

(8-44) 地下水を水源とする専用水道水の浄水処理工程の相違とその水質  
- クリプトスポリジウム等対策と膜ろ過の設置 -

○吉川 循江(横浜市衛生研究所) 堀切 佳代(横浜市衛生研究所)  
前沢 仁(横浜市衛生研究所) 高津 和弘(横浜市衛生研究所)

[はじめに] 水道水が給水されている地域でコスト削減を主な理由として、地下水を水源とした専用水道(自己水源型専水)が各地で設置されている。横浜市内で市域の地下水を原水として利用するには変化に富んだ地下水成分の濃度を下げる処理が必要のため、Fe, Mn, NH<sub>4</sub>-Nの処理を優先した浄水設備が設置<sup>1-6)</sup>されてきた。

耐塩素性病原生物の混入について、近年、クリプトスポリジウム等対策指針<sup>7)</sup>が設定され、水道原水に係るクリプトスポリジウム等による汚染のリスクレベルの判断に「被圧地下水のみを原水としているか」を用いている。同時に改正された施設基準省令<sup>8)</sup>では地下水を原水とする施設に限り紫外線処理も導入されたことを受け、横浜市では審査基準<sup>9)</sup>の中で被圧帯水層に合わせてスクリーンの設置、さらに膜ろ過設備の設置、濁度計(0.1度を測定できる性能)を備えることなどの改正を2007年4月に行った。

そこで、2012年以降に給水開始され逆浸透膜が設置されている施設を中心に既存の設備(前塩素、凝集、イオン交換、急速ろ過、原水槽、膜ろ過など)や水質検査結果を比較検討したので報告する。

[方法] 2012年5月~2013年8月に横浜市内の自己水源型専水9施設から原水及び市水と混合前の浄水処理水(処理水)を採水し水質検査(のべ55項目)を行った。浄水処理設備の種類、工程は申請書類等から調査した。

[結果] 各施設の浄水処理設備を図1に示した。原水と処理水における水質検査結果を表1に示した。

9施設すべてが急速ろ過処理、後塩素を行っていた。No.4を除き、8施設の原水からNH<sub>4</sub>-Nが検出されたが、処理水では0.1mg/L未満でいずれも不連続点塩素処理されていた。No.4は原水のNH<sub>4</sub>-Nが0.1mg/L未満、NO<sub>3</sub>-Nが0.45mg/L検出されており、地下水スクリーン-24~36の上層は砂層であり難透水層が確認できないことから自由地下水も取水していると推定され地表水の混入は不明であるが、クリプト等による汚染のリスクはレベル2に該当する可能性がある。No.8は唯一、4-ジオキサンが原水、処理水から0.0050、0.0051mg/L検出され地表水の混入が疑われた。ただし、トリクロロエチレン等の揮発性有機化合物は検出されていなかった。No.9では主に取水している原水から大腸菌群が検出されており糞便による汚染に注意を要する。

6施設(No.2, 3, 4, 5, 6, 8)の原水槽は前塩素の前、後に設けられていた。No.2, 4, 5, 6, 7, 8の原水のMnは水質基準0.05mg/Lと比べて高い。特にNo.4は原水のFeが0.084mg/L、NH<sub>4</sub>-Nが0.1mg/L未満にもかかわらずMnは0.38mg/Lでこれまで報告<sup>2, 3, 6)</sup>した事例の中でも高く、MnがFeより4.5倍も高い数値を示した。No.2, 5, 8の原水のFeは水質基準0.3mg/L前後の値であるが、いずれも0.01未満まで除去されていた。No.2のFeは0.27、0.44mg/Lと変動しており注意が必要である。

ポリ塩化アルミニウム(PAC)注入はNo.1でのみ導入されていた。急速ろ過では原水が低濁度であっても必ず凝集剤を用いて処理を行うこと<sup>7)</sup>とされている。No.3, 9は後段に膜ろ過が無いため処理水濁度0.1度以下の管理が必要である。硫酸注入設備はNo.1で導入されており、Alは原水では0.01未満であったが、処理水では0.082mg/Lに増加した。硫酸イオンは原水1.7mg/Lから処理水では3.2mg/Lに上昇した。pHは8.1から7.3に低下、TOCは0.89~0.50mg/Lに低下、色度は9.3

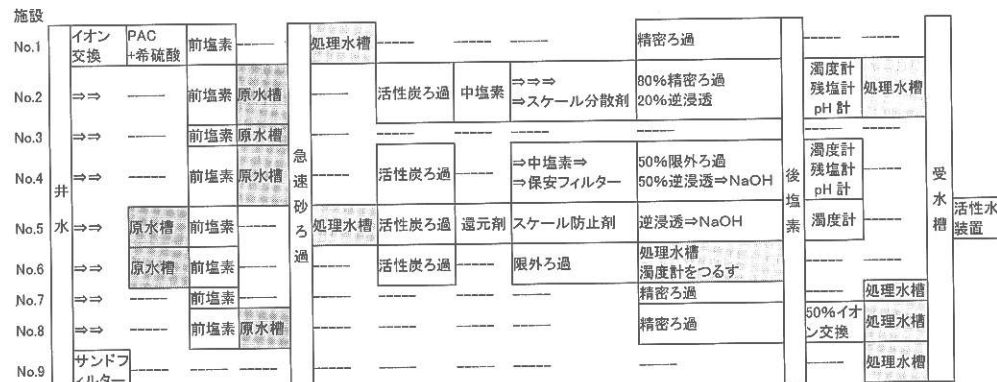


図1 自己水源型専用水道における浄水処理設備、工程

~2.4度に低下した。pHが低下したことで色度を低減できた。

イオン交換はNo.1, 8で設置されており、No.1はイオン交換で原水に5.6mg/LあるNH<sub>4</sub>-Nを0.1mg/L未満まで除去して、塩素要求量を減少させる目的のため前塩素の前段に設置されている。この時点でNaClを添加しているためNaは40から52mg/Lに、塩化物イオンは5.9から35mg/Lに上昇している。No.8は全処理量の50%を軟水器と呼ばれるイオン交換を通過させ、MgやCaを約50%減少、硬度を120から65mg/Lへ減少させていた。

活性炭ろ過はNo.2, 4, 5, 6の4施設で導入されており、No.4は水道用粒状活性炭、No.5は粒状ヤシ殻活性炭を用いて臭気、有機物、色度、残留塩素などを除去する目的で設置されていた。残留塩素を取り除く目的はその後逆浸透膜や限外ろ過膜の保護とされていた。色度はNo.2が6.3から1.3度、No.5が5.8から0.85度、No.6が1.6から0.5未満、TOCはNo.5が3.0から0.3未満に減少していた。

逆浸透膜が設置されているNo.2, 4, 5のうち浄水量の全量を通させているNo.5はMgを0.74mg/L、Caを1.5mg/Lまで減少させているため、硬度は110から6.7mg/Lまで減少していた。受水槽の後段の活性炭装置は逆浸透膜で減少したMgやCaを補うために設置されていた。No.2は浄水量の20%を、No.4は50%を逆浸透膜に通させていた。No.5では逆浸透膜保護の目的で還元剤として亜亜硫酸Naが添加されていた。No.2, 5では逆浸透膜の前段でスケール分散剤あるいは防止剤として合成ポリマーに分類されるポリアルキルリン酸塩、水溶性ポリマーに分類されるカルボン酸重合物が添加されていた。また、No.4, 5は逆浸透膜の後段でpH調整のためNaOHが添加されていた。限外ろ過はNo.4, 6, 精密ろ過はNo.1, 2, 7, 8に設置されていた。膜ろ過設備が無いNo.3は原水濁度4.1度を示し、沈殿物は硫化亜鉛及びシュウ酸カルシウムを認め<sup>9)</sup>、処理水濁度は0.16度であった。水道用膜モジュール規格認定品はNo.2, 4, 5, 6, 8の5施設で使用されていた。

常時測定できるインライン濁度計がNo.2, 4, 5では設置され、No.6は処理水水槽中に濁度計を設置していた。

[まとめ] クリプト等による汚染のリスクレベルの判断に「地表水等の混入していない被圧地下水のみを原水として・・・」とあるが、地下水スクリーンの位置、地質の層序、比抵抗値から難透水層や帯水層を確認し判定することは難しい。さらに、地表からの汚染の可能性を水質検査結果から判定することも難しい。耐塩素性病原生物の混入に効果を発揮するためには膜ろ過設備の設置が望ましく、クリプト等を除去できる膜ろ過が設置されていない施設、地表からの汚染が疑われる施設は原水の指標菌検査を3か月に1回の実施、ろ過水濁度を0.1度以下に維持する運転管理が重要と考えられた。

表1 自己水源型専用水道におけるスクリーン位置、水質検査結果、給水開始年月

施設 No.	採水年月	地下水スクリーン		pH	色度 (度)	濁度 (度)	Mn	Fe	Na	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	蒸発残留物		Mg	Ca	TOC	給水開始年月											
		深度 (-m)	スクリーン上層の地質									原処	処					原処	処	原処	処	原処	処					
1	H 82-86		泥岩	8.1	7.3	9.3	2.4	ND	ND	0.028	ND	0.060	ND	40	52	5.6	0.034	0.10	210	240	4.2	4.2	11	11	0.89	0.50	H 22.2	
	24.5	98-110	泥岩																									
2	H 24.5	103.5-120	泥岩	7.8	7.5	4.3	1.7	ND	ND	0.074	ND	0.27	ND	12	14	1.9	ND	0.047	200	150	8.7	5.6	26	17	0.57	0.38	H 24.2	
	H 25.8	131-136.5	泥岩																									
3	H 24.7	147.5-158.7	泥岩	7.8	7.3	6.3	1.3	0.13	ND	0.084	ND	0.44	ND	12	12	1.9	ND	ND	200	130	8.6	4.6	26	13	0.56	0.36	H 19.5	
	H 24.7	65-76	粘土砂	7.9	7.9	2.4	1.8	4.1	0.16	0.039	0.014	0.089	0.023	11	17	0.86	ND	0.031	220	200	4.5	4.6	28	28	0.41	0.35	H 24.3	
4	H 24.7	24-36	砂	7.2	7.1	1.3	0.94	ND	ND	0.38	ND	0.084	ND	8.6	8.9	ND	0.45	0.32	190	170	9.0	5.7	22	14	0.33	ND	H 24.1	
	H 24.7	60-88	泥岩																									
5	H 24.7	54-66	シルト	7.9	7.7	5.8	0.85	ND	ND	0.11	ND	0.27	ND	21	8.6	2.7	ND	ND	230	47	12	0.74	24	1.5	3.0	ND	H 24.1	
	H 24.7	76-82	シルト																									
6	H 24.11	104-110	シルト	8.1	7.7	1.6	ND	0.14	ND	0.052	ND	0.036	ND	9.4	16	2.1	ND	0.05	190	230	7.5	7.5	31	31	ND	ND	H 24.8	
	H 24.11	110-128	粘土																									
7	H 24.11	104-112	泥岩	7.9	7.8	1.4	0.70	ND	ND	0.051	0.0057	ND	ND	10	11	0.55	ND	ND	150	160	4.1	4.2	21	20	ND	0.33	H 24.10	
	H 24.11	116-124	泥岩																									
8	H 24.11	48-60	泥岩	7.9	7.9	4.6	ND	0.13	ND	0.13	ND	0.23	ND	10	39	0.72	ND	ND	170	180	13	7.0	26	14	0.50	0.49	H 23.11	
	H 25.8	57-62.5	泥岩																									
9	H 25.8	73.5-79	泥岩	7.9	7.9	2.1	0.82	0.10	ND	0.016	0.0042	0.085	0.024	15	20	0.76	ND	0.13	380	340	24	19	47	45	0.35	0.32	S 47.9	
	H 25.8	95.5-101	凝灰岩																									
9	H 25.8	134-144	泥岩																									
	H 25.8	167-172.5	砂岩																									
9	H 25.8	188.5-194	砂岩																									

ND: 色度0.5未満、濁度0.1未満、Mn0.001未満、Fe0.01未満、アンモニウム態窒素0.1未満、硝酸態窒素0.02未満、TOC0.3未満

文献 1) 吉川循江, 他; 都市部の地下水を水源とする専用水道水の無機態窒素調査 - 浄水処理方式の違いによるアンモニウム態窒素等を指標とした処理効果の確認, 環境技術, Vol.38, No.9, 656-663, (2009). 2) 吉川循江, 他; 都市部の地下水を水源とする専用水道水の金属元素調査 - 浄水処理方式の違いによるマンガ、鉄、ヒ素の処理性 - 環境技術, 42, 41-48, 2013.3) 吉川循江, 他; 都市部の地下水を水源とする専用水道水の揮発性有機化合物調査 - 地下水汚染状況と地質的背景 - 環境技術, 42, 625-633, 2013.4) 吉川循江, 他; 地下水を水源とする専用水道水の茶褐色異物発生事例を踏まえた課題: 水道協会雑誌, 82, (11), 9-18, 2013. 5) 吉川循江, 他; 地下水を水源とする専用水道の硫化亜鉛検出事例: 水道協会雑誌, 投稿中. 6) 吉川循江, 他; 地下水を水源とする専用水道水の浄水処理の相違とその水質: 環境技術 投稿中. 7) 厚生省健康局水道課長通知健康水発第0330005号, 水道水中のクリプトスポリジウム等対策の実施について, 別添: 水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針; 平成19年3月30日. 8) 厚生省令第15号, 水道施設の技術的基準を定める省令; 平成12年2月23日, 一部改正平成19年3月30日. 9) 審査基準; 平成19年3月30日健康生活第1513号.