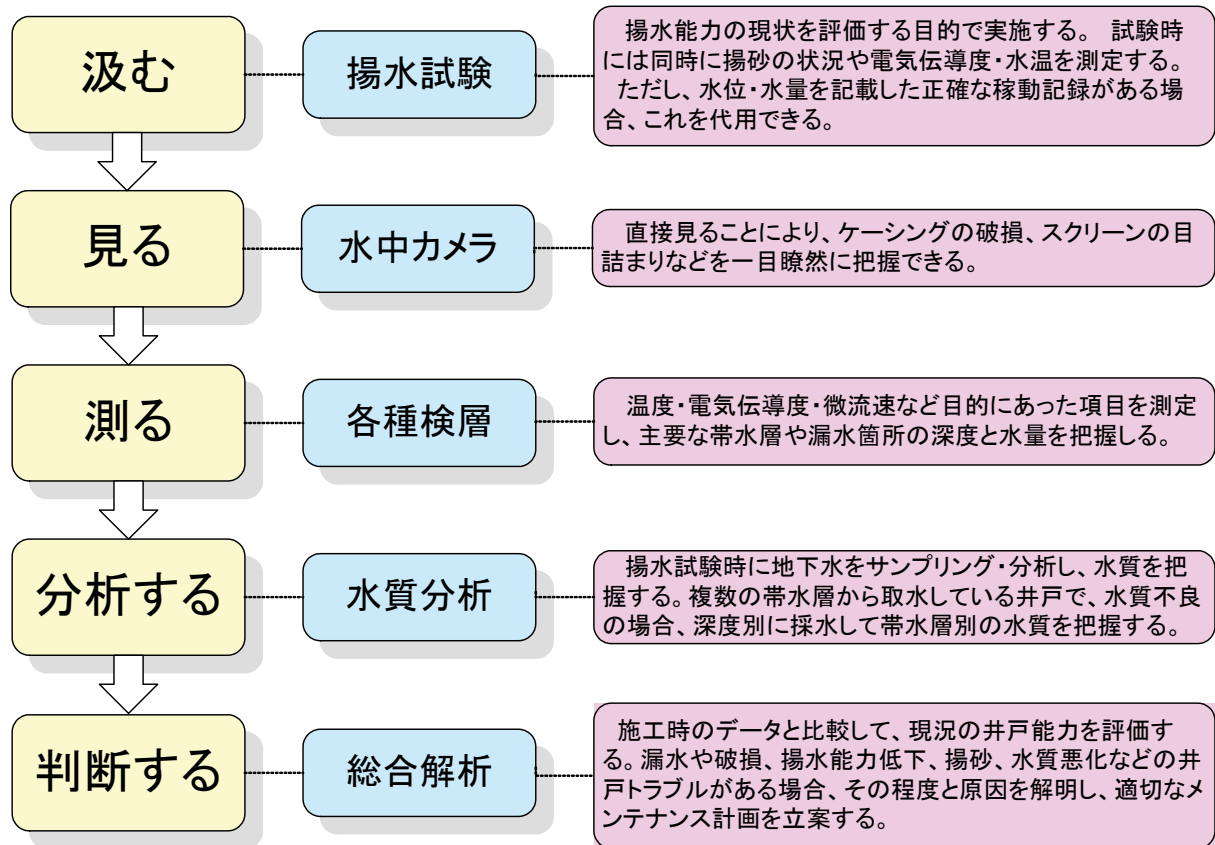


図 4.25 井戸点検の一般的な手順

検層種目	測定項目	目的
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に有効 。
	電気伝導度	電気伝導度は溶存電解質成分は多いほど、高い値を示すことから、 地層水(地下水・温泉)の流入箇所検出に非常に有効 。
水中カメラ	画像	孔内にTV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一目瞭然に把握 できる。
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 できる。

図 4.26 井戸点検に有効な検層一覧

4) 井戸の機能診断

井戸の機能診断の指標となるのは、水位・水量・水質であるが、最も重要な要素は水位と揚水量である。これらを客観的に表すものとして『比湧出量』が使用される。

比湧出量は、揚水量を水位降下量で割った値であり、次式で求められる。

$$\text{比湧出量 (L/min/m)} = \frac{\text{揚水量 (L/min)}}{\text{水位降下量 (m)}}$$

ここに：水位降下量 (m) = 自然水位 - 揚水水位

※ 被圧地下水の比湧出量は一定、不圧地下水は自然水位の変動に伴い変化

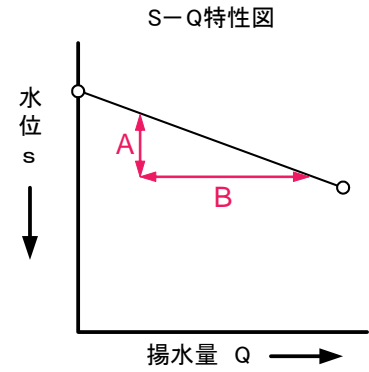


図 4.27 s-Q 特性図

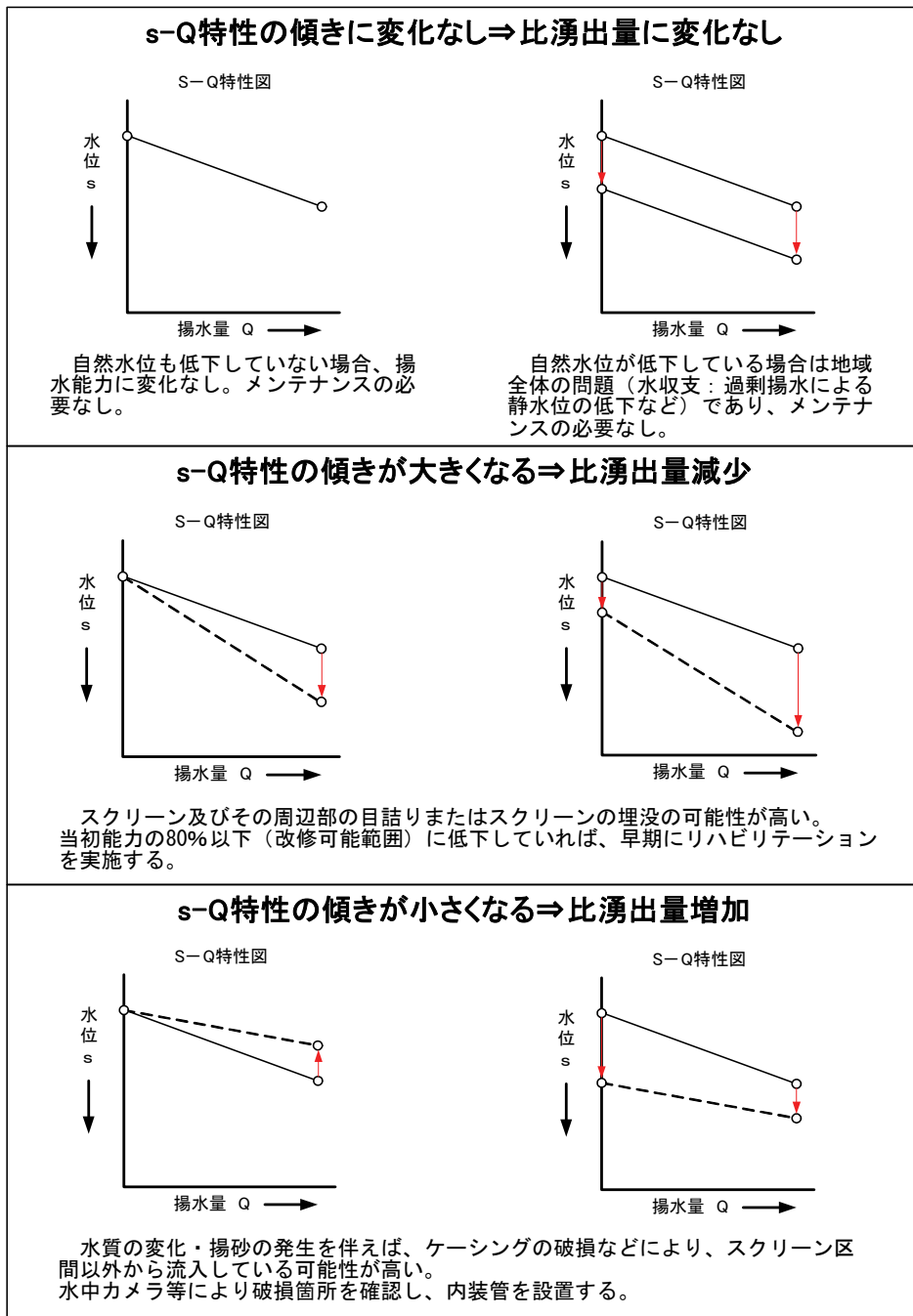
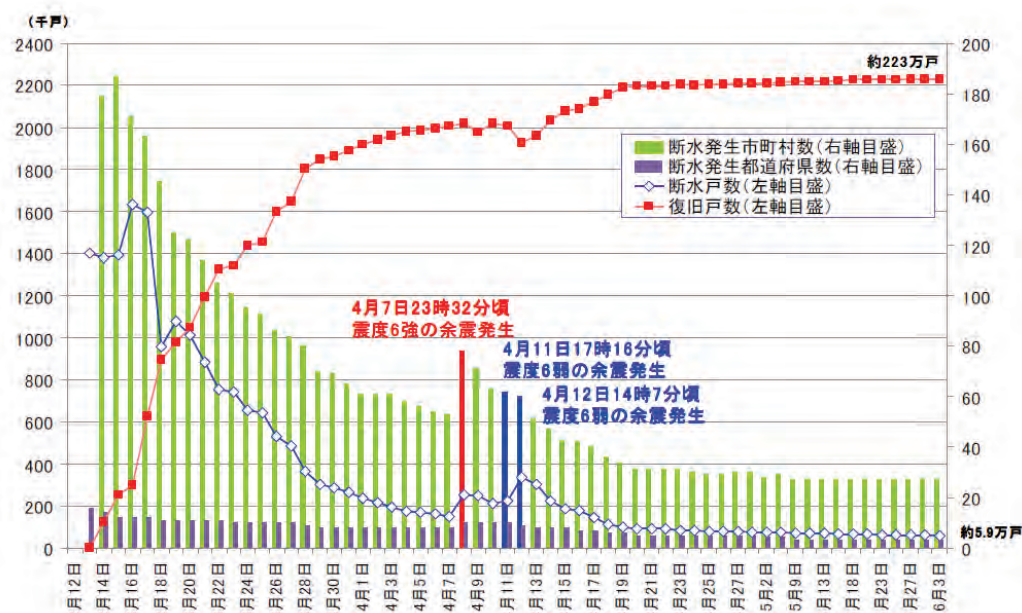


図 4.28 井戸機能診断の例（比湧出量）

5. 地震災害等における地下水を利用した地域防災計画の取り組み

5.1 地震災害等における水源確保の課題

- ① 東日本大震災では、図 5.1 に示すように水道施設の被害により 19 都道府県で最大約 230 万戸の世帯で断水が発生し、最大断水日数は約 5 ヶ月と報告されている。被災地では、水道ライフラインが遮断されたことで、市民生活にとって飲料水確保はもとよりトイレや入浴など生活用水の確保が困難な状況となった。
- ② 災害時の必要給水量は段階的に増加するため、断水日数が延びるほど生活用水確保は困難となり、状況は深刻化していったと考えられる。このことは、図 5.2 及び図 5.3 に示すように避難所や自宅で生活する被災者のアンケート結果からも明らかである。
- ③ また、災害発生直後は、消防水利の不足や病院における水不足での医療活動などにも大きな支障を及ぼしている。この現象は、高普及を達成した水道が、都市インフラとして今日ではほぼ唯一の水確保の手段となっているためである。
- ④ 表 5.1 に示すように近年、大規模地震が比較的頻繁に発生し、断水と水不足の状況が繰り返されてきたが、今後はこれまでの災害を教訓に、水供給源の複数化等の対策が必要である。



資料) 厚生労働省健康局水道課:平成 23 年東日本大震災水道施設被害等現地調査報告書(H23 年 9 月)

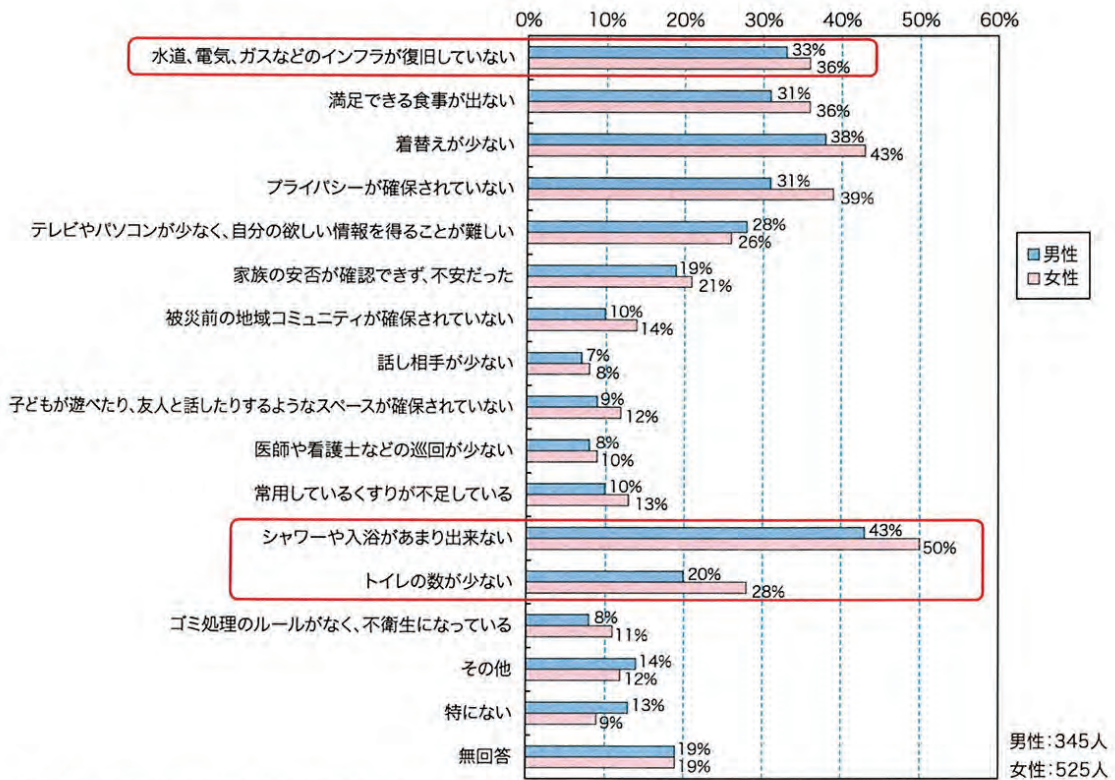
図 5.1 東日本大震災における水道の復旧状況

表 5.1 東日本大震災と最近の地震(水道の被害状況等)

地震名等	発生日	最大震度	地震規模(M)	断水戸数	最大断水日数
阪神・淡路大震災	H7 年 1 月 17 日	7	7.3	約 130 万戸	90 日
新潟県中越地震	H16 年 10 月 23 日	7	6.8	約 130,000 戸	約 1 カ月
能登半島地震	H19 年 3 月 25 日	6 強	6.9	約 13,000 戸	13 日
新潟県中越沖地震	H19 年 7 月 16 日	6 強	6.8	約 59,000 戸	20 日
岩手・宮城内陸地震	H20 年 6 月 14 日	6 強	7.2	約 5,500 戸	18 日
岩手県沿岸北部を震源とする地震	H20 年 7 月 24 日	6 強	6.8	約 1,400 戸	12 日
駿河湾を震源とする地震	H21 年 8 月 11 日	6 強	6.5	約 75,000 戸	3 日
東日本大震災	H23 年 3 月 11 日	7	9.0	約 230 万戸	約 5 カ月

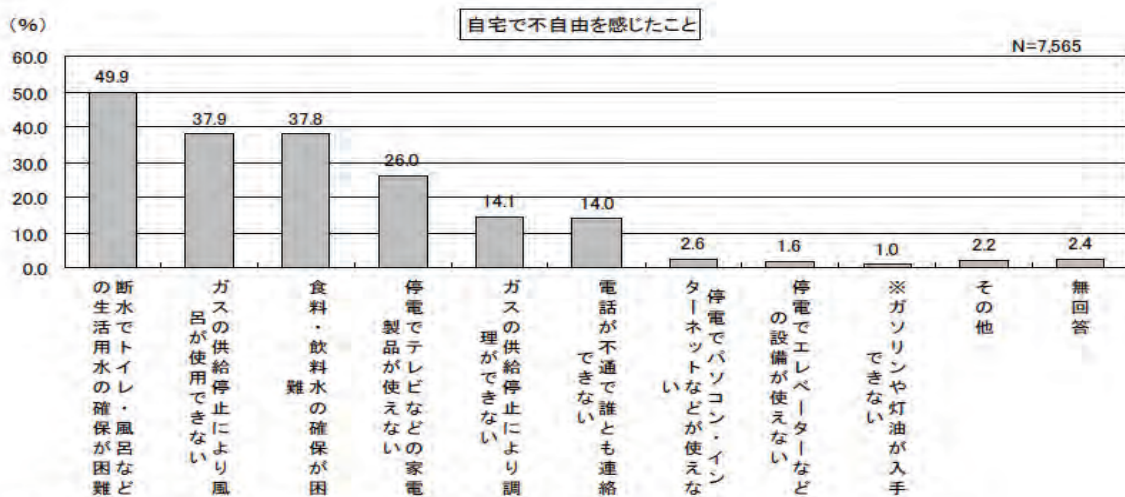
資料) 厚生労働省水道課

※ 最大断水日数の内、新潟県中越地震は道路復旧等の影響地域除く。
また、岩手・宮城内陸地震は全戸避難地区除く



(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
資料) 国土交通省；平成24年度版「日本の水資源」

図5.2 東日本大震災避難生活アンケート



※が付いている項目は、「その他」の中から特に多かった項目を抜粋

資料) 仙台市ホームページ

図5.3 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

5.2 地域防災計画(非常用水及び防火用水)における地下水利用の優位性

震災時に利用が想定される水供給源は、大量に供給可能な水源として河川・池・湖沼水や海水が挙げられるが、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。また、雨水や再生水の水質は比較的良質であるが、専用の設備が必要となる。

一方、地下水は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。

「東日本大震災による井戸の被害調査」から、井戸は地震に強い耐震性の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。

5.3 地域防災計画における地下水利用の現状

これまでの地震災害から、災害時に利用できる井戸を整備することにより、水に関する危機管理対策の充実を図るケースが増えている。地域に密着した身近な水源として、地下水を有効に活用している現状を、事例を中心に以下に示す。

5.3.1 国土交通省の地下水有効利用の取り組み

- ① 平成19年3月に、「今般、地下水をめぐる最近の動向と保全・利用に向けた課題、地下水利用のあるべき基本的な考え方を整理し、今後の地下水利用のあり方に関する提言」を目的として『健全な地下水の保全・利用に向けて』を作成した。
- ② 平成21年3月には、「震災時の水の確保(主に飲料水以外の生活用水)に関する危機管理の充実を図るとともに、身近な水源である地下水(井戸水)を有効に活用するための方策と事例を示す」ことを目的として『震災時地下水利用指針(案)』を作成した。

5.3.2 自治体の災害用協力井戸(応急給水用井戸)制度の展開

阪神・淡路大震災以降、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、個人や事業所が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ある。

なお、この制度では、大半の自治体が事前に水質検査等を行い、生活用水としての点検確認を実施するほか、井戸には井戸プレートを掲示するなど情報の開示を行っている例が多い。

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箇所の井戸が登録されているとの報道がある(毎日新聞2012/1/17)。

表5.2に仙台市の取り組み事例を示す。

表 5.2 東日本大震災時における仙台市の協力井戸の事例

<p>仙台市では、平成12年度から民間と企業に登録募集を開始し、震災時点で個人井戸185箇所、事業所井戸39箇所が登録されていた。</p> <p>東日本大震災後に仙台市が実施した「災害応急用井戸」の活用調査によると、震災で断水となった地域において個人宅の8割近く、事業所の7割近くの登録井戸が利用されていたとの結果が公表された。</p>						
協力井戸利用状況						
登録井戸	登録総数	調査回答	断水地域登録(A)	利用状況		利用率 B/A
				有(B)	無	
個人	185井	158井	106井	84井	22井	79%
事業所	39井	39井	26井	17井	9井	65%

資料) 仙台市ホームページの東日本における災害応急用井戸の利用状況から作成

5.3.3 災害時の重要な拠点（収容避難場所等）の事例

近年、地域防災計画（給水計画）として、災害時の重要拠点に防災井戸を設置する自治体が増えている。これにより、災害時における緊急水の安定的な確保が期待される。表 5.3 に、自治体の取り組みの一例を紹介する。

表 5.3 自治体の取り組み事例

自治体	取り組みの概要
滋賀県 東近江市 箕作小学校	<p>文部科学省が平成 24 年 6 月に公表した「公立学校施設整備に関する防災対策事業活用事例集」によると、滋賀県東近江市の箕作小学校の新設コンセプトの一つとして「地域に開かれた学校づくり」を掲げ、防災井戸、かまどベンチ、防災倉庫などの整備を行った。</p> <p>この整備の背景は「災害時の一時避難場所として市民が生活することを想定し、救援活動の場としての機能を備えることを目的に災害に強い学校造りの一つとして、井戸による水の確保の計画」を作成した。</p> <p>また、整備の効果では、「市の新たな避難場所となり、非常時の水の確保ができたため、有事の際での多目的利用が考えられ、周辺市民の安心感につながっている。また、子供たちは、活動の中で、水の汲みあがる仕組みの学習や周辺の散水などに利用している」。</p> <p>資料）文部科学省：公立学校施設整備に関する防災対策事業活用事例集（平成 24 年 6 月）</p>
神奈川県 安全防災局	<p>神奈川県教育委員会は高校に 7 箇所、都市公園課は広域避難所と広域応援活動拠点としていしている 8 公園を含む計 13 公園に井戸を設置した。井戸で確保した水は飲用を禁止しており、当初は主に災害時に公園内へ設置したマンホールトイレを使用した際の処理用水として活用する方針であった。現在は、初期消火用水としての活用も視野に入れているとしている。</p> <p>資料）建設新聞神奈川：命の水確保へ 井戸は防災の要（2011 年 10 月 31 日）</p>
旭川市 消防本部	<p>旭川市では、阪神・淡路大震災を教訓とし、平成 7 年から町内会を中心に、自主防災組織を結成するとともに「地下水を利用した防災井戸」を設置し、消火用ポンプ・防災資機材を整備した。その数は、平成 16 年 4 月現在で、自主防災組織 118 団体、防災井戸 720 本、防災資機材 118 式となっている。</p> <p>資料）旭川消防本部：地下水を活用した自主防災組織～旭川コミュニティ防災資機材整備事業</p>
北海道開発局	<p>北海道開発局が平成 24 年 1 月に公表した「開発局の危機管理と今後の地震・津波対策について」では、行政機関として災害時の拠点庁舎の機能を維持し、迅速・確実に機動的な対応等を行うとし、このため「庁舎の防災機能の強化」の一環に設備機能の確保・信頼性の向上として『水源の複数化（防災井戸＋受水槽）、自家発電容量の確保』を掲げ整備を行った。</p> <p>資料）国土交通省北海道開発局：北海道開発局の危機管理と今後の地震・津波対策について（Ⅲ今後の地震・津波対策）</p>

5.3.4 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。

災害拠点病院では、受水槽や井戸設備での対応、水道事業者等の給水などにより、最低限必要な水は確保された。しかし、水道事業者が病院だけを優先的に給水するのは難しいという意見があった。

平成23年度の調査では、回答のあった489病院中、受水槽の容量は半日～1日分が207病院（42.3%）であり、2日分以上が126病院（25.8%）であった。また、井戸設備を備えている病院は229病院（46.8%）であった。

災害拠点病院においては、適切な容量の受水槽の保有や、停電時にも使用可能な井戸設備の整備、優先的な給水協定の締結等、あらゆる手段を講じて診療時に必要な水の確保に努める必要がある。

また、その中で災害時の地下水の利用の有効性に関する事例が紹介されている。

〔参考〕国立病院機構水戸医療センター（病床500床）での地下水利用の状況

- 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
- 地下水システムは常時使用し、1日使用量の90%を賄う。
病院での日使用量：273トン（雑用水除く）
病院内貯水槽：200トン
- 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。
 - 水戸市内や福島県などの病院から患者を受け入れ
 - 人工透析患者を断ることなく受入れ、透析を実施
- 水戸医療センター周辺は、3月11日～25日までの14日間断水が続いたが、当センターは地下水利用のため、断水はなかった。

5.3.5 災害時の防火用水の事例

東京都は、防災対応指針（平成23(2011)年11月）の中で消防水利の確保の対応策として表5.4に示すように『多機能型深井戸の整備等による消防水利の確保』を打ち出している。

表5.4 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。

5.4 地域防災計画における地下水利用の提言

5.4.1 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、表 5.5 に示すように震災発生直後から被災生活開始、さらに復旧作業の開始以降の各段階で変化する。地域防災計画の策定や改定時には必要な水量や被災住民の水の運搬可能距離などを勘案し、なかでも水の入手に課題のある地区を検討して防災井戸を効果的に配置することが重要となる。

この防災井戸については、近年、大都市を中心に個人や企業が所有する井戸を「災害時の協力井戸」として登録する制度が導入されてきている。今回の大震災時にも既に導入していた仙台市での事例が報告され、地域住民にとって有効に活用されたことは前節で記載した。

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。また、地下水の水温特性から冷暖房用水に活用することも可能であり、電気・水等のコスト低減化に寄与し井戸の機能維持上からも望ましい。

5.4.2 新規防災井戸の検討方法

地下水の利用検討には、地域ごとの帯水層の構造や水量・水質を把握し、より良質な地下水開発を進めることが重要であり、その実現に当たっては、既存の地下水関連のデータが重要な手がかりとなる。地下水に関連するデータは、事前に地域ごとに収集整備し、データベース化・マップ化するとともに、地下水の分布状況などを水理地質図及び同説明書として整理しておくことが肝要である。

災害井戸の新規計画に際しては、この井戸データベースや水理地質図から計画地の帯水層の分布深度や水量・水質等の基礎情報を得て、より良質で水量豊富な取水対象層を選定し、井戸構造（深度・口径・スクリーン設置等）を決定する。

図 5.4 に井戸データベースを利用した、地下水開発対象層の検討事例を示す。

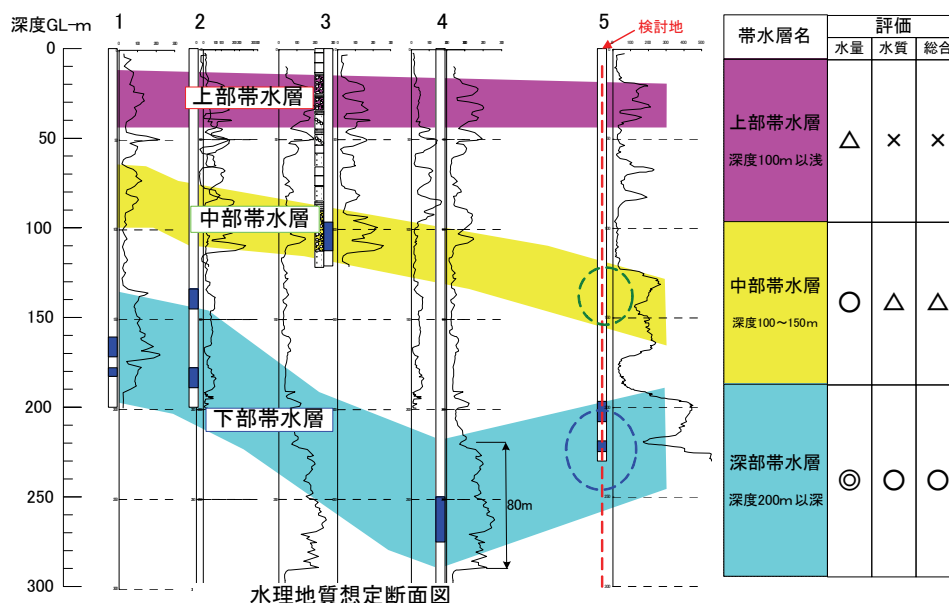


図 5.4 井戸データベースを利用した帯水層の検討事例

表 5.5 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)

6. 水道における災害・事故対策としての地下水活用

6.1 水道における災害・事故の状況

水道が高普及化した今日、市民生活や社会活動にとって水道が水確保のほぼ唯一の手段となっており、ライフラインとして必要不可欠な社会基盤となっている。このような状況の中では、地震等の自然災害や水質汚染等の突発性事故による減・断水が社会に与える影響は、極めて深刻なものとなる。このため、水道関係者は、過去の災害等の経験を踏まえ水道施設の耐震化とともに、水源や配水の相互連絡を図る整備など、安定した給水を確保するためハード・ソフトの両面から減・断水の予防対策を進めてきた。しかし、これら水道施設の強靱化対策には膨大な費用を要すること、各々の水道事業には地域特性があり財政面・運営管理面・施設老朽化対策などの様々な課題を抱えていること等から、予防対策の進捗状況は事業体で異なっているのが現状である。

今回の地震災害では、被災地域が広範囲に及び、水道施設が被災した被害も甚大で、被災地の断水日数もこれまでの災害では最大となった。水道施設における耐震化等の予防対策は、今後、一層の加速化が必要となる中で、ここでは主たる水源の予備水源や代替水源等として地下水の有効活用を提案する。

近年、地震・豪雨など自然災害や化学薬品の流入事故などによる水道原水のうける被害で水道の減水・断水となるケースが多い。また、小雨化傾向による水源のダム貯水率低下などが給水制限に繋がるなど飲料水供給のリスクが大きくなっている。表 6.1 に災害により水道施設がこうむる被害の主たる要因と影響を示した。

表 6.1 災害等による水道影響

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	・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		・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	・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	・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	・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	・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	・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

6.2 水道における災害・事故の対策

表 6.1 に示したように、災害時の水源や取水・浄水施設への影響度によって水道原水の取水停止や減水、浄水処理不能などは給水の減水・断水へと繋がることから、地表水を水源とした水道では、予備水源又は代替水源を備えることが必要であり、その方法として地下水の活用を図ることが有効な対策となる。

特に、浄水システムに緩速ろ過法を導入している水道では、気象条件に左右されず水質の安定している地下水を予備水源として確保することは、ろ過機能の特性から豪雨時の水質変動にも処理の安全・安定性を確保するうえで有利となる。また、浄水機能停止時には、地下水の水質によっては滅菌後に応急給水用の水確保として配水池へ送水し、この活用を図ることも可能となる。これらの活用例を図 6.1 に示す。

	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 style="text-align: center;">平常時</p> <p style="text-align: center;">*% 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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">* 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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">*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

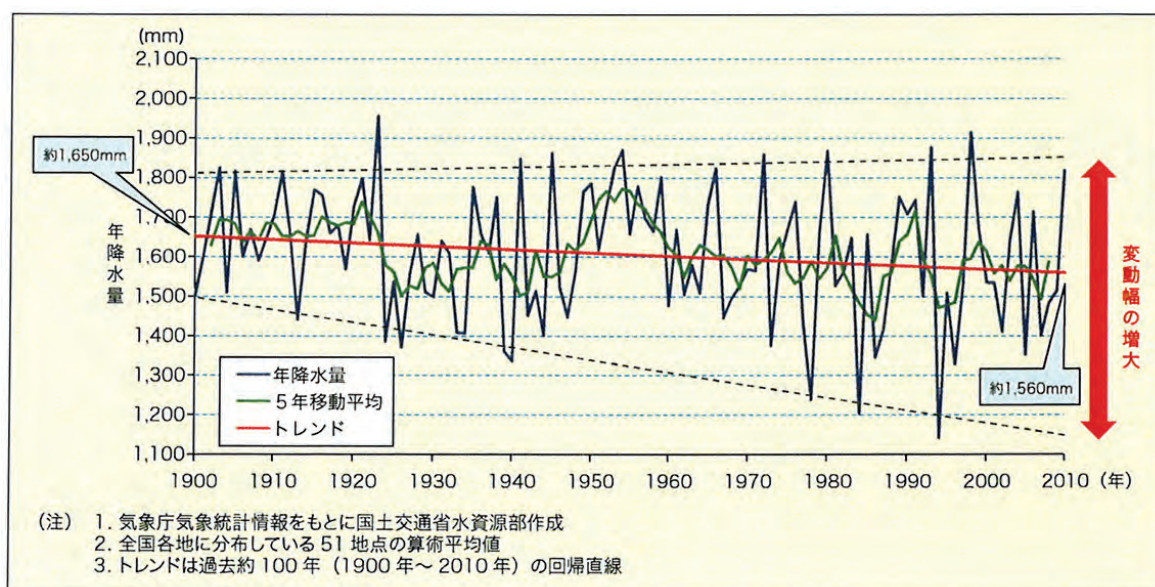
図 6.1 水道システムでの地下水活用例

7. 地下水の保全・利用に向けた基本的考え方

7.1 地下水の保全・利用に向けた課題

安全で良質な水供給に対する要請がますます強まる一方、図 7.1 に示すように近年、降水量の多い年と少ない年の変動幅が次第に増加し、渇水年の年降水量が減少傾向にある。さらに、年最長連続無降雨期間の長期化が認められ、気候変動に伴う渇水が従来以上に頻発かつ長期化する傾向にある。また、地震や豪雨などの自然災害や化学薬品の流出事故などの人為災害により減水・断水となるケースも多く発生し、大都市を中心に水供給利用安全度に対する危機管理への備えの必要性が高まっている。

その対策として、5章及び6章で述べたように地下水の活用が極めて有効であることを提言した。



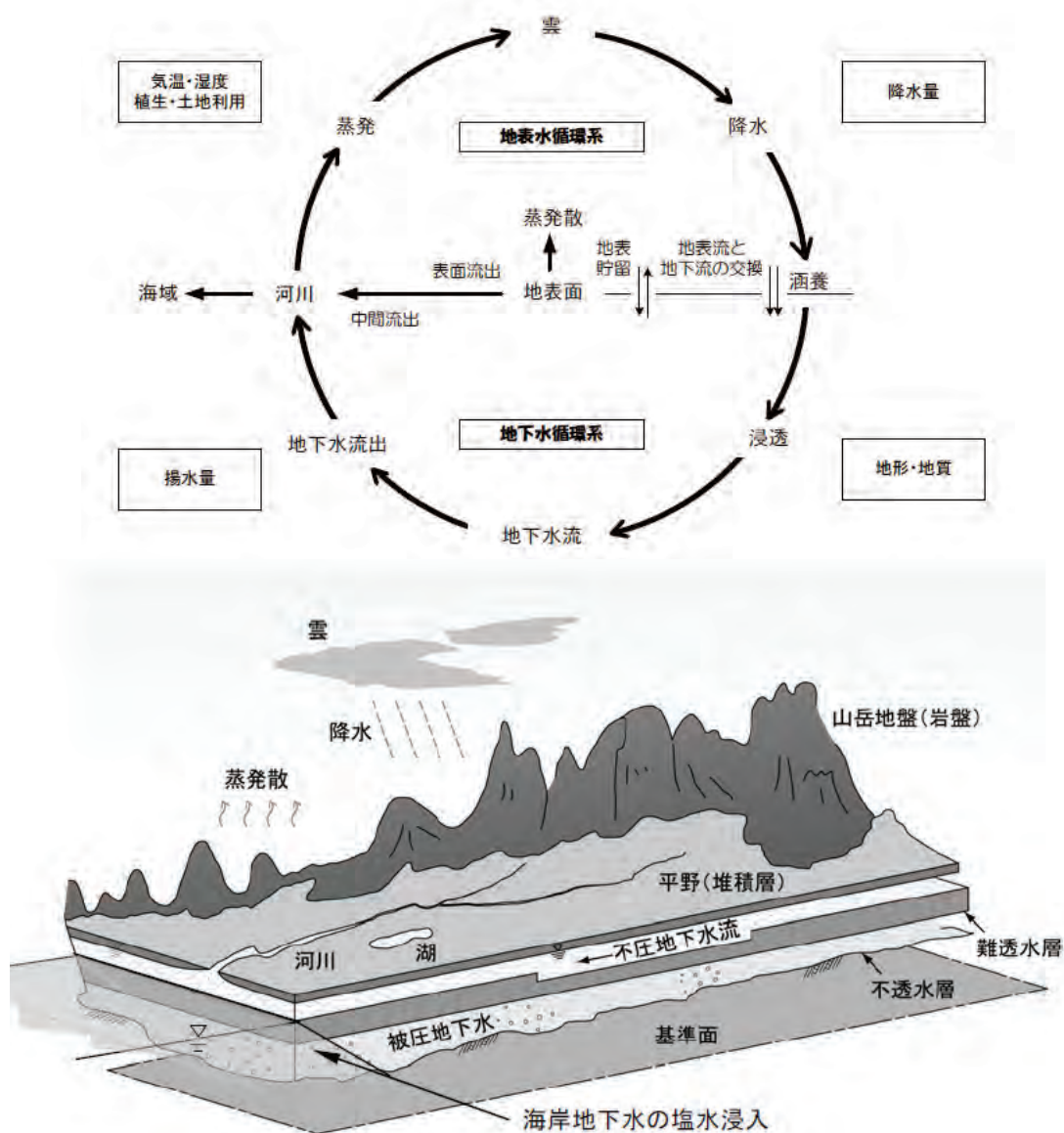
資料) 国土交通省；平成24年度版「日本の水資源」

図 7.1 年間降水量の長期変化

地下水は、図 7.2 に示すように地下水流動系をなして存在し、特定の土地の地下水は流動の一過程に過ぎない。言い換えれば、地下水は河川水と同じように上流側から供給されて下流側に流出する循環型の資源であり、流域の既存井戸はいずれも相互に影響し合っている。特定の井戸または地区で供給量を上回る揚水（過剰揚水）を継続すると、周辺の地下水位は極端に低下し、近隣の井戸への影響は水量減少などの被害として現れる。さらに水位低下が広域的に広がれば、地盤沈下などの障害が発生することになる。

このような地下水障害を発生させることなく、安定的に地下水を確保するためには、『健全な水循環を維持する』ことが前提である。そのためには、『地下水は地域（地下水盆）の共有財産』という認識に立ち、地域（地下水盆）全体の合意形成のもと、地下水の収支バランスが保たれる範囲内で、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。

- 地下水の源は降水であり、地表水とともに水循環系を構成する。降水の一部は、直接流出として河道に流出する。
- 直接流出は、地表から河道に流れる表面流出と、一度地中に浸透した後に浅い地下水流として河道に流出する中間流出に分けることができる。
- 直接流出しない降水は、窪地などに一時的に貯留されるか、土壤に浸透する。土壤に浸透した降水の一部は重力によって下方に浸透し、地下水となる。地下水は地表水に比べて、地中をゆっくりと流れる。
- そして、やがて河川・湖沼や地表面に再び流出し、地表水に合流する。平均滞留時間は数百～数千年といわれている。
- このような水循環を図示したものが下図である。水循環の過程においては、大気事象や大地の影響を強く受けている。
- 例えば、地下水涵養は降水量に支配され、地下水循環は地質や地形によって規定され、蒸発は気温や湿度、植生などの影響を受けている。
- さらに、採取量（揚水量）や土地利用などの人為的な要因も水循環に影響を与えている。



資料) 佐藤邦明編著「地下水環境・資源マネジメント」埼玉大学出版会(2005年)をもとに加筆

資料) 健全な地下水の保全・利用に向けて
 (今後の地下水利用のあり方に関する懇談会：国土交通省平成19年3月)

図7.2 水循環とその規定要因の概念図

7.2 地下水の保全・利用に向けた提言

7.2.1 適切な地下水の保全・利用の手順

一般に、地下水に関するデータ整備や利用実態の把握は十分進んでいるとは言えない。また、健全な水収支を保つための管理基準値（水位・利用可能量等）を設定するための数値シミュレーションモデルを活用した実践例も限られており、当初から精度の高い将来予測は困難である。

このため、適切な地下水の保全・利用に当たっては、最初は過去の地下水障害を教訓として実測値や経験則に基づいて計画を立案し、実際に運用しながら評価・見直しを重ねていく PDCA サイクル（図 7.3）を継続的に行うことで、精度を高めていくことが重要である。

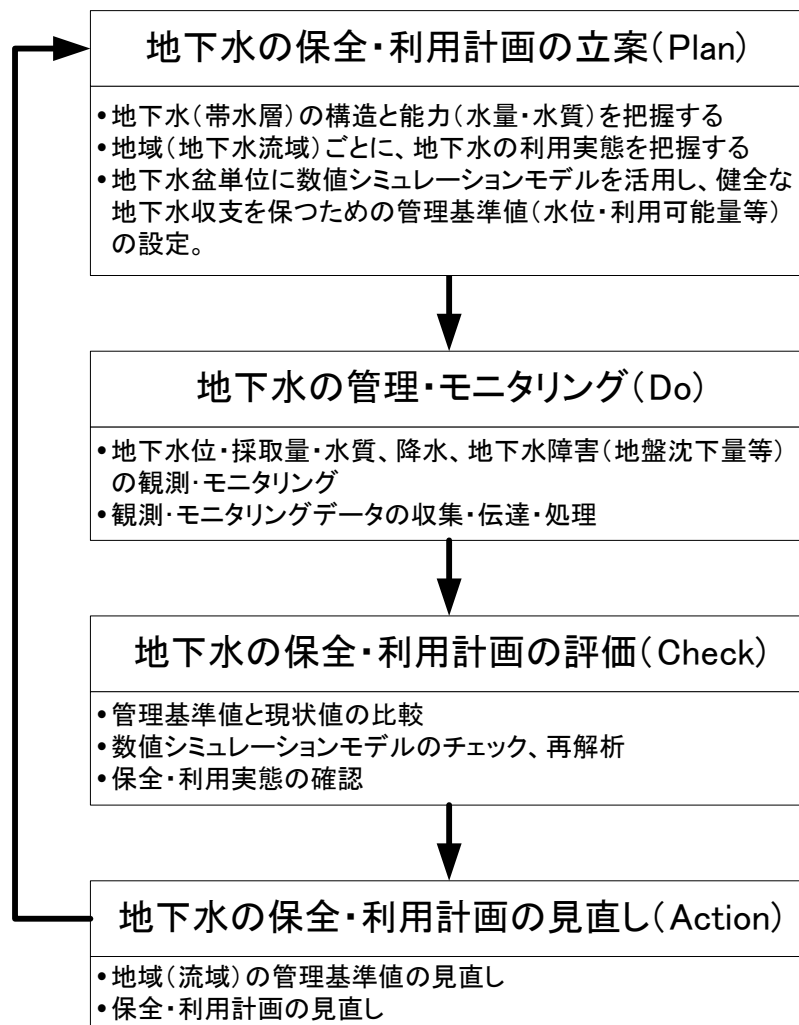


図 7.3 適切な地下水の保全・利用のためのPDCAサイクル

7.2.2 地下水関連のデータ整備の重要性

適切な地下水の保全・利用計画の立案に当たっては、図 7.3 に示す PDCA サイクルによって地域ごとの地下水の利用実態を確認し、帯水層の構造や水量・水質をより正確に把握することが重要である。その実現に当たっては、地下水関連のデータが重要な基礎資料となる。

(社)全国さく井協会は、東日本大震災の支援活動の一環として『福島県 地質・地下水分布図(水理地質図)および同説明書』を作成し、本報告書の別冊として取りまとめた。その際、井戸資料を収集して『福島県井戸データベースシステム』を構築した。

このシステムは、福島県内の各地域における「地下水利用の現状や水理地質状況」の把握を容易にし、地下水利用時の水位・水量・水質及び井戸構造などは、既設井戸の状態を視覚的に確認・検討することで推定が可能となり、地域の復旧・復興に供することができるものである。

以下に、その概要を示す。

1) 福島県井戸データベースシステムの概要

井戸データベースシステムは、井戸台帳、井戸柱状図を地図上で検索・表示する webGIS システムである。表示は井戸柱状図のほか、一般の土質柱状図も合わせて表示することができる。さらに、ワードファイル、エクセルファイル、PDF も地図上に登録することが可能である。

(1) 井戸データベースの基本データ

本データベースの基本データは、表 7.1 に示すように井戸施工時の諸データに加え、地下水の揚水による環境変化を把握するため、水位・水量・水質等の観測項目も基本データとした。

井戸データ入力シートは、上記の基本データの他、震災の井戸への被害状況についてもデータ項目に加えた。

表 7.1 井戸データベース基本データ

情報名		データ名	備考
基本		施工年月日、井戸名、所在地、施工業者、利用目的、利用状況等	
位置		緯度・経度、標高	
井戸構造		井戸深度、口径(掘削・仕上げ)、ケーシング・スクリーンの仕様、スクリーン設置深度等	
地質		地質柱状図	JACIC形式で整理
地下水	揚水能力	揚水能力 (s-Q特性・比湧出量・透水係数等)	掘削時
	物理検層	電気(比抵抗)検層・温度検層	
	水質	水質、水温	
地下水環境変化		揚水量(瞬間・積算)、水位(揚水・回復水位) 水質、水温	経時変化

(2) 井戸データベース活用システム

井戸データベース活用システムは、以下に示す特徴がある。

- ① 背景地図に水理地質図などの図面を重ねることが可能である。
- ② 大量のデータを扱っても軽量で動作が高速。
- ③ データの管理が簡単なことから、情報専門のシステム管理者がいなくてもデータの追加や管理ができる。
- ④ 地図はインターネットにて提供されるため更新の必要が無い。
- ⑤ ネットワーク上にあるすべての PC から井戸データなど情報を閲覧できる。

【基本画面】

画面上に井戸の位置をプロットし、インターネットで公開されている地図や空中写真などと、今回シームレス地質図をもとに作成した福島県地質図をオーバーレイしながら必要な地域の井戸を検索してその情報を得ることができる(図 7.4)。

図の縮尺は任意に選択でき、また、画面の左側にあるボタンで井戸の検索や断面図の作成など選択することができる。

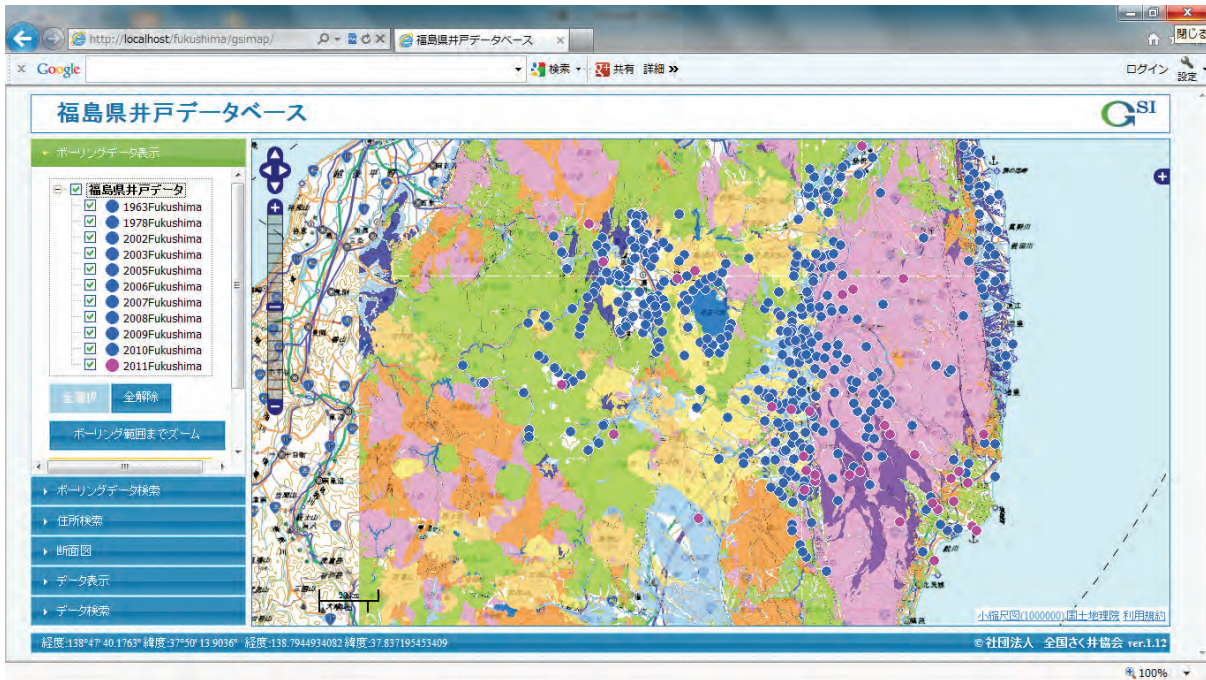


図 7.4 基本画面

【井戸情報】

画面中(図 7.5)の○印をクリックすると、吹き出しが現れ、井戸の概要を記した地質柱状図および孔内検層図の xml ファイル、データシートの xls ファイルが表示される。クリックするとそれぞれの情報が図 7.6 及び図 7.7 に示すように表示される。



図 7.5 井戸情報選択画面

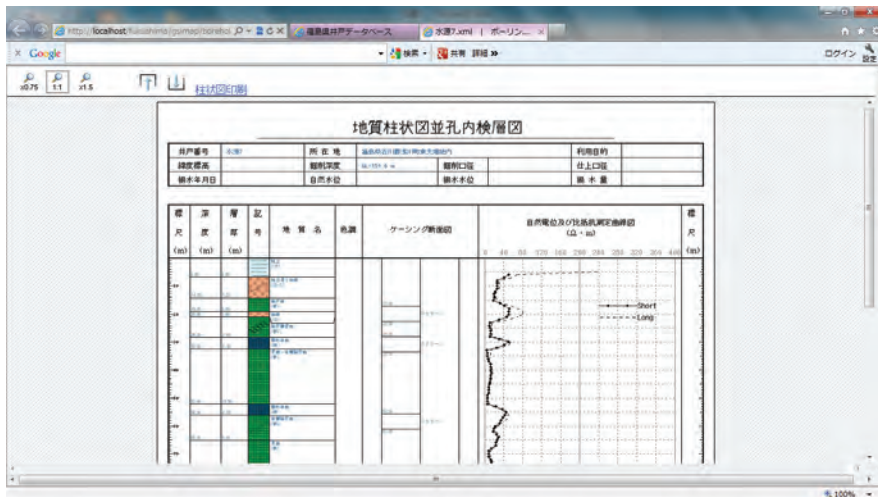


図 7.6 地質柱状図並孔内検層図の xml ファイル

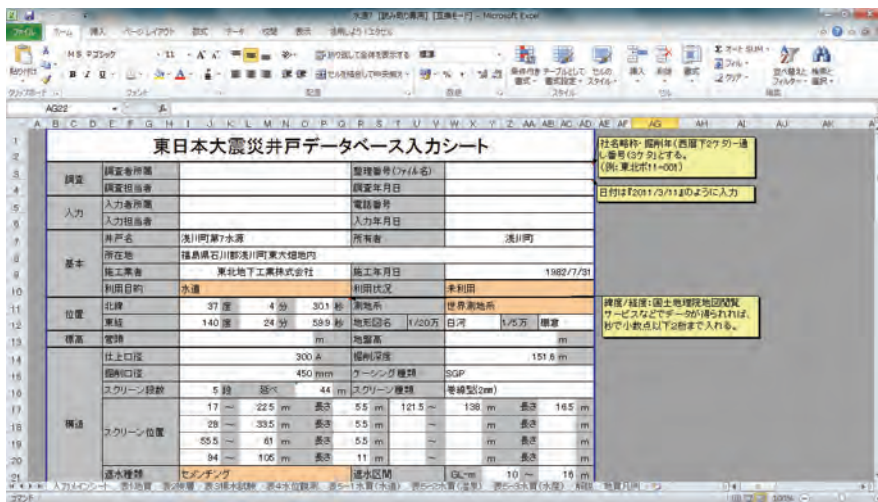


図 7.7 データシートの xls ファイル

【断面図作成】

任意の井戸の選択し、「断面図作成」をクリックすると、平面図の下に、断面図を表示することができる。断面図は単独で拡大表示可能である (図 7.8)。

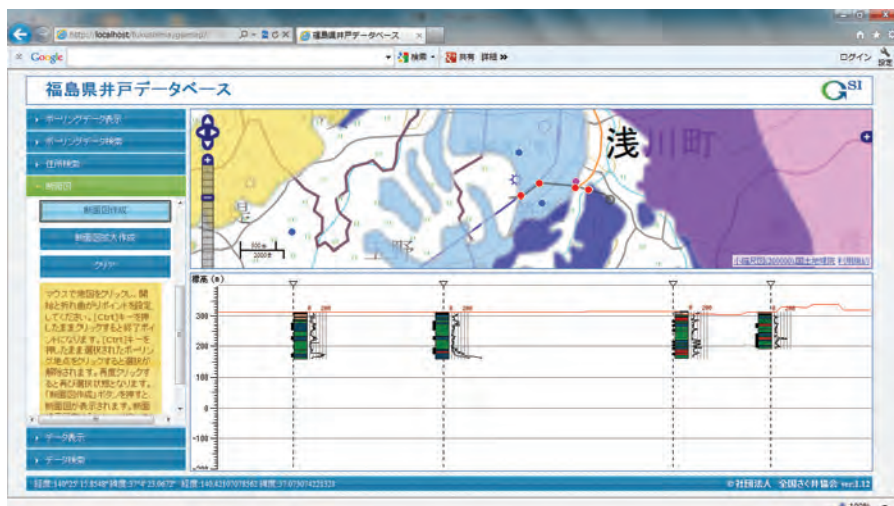


図 7.8 断面図作成

2) 井戸データベースの現状と課題

(1) 現状

- ① 地下水に関連する調査（ボーリング調査等）は、公共工事や地下水開発で行われてきたが、地方自治体や民間企業などが所有する井戸の情報は、取り扱いに関する明確な法的根拠がないため、機関や部署ごとに、保管や整理方法に統一性がない。
- ② 地方自治体においては、過去に実施されてきた地下水調査など、地下水関連の情報に関し、系統別集積・整理しなければならないが、これらの貴重な情報が散逸してしまい、また数年で廃棄されている例も少なくない。
- ③ 本井戸データベース構築に使用した情報は、国土交通省の資料である全国地下水（井戸）資料台帳のデータ 1013 本と協会が収集した 97 本の合計 1110 本の井戸データを用いて作成した。表 7.2 に示すように井戸データの最も基本となる 5 項目のうち、柱状図、スクリーン位置、揚水試験の結果データは 90%以上記載されていたが、水質データは 40%と半分以下となり、検層（比抵抗）データにいたっては 5%に満たない、極めて少ない状況であった。

表 7.2 井戸基幹データ取得状況

データ名	井戸数					
	該当井戸数	%	4項目	%	5項目	%
柱状図	1110	100	412	37.1	19	1.7
スクリーン位置	1058	95.3				
揚水試験結果	1009	90.9				
水質分析結果	445	40.1				
検層図	49	4.4				

(2) 課題

- ① 比抵抗検層は、概略の透水性を判断するには極めて有効であり、また定量的な物性値であるので個人解釈に差はなく、複数の井戸において、その形状から地層の連続性の検討にも有効である。このため、今後は検層データを必須項目として収集の力を注ぐことが重要である。
- ② このことから、地下水関連の情報を取り扱うための仕組み（法体系ないし規則）を整備し、各事業主体が連携して資料の収集・整理を行う必要がある。その上で、GISなどの情報技術を活用してデータベース化・マップ化を進め、地下水に関する基礎データの共有化を図りつつ、地下水関連のデータベースとして経年的に内容を充実させて行く取り組みが緊急の課題となっている。
- ③ 貴重な井戸資料が、都道府県によっては他の行政文書と同様に数年で廃棄される現実があり、この事態を打開するために地質・井戸資料の半永久的な一括管理が緊急の課題となっている。

8. おわりに

(社)全国さく井協会は、東日本大震災で被害の大きかった東北4県において水道水源として使用されている水井戸を主体に被害の実態調査の結果をまとめ、報告書として平成24年7月に公表した。本報告書は、第Ⅱ報として井戸被害の要因分析を行い、得られた教訓から今後の井戸施工・維持管理上の対策、さらに災害時の防災用井戸などの利活用と共に地下水資源の保全などを整理し報告するものである。

今回の調査対象とした被災県は、太平洋沿岸の都市が数多くあり、これら地域では日本の観測史上最大規模の地震動による被害を受けるとともに、津波の遡上高が10mをはるかに超える海水浸水に見舞われた。この状況下において、水井戸に発生した被害の要因を地震と津波に分け、更に井戸形状による被害内容を分類し、整理・分析するなかで、被害の多くは地震による濁り発生、津波による塩水化現象であることが分かった。このような水質的な現象を含め今回の被害は、井戸施工・維持管理などに起因して生じた部分も多いが、大部分の水井戸は、未曾有の地震・津波にも耐え機能を維持し、水供給の役割を果たしていたといえる。

地域の水供給施設として、水道が唯一の手段となつて久しいが、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進められてきている。しかしながら、このような目的で設置された水井戸の平常時の活用例は少なく、維持管理などの問題から全国的な展開となっているとは言い難い。井戸機能を維持する上でも平時の有効活用とその効果について、当協会として情報発信をしていく必要があると考えている。

(社)全国さく井協会としては、被災地に入り実態調査による井戸被害のデータを収集・分析した。ここで得られた井戸に関する多様な情報を今後のさく井業界の貴重な資料として活用することにより、災害に強い井戸の施工、最適な維持管理手法の確立を目指していく所存である。

(社) 全国さく井協会

本部・支部	郵便番号	所在地	電話 F a x	メールアドレス
本部	104-0032	東京都中央区八丁堀2丁目5番地1号 東京建設会館4階	03-3551-7524 03-3551-7520	office@sakusei.or.jp
北海道支部	060-0003	札幌市中央区北3条西2丁目1番地 カミヤマビル	011-251-5766 011-251-5775	
東北支部	983-0852	宮城県仙台市宮城野区榴岡4丁目1番8号 パルシティ仙台1階	022-257-1614 022-257-1615	touhoku@sakusei.or.jp
北陸支部	920-0059	石川県金沢市示野町西7番地	076-267-3262 076-267-3271	hokuriku@sakusei.or.jp
中央支部	104-0032	東京都中央区八丁堀2丁目5番地1号 東京建設会館	03-3551-7524 03-3551-7520	office@sakusei.or.jp
中部支部	451-0051	名古屋市西区則武新町1丁目20番1号 市営南押切荘3棟105号	052-571-4638 052-571-4638	
近畿支部	532-0011	大阪市淀川区西中島5丁目11番10号 第三中島ビル4階	06-6305-3188 06-6305-3085	kinki@sakusei.or.jp
中国支部	731-0103	広島市安佐南区緑井1丁目20番4号 オネストビル	082-870-0206 082-299-0206	chugoku@sakusei.or.jp
四国支部	760-0067	香川県高松市松福町2丁目15-24	087-821-4367 087-851-9376	shikoku@sakusei.or.jp
九州支部	862-0913	熊本県熊本市東区尾ノ上2丁目11番18号	096-383-3224 096-383-3489	sakusei@themis.ocn.ne.jp

東日本大震災による井戸の被害調査報告書【Ⅱ】 (別冊:福島県 地質・地下水分布図)

発行日
平成25年3月

<p>編集・発行 社団法人 全国さく井協会 東日本大震災被害調査委員会 〒104-0032 東京都中央区八丁堀2丁目5番地1号 東京建設会館4階 TEL 03-3551-7524 / FAX 03-3551-7520 / mail: office@sakusei.or.jp 印刷所 株式会社 さんけい 札幌市西区八軒10条西12丁目2番48号</p>
--