

〈特集〉

砧浄水場膜ろ過設備の稼働状況

岩崎 恭士¹⁾*, 田村 隆一²⁾, 奥脇 勝利³⁾¹⁾ 東京都水道局 東村山浄水管理事務所 砧浄水場長²⁾ 東京都水道局 東村山浄水管理事務所 砧浄水場 設備管理担当係長³⁾ 東京都水道局 東村山浄水管理事務所 砧浄水場 技術係

(〒 157-0067 東京都世田谷区喜多見 2-9-1 *E-mail: iwasaki-kyoji@waterworks.metro.tokyo.jp)

概要

砧浄水場は、原水状況の異なる砧浄水場と砧下浄水所の2箇所、いずれも国内最大級規模の浄水処理用膜ろ過設備を、平成19年度に同時に稼働開始し、運転実績を積み上げてきている。これらの浄水場(所)は、多摩地区に多く設置された小規模膜ろ過設備と技術的特徴が異なるが、この2つの大規模膜ろ過を比較しながら、その特徴とこれまでの稼働状況、及び今後の課題について紹介する。

キーワード：浄水、膜ろ過、大規模、稼働状況、原水
原稿受付 2010.12.13

EICA: 15(4) 52-56

1. はじめに

砧浄水場は、砧浄水場と砧下浄水所の2箇所を運転管理している。両浄水場(所)ともに、従来は緩速ろ過処理を行っていたが、80年以上経過する施設の老朽化、クリプトスポリジウム対策として、平成19年4月、国内最大級の日量4万m³能力の浄水処理用膜ろ過設備をそれぞれの場(所)に導入した。東京都では区部に先行して多摩地区においては、平成12年より小規模の膜ろ過施設を導入している(表1)。これらは規模が小さく、また原水pHが高いなどの事情から、低回収率でありながら、無薬注、pH調整不要といったシンプルな膜処理設備が多い。こういった技術的知見も積み上げた上で、砧浄水場(所)では、

大規模処理に必要な高回収率、および清澄な多摩川伏流水を原水とする条件で、2段構成の膜ろ過システムを採用した。稼働後3年半を経過したが、発生する課題を克服しながら安定運転を得るに至っており、その技術的特徴を紹介する。

2. 膜ろ過設備の概要

2.1 砧浄水場及び砧下浄水所

砧浄水場は、多摩川下流の左岸に位置した有人の浄水場で、1.6km離れた無人の砧下浄水所も管理している(図1)。砧浄水場、砧下浄水所ともに砧浄水場から運転を行っている。

Table 1 Membrane plants in TAMA area

多摩地区の膜ろ過導入施設

	施設能力 (m ³ /日)	完成	原水種類	膜の種類
深沢浄水所 (あきる野市)	500	平成12年	表・伏流水	UF:有機
大久野浄水所 (日の出町)	3,100	平成14年	浅井戸	MF:無機
御岳山浄水所 (青梅市)	250	平成17年	表・伏流水	MF:無機
乙津浄水所 (あきる野市)	200	平成17年	表・伏流水	UF:有機
二俣尾浄水所 (青梅市)	500	平成18年	表・伏流水	UF:有機
日向和田浄水所 (青梅市)	3,300	平成20年	表・伏流水	MF:無機
成木浄水所 (青梅市)	158	平成22年	表・伏流水	UF:有機



Fig. 1 The location of KINUTA purification plant and KINUTA-SHIMO purification plant

2.2 取水施設

原水は、多摩川の地表を流れる表流水ではなく、川底のさらに下を流れる伏流水と呼ばれる水を取水している。その取水の方法は2通りあり、一つは、地下20mの深さで全周・水平に張り出した、多数の孔のあいた直径0.1mの集水管で取水する、立型集水井と呼ばれる (Fig. 2 左) のものと、もう一つは、地下5mの深さで直径1.2mの多孔管を埋設する集水埋管と呼ばれる (Fig. 2 右) のものである。

砧浄水場は、立型集水井3基のみで取水している。一方、砧下浄水所は立型集水井1基に加えて集水埋管を併用して必要水量を確保しているため、砧浄水場に比べ表流水の影響を受けやすい原水となっている。

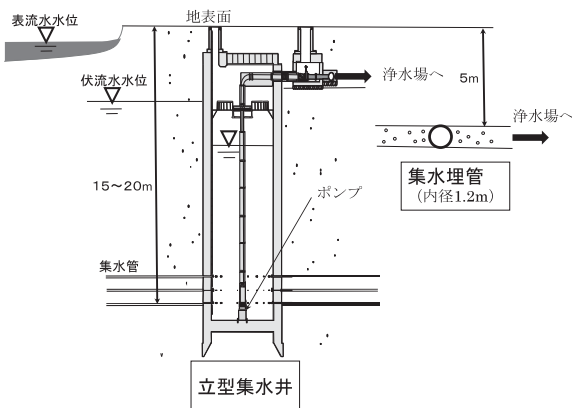


Fig. 2 Two kinds of intake way for raw water

2.3 原水水質

原水水質を Table 2 に示す。両浄水場 (所) ともに原水は多摩川の河川の自然の浄化作用を経過しているため清澄であり、1年を通して安定している。例えば水温は年間を通して18度±2度であり、また平均濁度は、両浄水場 (所) ともに0度でほぼ一定である。

Table 2 Raw water quality

試験項目	箇所	平成20年度					
		砧浄水場			砧下浄水所		
		最高	最低	平均	最高	最低	平均
水 温 (°C)		20.4	16.3	18.3	20.6	16.5	18.1
濁 度 (度)		0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
色 度 (度)		0	0	0	1	0	0
pH 値		6.9	6.5	6.6	6.7	6.5	6.6
アルカリ度 (mg/L)		64.0	59.0	61.9	81.0	61.0	72.9
電気伝導率 (μS/cm)		353	305	328	409	317	338
過マンガン酸カリウム消費量 (mg/L)		1.3	0.4	0.7	1.4	0.4	0.8
遊離塩素 (mg/L)		—	—	—	—	—	—
アンモニア態窒素 (mg/L)		0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01
塩化物イオン (mg/L)		31.2	23.4	25.6	24.0	20.9	21.9
総 硬 度 (mg/L)		99.0	91.0	95.2	113	103	107
一 般 細 菌 (個/mL)		30	0.0	1.9	450	0.0	24

る。しかし、特に降雨時、埋設深さの浅い集水埋管による原水が水質に影響を及ぼしているとみられる数値が、砧下浄水所の色度、アンモニア態窒素の最高値などに見られており、砧浄水場と砧下浄水所の原水の違いを示している¹⁾。

2.4 膜の仕様

膜口径の選定には、原水中の除去対象を考慮する一方、ろ過圧力のエネルギーを軽減するために出来るだけ大きな膜口径を採用している。多摩地域では維持管理負担低減のため無薬注UF膜クロスフローを採用し、回収率 (膜ろ過水量/原水量) を90%前後と低く抑える例も多いが、砧浄水場 (所) では、逆に高回収率を優先するため全量ろ過とし、また原水がすでに河川の浄化機能によって清澄であり、低分子、高分子レベルの除去対象物質が殆ど無く、次亜塩素酸ナトリウム消毒で十分に対応できることから、口径は0.1μm (Fig. 3) としている。また、膜材質は対薬品性、機械的強度の高いポリフッ化ビニリデン (PVDF) を使用している。

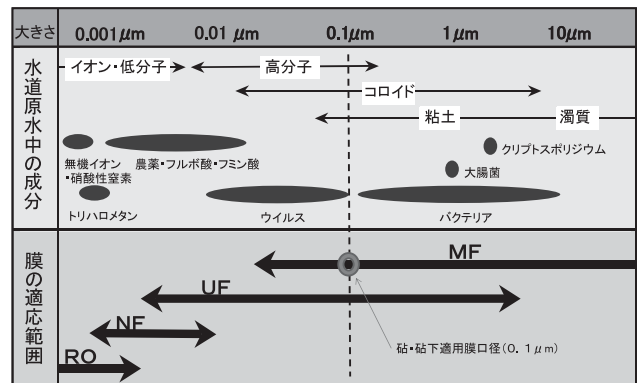


Fig. 3 Bore size of membrane and contains in raw water

2.5 処理フロー

処理フローは、砧浄水場、砧下浄水所ともに共通のフローを採用しており Fig. 4 に示す。特徴的なのは、高回収率を優先するために、従来処理に位置づけられる主系の他に、主系から60分に一度の空気洗浄及び逆圧水洗浄からなる物理洗浄 (Fig. 5) で排出される排水を、再度原水として全量ろ過する回収系を設けていることである。これにより回収系から物理洗浄で排出される排水は最終的に日量20m³まで減量し、最終的に回収率99.9%を達成している。また排水は濁度が低いため、濃縮、脱水などの工程も必要とせず下水放流している。さらに植栽に影響の少ない夏期はすべて場内散布をすることによって、下水道への負荷をさらに低減している。

また、ろ過流束においても、従来の多摩地域で採用

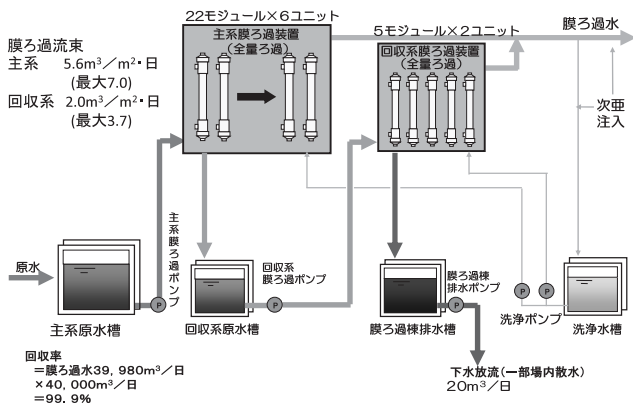


Fig. 4 Treatment diagram (common to KINUTA and KINUTA-SHIMO)

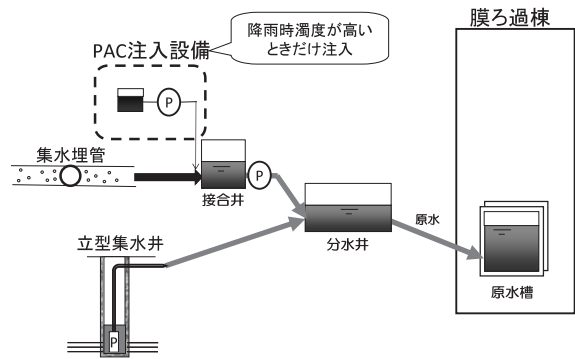


Fig. 6 Retrofit with PAC injection equipment

物理洗浄(逆圧水洗浄+空気洗浄)

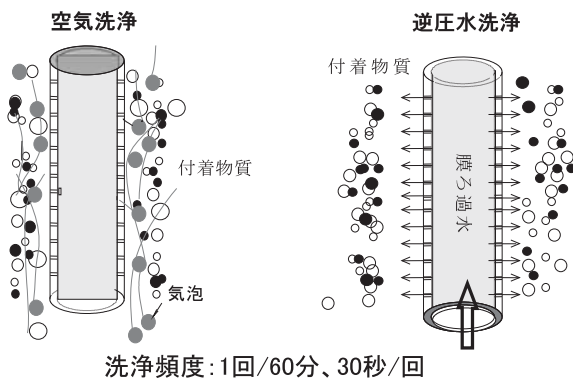


Fig. 5 Physical washing with air and back washing

されていた1日あたり1~2m³/m²よりも大幅に上げて5.6m³/m²として、施設のコンパクト化を達成している。

3. 稼働状況

3.1 ファウリング1

平成19年4月に両浄水場(所)は稼働を開始したが、砧下浄水所において、7月の台風4号により膜間差圧が急上昇し物理洗浄を行っても膜間差圧が低下しない現象が発生した。その後、大雨時の類似原水条件で、現象の発生しない砧下浄水場との比較調査を重ねた結果、膜間差圧の上昇はTOCの数値と相関関係があることが判明し、また仮設で凝集剤注入設備を設置し、凝集剤を注入してみたところ、症状が改善したことから、砧下浄水所の集水埋設管から取水される原水中の微粒子や有機物質が原因と推定した。これらを踏まえて恒久対策としては、既設の施設という制約条件のなかで、凝集剤の十分な混合、滞留時間をできるだけ確保するため、集水埋設管の着水井入口近傍を注入点とする凝集剤注入設備追加の改造を行った(Fig. 6)。注入率は降雨時に原水濁度が上昇したときのみ注入する

こととし、原水濁度に応じて4段階に分けて、きめ細やかに値を設定している。

3.2 ファウリング2

ファウリング1の改良以降、順調に稼働実績を積み上げ、膜間差圧の状況から、砧下浄水場は2年間隔、砧下浄水所は1年間隔程度での化学洗浄を予想していた。しかし、砧下浄水所において、2009年1月の2度目の薬品洗浄後に、補正膜ろ過流量が殆ど復活しない現象が見られた。結果的には、砧下浄水所のみ薬品洗浄の洗浄材を当初の塩酸からクエン酸に変更することにより改善がみられた(Fig. 7)。

この経過を補正膜ろ過流量の変化で見たい。Fig. 8は砧下浄水場の補正膜ろ過流量を示したグラフである。稼働後2年を経過した2009年2月に初めての薬品洗浄を行ったが、前後で若干の挙動の相違は見られるものの、絶対値としては安定して推移しており、ほぼ2年に1度の薬品洗浄で問題ないことが確かめられている。

一方、Fig. 9は砧下浄水所の同様のグラフであるが、砧下浄水場とは全く異なる挙動を示している。稼働後1年の2008年2月には1回目の薬品洗浄を行い、補正膜ろ過流量は回復したが、洗浄直後、特に回収系の補正膜ろ過流量が急激に低下し、2009年1月の薬品洗

薬品洗浄条件(当初)

	薬品	濃度	洗浄時間
酸	塩酸	0.1mol/l	4時間
アルカリ	次亜塩素酸ソーダ	5,000mg/l	4時間

砧下浄水場、砧下浄水所ともにオンライン、オンサイト洗浄

砧下浄水所で、薬品洗浄後の補正膜ろ過流量の復活が急激に小さくなる

薬品洗浄条件の変更(砧下浄水所のみ)

	薬品	濃度	洗浄時間
酸	クエン酸	3%	4時間
アルカリ	次亜塩素酸ソーダ	5,000mg/l	4時間

Fig. 7 Change condition of chemical washing

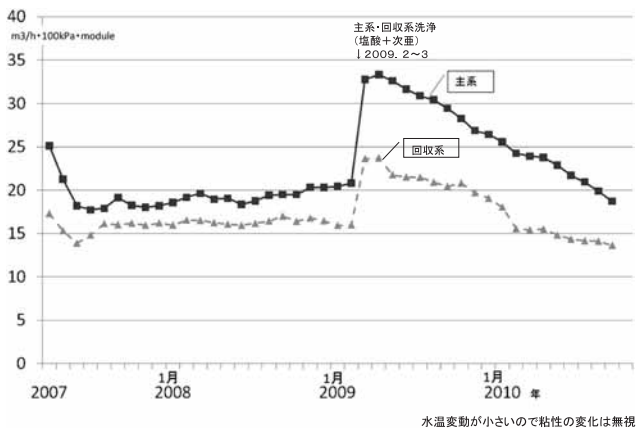


Fig. 8 Revised flux of KINUTA

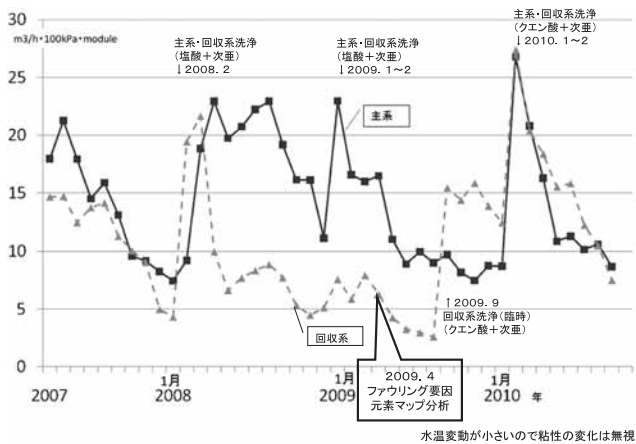


Fig. 9 Revised flux of KINUTA SHIMO

浄では回収系は殆ど回復が見られなかった。そこで2009年4月に、1モジュールを分解して、原因及び洗浄方法を調査したところ、塩酸洗浄に代えてクエン酸洗浄が有効であることが分かった。そこで2009年9月に酸洗浄材をクエン酸に変更して回収系の洗浄を行ったところ、良好な結果が得られた。その後、2010年1月の定期洗浄時に主系、回収系を洗浄したところ、稼働当初の補正膜ろ過流量まで回復することができた。

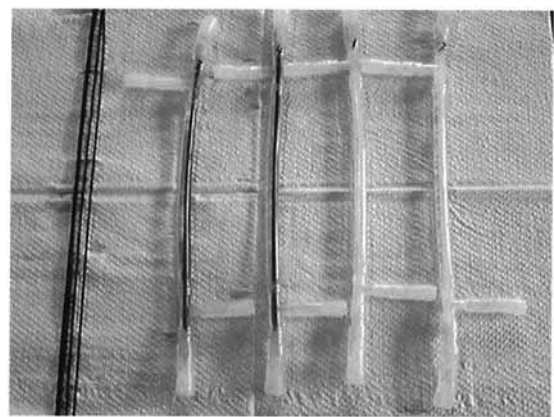
この砧下浄水所の洗浄方法の変更を余儀なくされた原因として、2009年4月に洗浄方法を調査した際の塩酸とクエン酸の洗浄前後の金属物質の残留状態をTable 3に示す。

元素別にみると、塩酸とクエン酸の違いがなかったCaと、少しの差が見られたAl, Si, Feのグループ、大きく違いの出たMnの3グループに分けられる。これらは、ほぼ酸化還元電位の順位と同じであり、クエン酸が塩酸に比べて還元力が強いことが推測される。Photo. 1は洗浄前の膜モジュールと、塩酸及びクエン酸洗浄後の外観を比較したものである。洗浄前の膜モジュールはMn, Fe等の酸化金属の黒っぽい色を呈していた。塩酸洗浄後の膜モジュールは若干色が薄く

Table 3 Remained substance (KINUTA SHIMO)
洗浄前後の膜堆積物の元素別マップ分析 単位は重量%

	洗浄前	上段：塩酸 + 次亜洗浄後	洗浄効果
		下段：クエン酸 + 次亜洗浄後	洗浄効果
Mn	4~8%	2~6%	△
		0%	◎
Al	8~17%	1~2%	○
		0~0.5%	◎
Si	3~5%	1~2%	○
		0~0.5%	◎
Fe	3~4%	1~2%	○
		0~0.5%	◎
Ca	0.5~1%	0%	◎
		0%	◎

特にMnで洗浄効果の差が顕著。またクエン酸洗浄でもAl, Si, Feが若干残留。



薬品洗浄前 塩酸洗浄後 クエン酸洗浄後

Photo. 1 Outlooks of membrane before and after washing

なっているものの、依然としてMnを中心に大量に残った色を呈している。一方クエン酸で洗浄をしたモジュールは金属とみられる色は殆どなくなり、設置時に近い色にもどっている。

3.3 薬品・電力使用量

薬品使用量については、緩速ろ過方式に比較して凝集剤はほぼ同等、電力使用量は膜ろ過ポンプにインバータ制御を導入していることもあり、若干の増加(水1m³あたり0.1kwh弱程度の上昇)に抑えている。

4. 今後の課題

2度の困難はあったものの、現場の創意工夫でこれらを乗り越え、稼働後3年半でようやく安定運転に入った膜設備であるが、今後、取り組んでいきたい事項をあげておきたい。

4.1 物理洗浄間隔の拡大

現在物理洗浄間隔は、設置当初の30分より60分に拡大しているがこれをさらに進めていきたい。これにより3つの効果が期待される。1つめは総回収率のアップであり、これは下水道放流量の削減に直結する。2つめは回収系の処理量が減量されることにより電気料金も削減され、またファウリング負荷の大きい回収系の膜寿命が延命されることも期待される。3つめは膜装置周りのバルブ開閉頻度が軽減されることであり、膜装置がパッケージ化されているためパーツとして取り換えにくいバルブの延命効果が期待される。

4.2 膜寿命の予測

特に原水条件の劣る砧下浄水所の回収系膜は負荷が大きい。高価な膜の寿命を決める要素はファウリング、機械的強度（膜自体の損傷）、接着剤の劣化のうちで一番短いもので決まると思われるが、現時点ではファウリングが最短なのではないかと予想している。した

がって、今後は薬品洗浄の際のMn、あるいはAl、Si、Feの残留に注意して監察していく必要がある。

4.3 無薬注化

砧下浄水所では、結果として凝集剤注入装置の追加をやむなく実施したが、膜ろ過の大きなメリットの一つは運転管理の容易さである。凝集剤を必要とせず、pH調整も不要な膜処理は、大きな優位性があるといえる。

今後の長期的課題としては、表流水かつ大規模処理を見据えて、たとえば多摩地区で実績積み上げつつある無薬注UF膜の技術を、高回収率が求められる大規模施設に展開する方策を模索していくことも考えられる。

参考文献

- 1) 東京都水道局：平成20年度水質年報，pp.68-71（2009）