

泉北水道施設についての所見

中本信忠 信州大名誉教授
2019年11月27日

はじめに

2019年6月5日に朝日新聞「ひと」に中本を取り上げた記事を見て6月8日に高石市市議員から「光明池の水質が緩速濾過には適さないほど悪化した、急速濾過に設備更新するには約70億円必要、などの理由から来年度での浄水場の閉鎖の方向が企業団から打ち出されました（全て淀川からの水に切り替えるそうです）。」の説明に納得できないのでとのメールがあった。中本はJICA研修が7月3日に広島であるので、帰路に現場を見て緩速ろ過について説明しますと連絡し、7月4日午前中に泉北水道企業団の信太山浄水場を見学した。当日、多数の市議員が集まり、現場での解説、および事務所で顕微鏡をつかって採取した微小生物の役割を解説した。

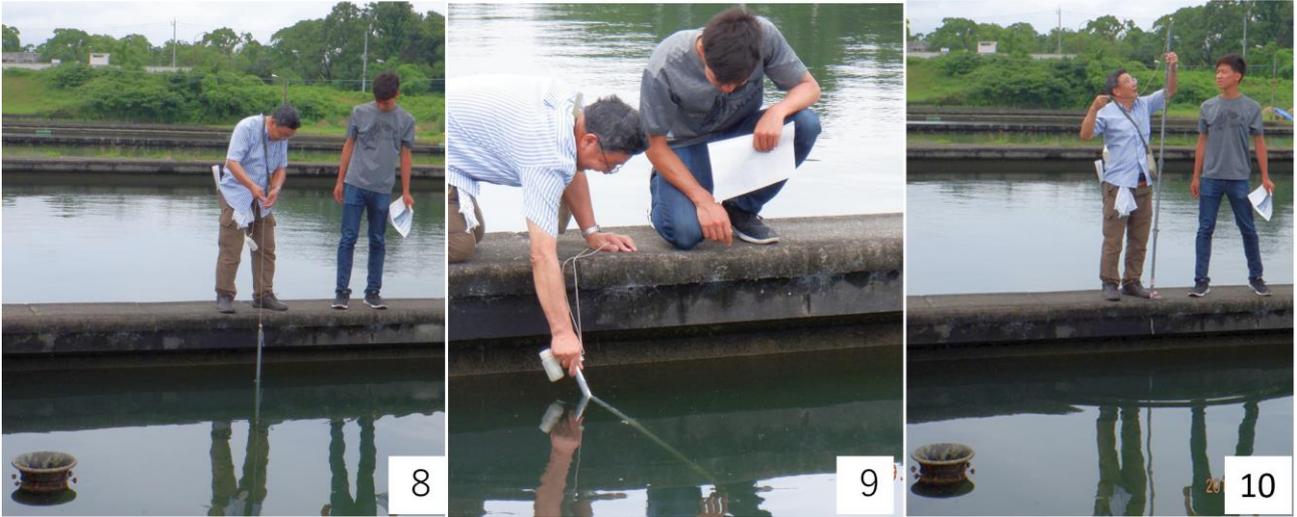
1. 7月4日に視察したときの現地解説の概略



ろ過池の奥に削り取った砂山があった（1）。その量はわずかであった。水源貯水池の壁面は、水位変動があるのでコンクリートブロックで補強されていた（2）。コンサルによる診断では貯水池は耐震性を満足すると記載されていた。貯水池水面が着水井より低いのでポンプ揚水をしていた。貯水池の水を取水井に導水しポンプで着水井へ送水する仕組みであった（3）。取水井には廃棄されたパイプがあり質問したところ、以前は殺藻剤を添加していたが現在は使用していないとのことであった（4）。

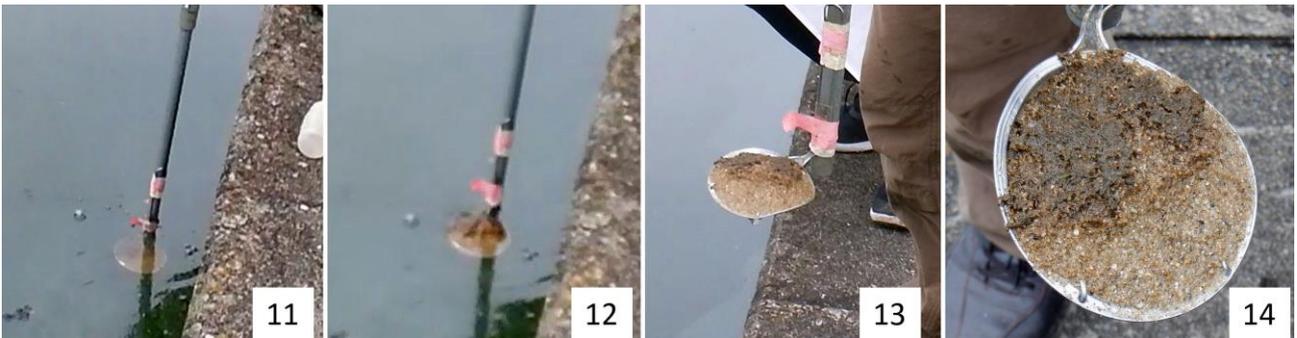


緩速ろ過池は底の砂層表面で活躍している生物群集による浄化で、底で藻が活発に活躍するなら光合成による酸素の気泡で、底に溜まった濁りを絡めついたまま浮き上がり、越流管から流出する仕組みがあることを説明した（7）。このろ過池の水深は深く、越流管の越流口は水面より空気中にできているのを確認してもらった（5、6）。通常は砂面上水深は80~120cmで砂層は1m程度である。



水深を長さ2mの砂層表面採取道具で確かめた。砂面上180cm程度で水深が深く、砂がほとんど無い状態であった（8、10）。

砂層表面を採取した（11~14）。砂層表面は捕食動物のユスリカ幼虫の巣と推測されるのが多数あった（14）。汚れている部分は、砂層表面だけで（13、14）、この部分が生物活性層である。この部分を採取し、事務所で顕微鏡観察し、微小生物が活躍している様子を見てもらった。



ろ過池状況（15）、ろ過水濁度を濁度計の数値（16~19）を確認した。



ろ過池の使用日数は 40 日程度で、使用日数が増すと損失水頭が高くなり、抵抗が増えている様であった。浄水濁度は、クリプト原虫対策での目標の 0.1 度よりは小さい値であった。

水質をより良くするためには、補砂をし水深を浅くし、ろ過速度を速くすることが望ましいことを解説した。しかしながら、砂が高価なために補砂をしていなかったとのことであった。

緩速ろ過では、砂が動かないことが重要で、急速ろ過処理と異なり、川砂、海砂でも良いことを伝えた。簡単に洗浄するだけで良く、1 池毎に補砂をし、ろ過水濁度が基準以下になるまでかけ流しをしてから共用開始するようにと説明した。上田市の場合、花崗岩系の母岩が多い犀川や天竜川の川砂やそれと同等の碎石砂を篩って洗浄した砂を使っている。

名水と言われる湧水はどこにでもある。特別の母岩ということでない。水が常に流れていること。水中に溶けている酸素があり、酸化される物質は既に酸化され、沈積した残りが流出している。

一般的には日本列島の糸魚川静岡構造線の東側の母岩は安山岩系の岩が多く、鉄、マンガンの含量が多く、鉄やマンガンが溶出しやすいので緩速ろ過用の砂として適さない。一方、糸魚川静岡構造線の西側の母岩は花崗岩系が多く、どこの河川、山、海岸の砂でも良質な緩速ろ過用の砂が多い。

2. 光明池土地改良区からの視察団からの要望

2-1. 泉北水道施設の緩速濾過池が補修の必要なく、今後とも使用に耐えることの意見

写真 1 を見れば明白である様に緩速ろ過池はコンクリート構造物で、地中に建設されている。ろ過池内には水と砂が常に入っていて隙間がない。地上にある構造物は空気に晒され、劣化が激しい。土中や水中にあるコンクリート構造物は地震などで壊れにくい。現に、明治、大正、昭和初期に建設された緩速ろ過池は現役で稼働している施設が多々ある。

高崎市剣崎浄水場は明治 43 年に建設され、まだ現役で使われている。上田市の大正 12 年に建設された施設も現役で何ら支障なく使われている。

2019 年 11 月 15 日（金）東京、全水道会館でグリーンサイエンス 21 の水道講座があり大船渡市の奥山豊氏の興味ある報告があった。参考に紹介する。東北大震災で緩速ろ過の施設が構造物に亀裂などがあると想定し、改修をしたが亀裂は一切なかったとのことであった。

図 20 大船渡市と浄水場の位置



図 21 河川表流水を取水する施設

昭和 29 年完成、高台に建設され、河川表流水を取水する。濁り対策で凝集剤を添加する設計であるが、凝集剤を添加しなくてもろ過閉塞しないので、凝集剤を一切使用していない。



図22 改修前の施設



図23 ろ過池 RC 構造 (20m×15m×2.5m)



図24 コンクリート診断士による診断

奥山氏の説明では「コンクリート診断士によるろ過池側壁部のひび割れチェック状況⇒1本もない状況
今回の躯体の壁厚から考慮すると、期待はしていましたが、以外でした。」



図25 改修施工中の写真

新設 1号ろ過池の底版コンクリートの打設状況。新設 3号・4号ろ過池稼動中

2-2. 泉北水道施設の緩速濾過池の耐震性の意見

泉北水道施設は自然の地形の台地に建設され、造成地でない。安定した土地なので、地盤沈下などが生じにくい土地である。安定した台地の地中に建設したコンクリート構造物で、地震に対しても安定していると判断される。

図26 地形図

図27 空中写真
(グーグルマップ)



2-3. 泉北水道施設の緩速濾過池の水質の良さの意見

緩速ろ過処理による浄化は細かな砂でゆっくりと篩いろ過するのでなく、顕微鏡で見ないとわからない微小生物群集による浄化である（図28）。



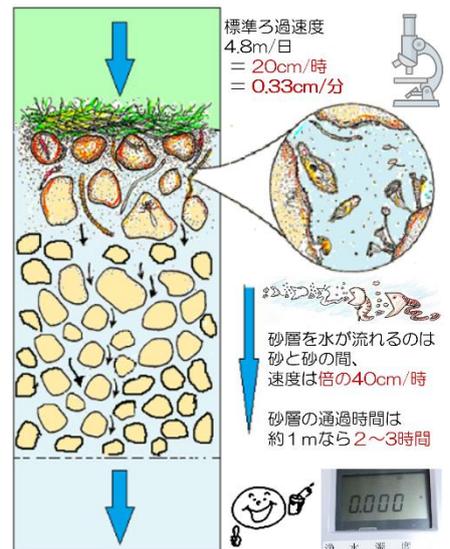
図28 機械的な篩いろ過でなく生物群集による浄化

砂層表面で顕微鏡で見ないとわからない生物群集が活躍し、流入してくる濁りを食べ、食物連鎖の過程で分解が行われる（図29）。生物が反応する溶けている物質も微小生物が反応して吸収し、食物連鎖の過程、糞塊の中で分解が行われる。生物群集が活躍するためには水中に酸素が必要で、生物群集が嫌がる毒物質が入ってこないことである。



図29 食物連鎖による浄化の仕組み（上と右）

緩速ろ過池での生物群集は砂層上部で活躍している。生物群集は餌を求めて砂層上部しかいない（図14）。上から下への流れでは砂が動かず、生物群集は安心して活躍する。活躍している生物が嫌がる水質の水がくると生物は萎縮し、活動が鈍るか、悪い水から逃げようと砂層を通過することがある。生物毒が来ないようにすることが大切である。この場合、流入してくる濁りなどを生物が捕捉できないで、表面の活性層（茶色の部分）を通過することがある。この通過する物質は表面下の砂粒子の表面に吸着する。生物が活躍できないでも濁りを捕捉できるような保険的な砂層が1mもある。



砂層の厚みが1 mある上田市染屋浄水場ではろ過水濁度は常に 0.000 度のスーパークリーンのろ過水である。砂層の厚みがほとんどない信太山浄水場のろ過水でも 0.1 度以下である。

緩速ろ過池で生物群集が活躍すれば、水系伝染病の原因の病原菌が除けていることがわかり、英国式ろ過として世界中に広まった。緩速ろ過処理は、天然のおいしい湧水を人工的につくる仕組みである。日本では戦前は主流の浄化処理であった。

一方、緩速ろ過は新大陸のアメリカにも伝わったが、河川水の濁りでろ過池が目詰まりすることがあった。そこで、取水した水に予め凝集薬剤で濁りを沈めてから緩速ろ過をする砂ろ過方式が開発された。凝集沈殿薬剤沈殿した上澄水を粗い砂で短時間で急速ろ過させ、殺菌して安全な飲み水をつくった。この仕組みは急速ろ過といわれた（図 30）。しかし、大量の汚泥が生じ、また急速ろ過池は直ぐに目詰まりするので頻りに逆洗浄をする必要があった。この逆洗浄過程で、濁りが通過する。塩素で殺菌するので安全な水ができた。新しい技術として世界中に広まりだした。日本には明治 45（1912）年に始めて導入された。日本では戦後、盛んに導入されてきた処理である。急速ろ過処理では逆洗浄過程が必須でどうしても濁りが通過するが塩素で殺菌するので安全な水として浄水濁度基準は 2.0 度になっている。

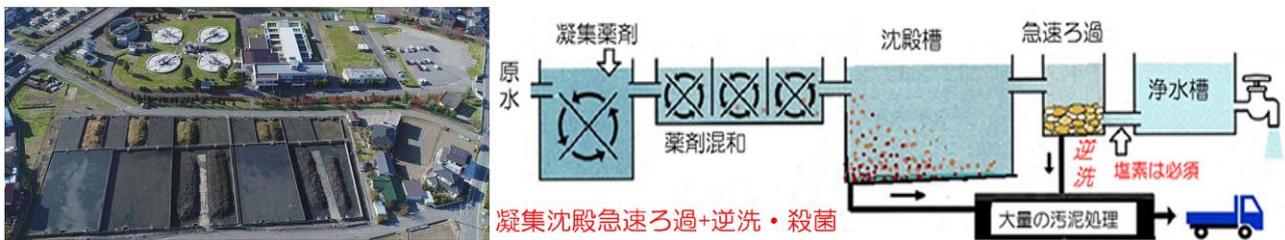


図 30 長野県企業局の急速ろ過の浄水場および急速ろ過の仕組み

地方の急速ろ過による浄水場では大量にできる汚泥という産業廃棄物を処理するために天日乾燥床で乾燥させて業者に引き取ってもらっている。しかし、都会では面積を取れないので、下水処理場での汚泥処理と同じに布での圧縮して処分をしている。

大阪の淀川の水質が悪くなったので、緩速ろ過処理では無理ということになっている。しかし大正 12 年から柴島浄水場での緩速ろ過処理に関し、予め生物毒を添加しての処理をしていたので、砂層が汚れて目詰まりをさせていた（図 31）。

戦前から、凝集薬剤を添加して緩速ろ過をしていた。

大阪市 柴島浄水場(大正9年:近藤正義1935(昭和10年)引水に際して濾池導水溝にて硫酸アルミニウムを注加してみた)

第 1 表 補砂前後の濾過砂層中分布汚泥量 (砂 100cc. に付 cc.)
大阪市上水道緩速濾過第 6 號濾池

補砂前	深 さ cm.	細 砂 層					砂利層		礫層	
		0	10	20	30	40	50	60		
9-5-24	汚泥量	35	26	21	19	9	7	1		
補砂後	深 さ cm.	舊 細 砂 層					新 細 砂 層			砂利層
		0	10	20	30	40	50	60	70	
9-6-8	汚泥量	3	12	15	15	16	0.4	0.6	0.6	12

大阪市 柴島浄水場の維持管理方法(真柄ほか1984)

淀川下流の水質がこのような変遷をたどったため、その下流から取水している浄水場としては、凝集沈殿池の改良や薬品の注入率の増加、あるいは緩速ろ過系に常時凝集薬剤を注入することなどによって対処してきた。柴島

図 31 戦前の大阪市柴島浄水場では前処理で生物毒を投入していた

戦後、盛んに導入してきた凝集沈殿ろ過塩素殺菌処理の急速ろ過処理では、水道原水が悪くなると異臭味問題があり活性炭処理を導入してきた。異臭味の原因は水源での藻の繁殖とされ、水源貯水池で殺藻剤を添加したり、緩速ろ過処理の前にも殺藻剤を添加したりした。この処理は、急速ろ過での異臭味問題での対策としてアメリカで通常に行われていた処理を真似た。

信太山浄水場でも殺藻剤を添加していた様であった(図4)。緩速ろ過という名前で細かな砂による機械的に篩い分けをするろ過と考えていたため生物群集による浄化が機能していなかった。そこで生物浄化法と名前を改める様に提案した(図28)。1993年アメリカでの大規模集団下痢、1996年埼玉県での集団下痢事故で、日本は慌てて、クリプト対策指針が出された(図32)。



1991緩速ろ過国際会議
米国・ニューハンプシャー
アメリカ水道協会後援

1993年4月、米国 Milwaukee, USA、40万人以上がクリプト原虫による大規模の集団下痢事故。塩素で殺すことができなかった。

アメリカ水道協会より出版



朝日新聞
25 2019年(令和元年)11月12日(火)

下水処理本格復旧
21年3月末見通し

「処理がでなくなりました。今は仮設ポンプで下水管から汚水をくみ上げ、ごみを沈殿させて塩素で消毒したうえで川に流す簡易処理を」

各地の下水処理場、塩素処理で

クリプト原虫の休眠胞子は塩素で殺せない。

水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針(案)
水道水がクリプトスポリジウム等に汚染された可能性のある場合には、浄水場からの送水を停止する等の措置を講じた上で、浄水処理の強化を行うか、または汚染されているおそれのある原水の取水停止・水源の切り替え等を実施すること。
平成19(2007)年厚生労働省令第54号

1996年6月埼玉県越生町住民の6割以上がクリプト原虫による集団下痢事故

膜処理の勧め
日本と世界の常識とは違う

表流水を取水している急速ろ過は原水の取水停止、浄水場からの送水停止



浄水濁度計

図32 急速ろ過でのクリプト原虫を除くことができない

通常の急速ろ過処理では安全な飲み水を供給できないことが明白になった。日本では通常の急速ろ過に加えて高度処理をするように指導し2007年にクリプト対策指針がだされた(図32)。

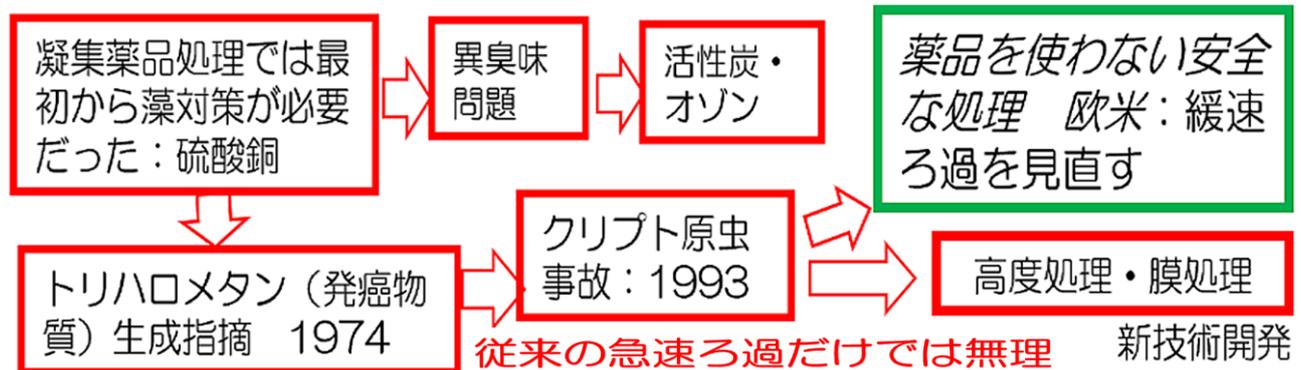


図33 急速ろ過の問題と問題解決

近年の集中豪雨により下水処理場が機能しない事故が多発し、河川表流水を取水している急速ろ過による浄水場は高度処理をしないと安全性が保てないことが明白になった。それでも安心できないので膜処理を勧めだした。一方欧米では、薬品を使わない安全な処理方法、塩素化合物添加で発癌物質生成のリスクを減らすことができる緩速ろ過処理への再認識が進みだした（図33）。

日本では、通常の急速ろ過処理では安全で良質の水をつくることができないので、高度処理をしている。庭窪浄水場の処理フローの概略図（図34）を見ると、安全な水をつくるために高度な技術を駆使する必要があり、多数の機械、大量の薬品が必要で、これらの機器は寿命が10～20年で、作り直す必要がある施設である。高度な機器の維持管理は専門業者に委託をする必要がある仕組みである。

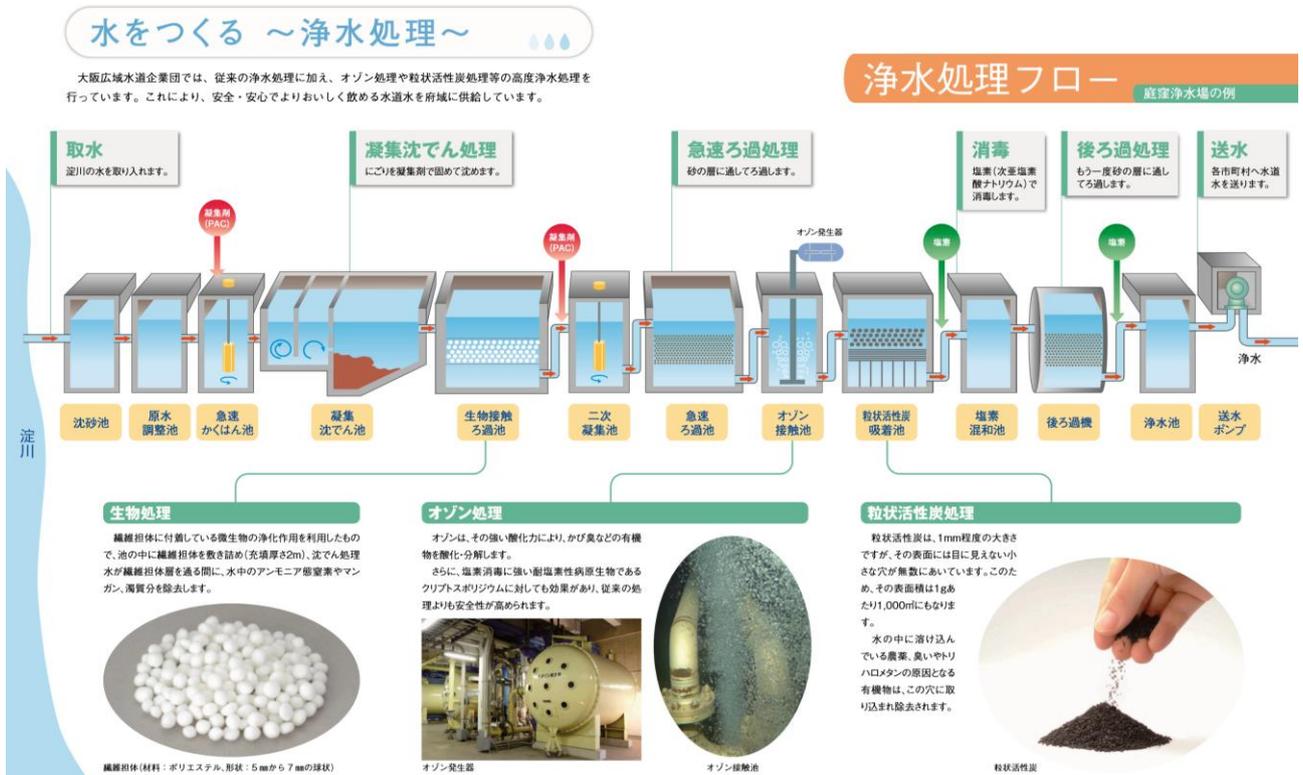


図34 庭窪浄水場の処理フロー

緩速ろ過処理は生物群集の活躍による浄化で、活躍する生物群集が嫌がることをしないようにするならば、薬品を一切使用しないで安全で良質のろ過水ができる。本来の砂層厚があるならば、保険的な層が厚く、安定した水質を保てる。

2-4. リスク管理上及び用水安定供給上の意見

日本は台風や地震による被害が多発する国である。戦後、盛んに勧めてきた急速ろ過処理では安全な水を供給するために専門技術が必要な高度処理が必須になった。小さな自治体は、高度処理を導入するには経費がかかり過ぎ、維持管理も少ない人員ではできないので、国は大規模で広域化を勧めてきた。しかし、近年の阪神淡路大震災（1995）、新潟中越地震（2004）、東北大震災（2011年）、近年の大規模台風による水道施設の被害は広域で、復旧に月日がかかった。復旧させるための専門技術者、専門業者が少ないことが問題になった。大規模災害では水道施設は広域で復旧には困難であった。さらに、大容量配管などの被害は広域に及び復旧させるには困難であった。

長野県上田市には上田市営（緩速ろ過）と県営（急速ろ過）の給水区域が混在している（図35）。阪神大震災以降、震災対応でライフラインの確保のために、緊急連絡管を設置している（図36）。

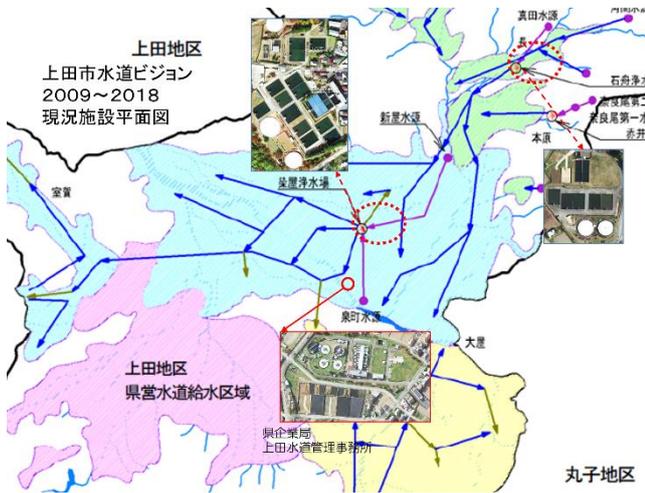


図35 上田市営と県営の給水区域



図36 市営と県営の緊急連絡管

リスク回避の観点から、複数の独立した給水システムを保持するのが望ましい。

岩手県大船渡市の場合、東北大震災で緩速ろ過による浄水施設の被害は無く、自家発電で対処した。市内の給水管の添架部に被害があったものの送配水管路延長、約 258 km に対して被害 10 か所程度という

水道施設の被害状況

施設	施設能力	被害状況	施設	施設能力	被害状況
送水施設 (管路は除く)			配水施設 (管路は除く)		
長洞ポンプ場 (中井第一～富岡)	240	被害なし	大船渡第一配水池	1,180	被害なし
冷清水ポンプ場 (中井第一～野尻)	694	被害なし	丸森配水池	1,000	被害なし
川原ポンプ場 (富岡～川原)	34	被害なし	中野低区配水池	670	被害なし
中井ポンプ場 (中井第二～宮野)	310	被害なし	中野高区配水池	800	被害なし
笹崎ポンプ場 (大船渡第一～笹崎)	311	被害なし	梅神配水池	20	被害なし
丸森送水ポンプ場 (大船渡第一～丸森)	2880	被害なし	山根配水池	56	被害なし
中野ポンプ場 (丸森～中野低区)	1450	被害なし	笹崎配水池	200	被害なし
中野高区ポンプ場 (丸森～中野低区)	420	被害なし	中井第一配水池	2000	被害なし
梅神ポンプ場 (中野低区～梅神)	20	被害なし	富岡配水池	660	被害なし
合計 (m ³ /日)	6,359		川原配水池	100	被害なし
			野尻配水池	500	被害なし
			中井第二配水池	1100	被害なし
			宮野配水池	500	被害なし
			大船渡第二配水池	2000	被害なし
			旭町配水池	17	被害なし
			蛸ノ浦配水池	40	被害なし
			長崎配水池	80	被害なし
			合計 (m ³)	10,923	

図36 大船渡市での東北大震災被害状況

ことは耐震管でない事を考慮すると大変少なく、また地盤が非常に良好であることがうかがえる。

小規模の緩速ろ過による浄水場の被害はほとんど無く、給水管の被害も、小規模の場合、地域の水道工事業者が対応でき、復旧が早い。東北では小規模分散型の緩速ろ過による浄水方式の再認識が広がりだしている。大容量の給水管の事故では、被害も大きく、復旧するにも大変である。

上田市の市営の染屋浄水場の取水源は、2ヶ所あり千曲川表流水を取水する灌漑用水と、千曲川の支流、神川の表流水を取水している灌漑用水である。今回の台風19号で、菅平ダム湖が緊急放流し、取水堰および灌漑用水路が多くの土石で埋没し取水不能になった。幸いにも千曲川からの取水が確保できたので給水停止にはならなかった。

災害リスクを考え地元の業者で維持管理、復旧可能の複数の小規模施設を維持し、それぞれを連結させることで大きな災害時でもライフラインの確保が容易に行える。

2-5. 泉北水道施設についての中本先生の意見書

信太山浄水場のろ過池水深が深い。その原因はろ過閉塞するので、削り取りをしないと行けない。浄水場のフロー図（図37）を見ると、貯水池水位と取水井の水位は連通している。

●浄水場の仕組み

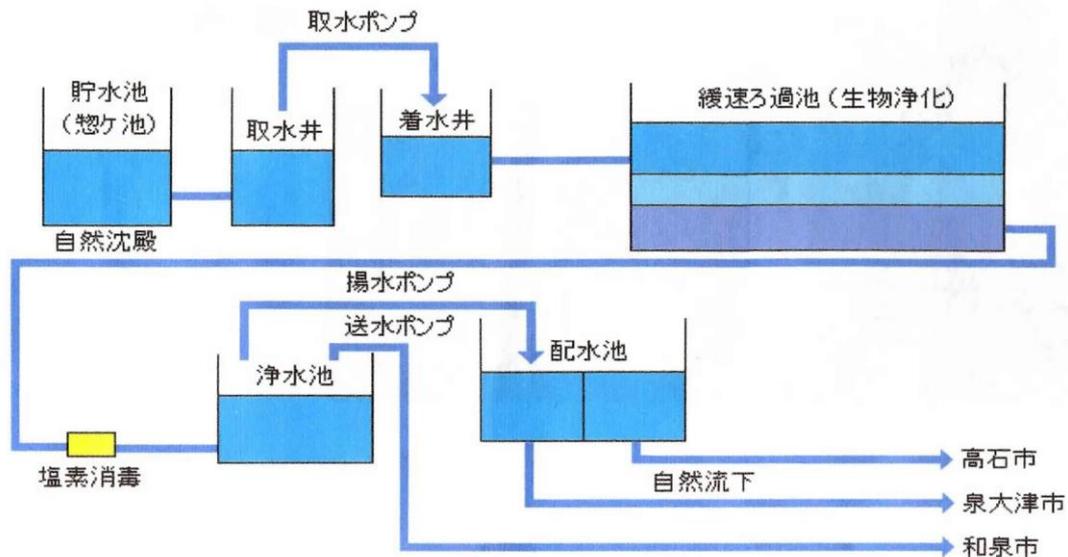


図37 信太山浄水場のフロー

信太山浄水場は下記の3つの課題がある。この課題を解決することで問題は解決すると推察される。

- ①取水は表面水取水でなく、底まは中間層取水である。
 - ⇒酸素不足の水を取水することがある。
 - ⇒酸素不足になると還元物質が生成され生物毒になる。
- ②緩速ろ過池は1月間程度でろ過閉塞する。
 - ⇒生物毒物質がくると、生物群集の活躍が鈍る。
 - ⇒還元物質がろ過池で酸化し沈殿してろ過閉塞の原因になる。
 - ⇒削り取り作業が頻繁になる。
- ③ヨコエビなどが砂層を通過する。
 - ⇒酸素不足の水がくると移動できるヨコエビなどは必死で逃げる。
 - 逃げる方向は、良質の水、ろ過水の方向である。

琵琶湖の水を取水する草津市の北山田浄水場で同じ現象を報告されている。また貯水池水源の浄水場でも同様な現象がある。欧米では、貯水池水源や地下水、伏流水取水の場合、予めエアレーションをし酸化処理をした水をろ過池に導入している。

信太山浄水場では、図3の取水井で曝気をし、酸化処理をした水をポンプ揚水しないと、根本問題は解決しない。

通常、信太山の気候から考えると冬季でも生物活性は活発である。活発なら、一年中ろ過閉

塞はしない。つまり、砂の削り取り作業は必要ないことになる。削り取り作業がないなら、新しい砂の購入、砂の補砂もほとんど必要なくなる。英国のテムズ水道も貯水池水源であるが、削り取り作業は3ヶ月に一度程度である。

「おいしい水の作り方
(築地書館、2005年)」
のp37、図21-1、または「おいしい水の探求—
2(2019.8.)」のp71
(図33-3:右図)の様
に、曝気をすることが必要
である。

この酸化処理は、欧米で
は常識の前処理である。

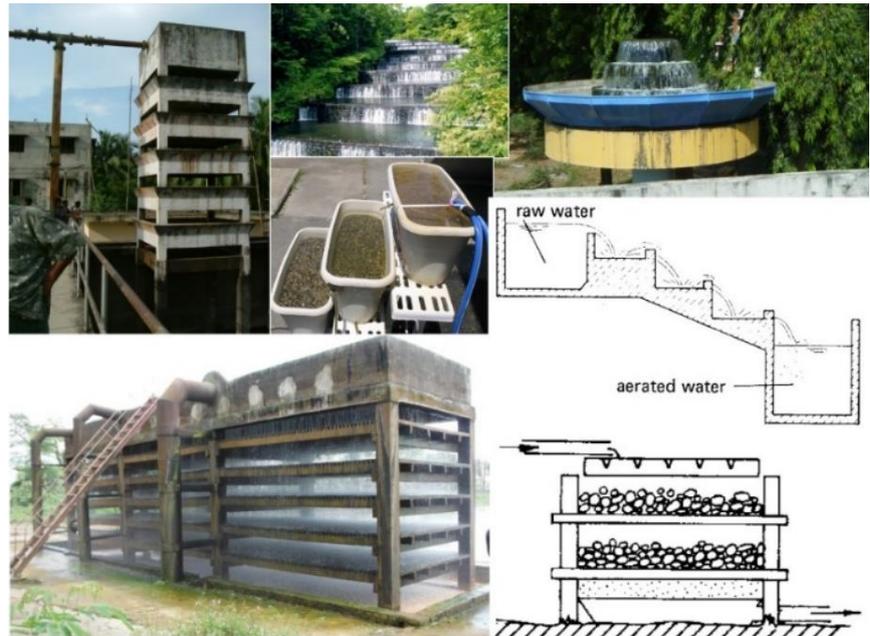


図38 酸素不足の水の酸化処理の例