

膜ろ過及びXRF・FT-IR分析を用いた膜ろ過方式への更新が管路内の水質に与える影響の調査

東京都市大学 学生会員 ○柳川 爽達
東京都市大学 正会員 長岡 裕

1. はじめに

日本において浄水場は生活及び産業を担う上で重要な役割を果たしている。高度経済成長期には国の発展とともに水の需要量が急増し、その対策として急速ろ過方式が多く採用された。急速ろ過方式は一度に多量のろ過が可能であり、水需要の多い地域では積極的に導入が進められてきた。しかし、現在の急速ろ過方式の問題点として、施設の老朽化や薬品添加が挙げられる。そこで近年では膜ろ過方式に注目が集まっている。

膜ろ過方式は、地形などによる制約はあるが、急速ろ過方式におけるフロック形成池・沈殿池・ろ過池などの過程を膜のみで行うことができる。そのため、施設の省スペース化や維持管理の簡易化、凝集剤などの薬品が大きく減少させることができるといったメリットがある。

しかし、水道水は管路を利用して配水を行う。そのため、ろ過方式を変更したことにより、管路内の水質が変化していることが考えられるが、まだ研究が十分になされていない。そこで、急速ろ過方式から膜ろ過方式に変更後の管路内における水質変化を調査し、浄水場のろ過方式変更により管路内の水質改善がどの程度行われるのかを明確にすることが必要だと考える。

既存の池田ら¹⁾の研究では、急速ろ過方式において流下距離が長くなるにつれて濁質が沈殿しろ過抵抗値が減少することを示している。吉羽ら²⁾飯塚ら³⁾の研究では、膜ろ過方式において流下距離が長くなるにつれて急速ろ過によって沈殿した濁質が存在する管路からの影響をうけて、ろ過抵抗値・濁質が増加することを示している。本研究では膜ろ過方式導入前後における管路内の水質調査を行い、挙動の変化・原因を明確にすることで膜ろ過方式導入の指標とすることを目的とする。

2 調査概要

キーワード：急速ろ過方式、膜ろ過方式、XRF分析、FT-IR分析
連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL. 03-5707-0104

2. 1 調査場所

表-1に採水概要を示した。K浄水場におけるデータは、急速ろ過方式は池田ら、膜ろ過方式は導入1年目が吉羽、導入2年目が飯塚らのデータを用いた。A浄水場におけるデータは、2016年10月からのデータを用いている。

表-1 採水概要

浄水場名	採水地点名	採水回数	処理方法	浄水場からの流下距離(km)
K浄水場	給水栓1	1	急速ろ過方式	6.4
		8	膜ろ過方式	
	給水栓2	1	急速ろ過方式	7.1
		12	膜ろ過方式	
	給水栓3	2	急速ろ過方式	10.9
		13	膜ろ過方式	
	給水栓4	2	急速ろ過方式	2.5
		9	膜ろ過方式	
	給水栓5	1	急速ろ過方式	6.9
		10	膜ろ過方式	
A浄水場	消火栓1	5	急速ろ過方式	8.3
		13	膜ろ過方式	
	消火栓2	5	急速ろ過方式	12.6
		13	膜ろ過方式	
	原水	2	急速ろ過方式	
	浄水地	2	急速ろ過方式	
	配水池出口	2	急速ろ過方式	0.3
	消火栓①	2	急速ろ過方式	4.901
	消火栓②	2	急速ろ過方式	8.79
	消火栓③	2	急速ろ過方式	10.806
	ドレン	2	急速ろ過方式	13.382



図-1 K 浄水場採水地点地図



図-2 A 浄水場採水地点地図

2. 2 採水方法

採水に用いる 500ml のペットボトルは、水道水で 1000 分の 1 に希釈した食用洗剤で洗浄した後に、12% の低食塩次亜塩素酸ナトリウム溶液水道水で 0. 1% に希釈した水溶液中に浸漬させ、塩素消毒を行い純水で 2 回洗浄したものを用いる。ペットボトルは一定温度を保つために冷蔵庫で保存した。今回の実験は管路内の濁質を調査することであるので、5 分間通水を行ってから採水を行った。

3. 実験方法

3. 1 分析概要

ろ過膜は公称孔径 0. 5 μ m の PTFE(Poly Tetra Fluoro Ethylene:ポリテトラフルオロエチレン)膜を使用した。PTFE 膜は、疎水性の有機膜でフッ素と炭素のみで構成されているために濁質の分析に適していると考え使用した。図-3 に吸引ろ過装置を示す。膜ろ過は吸引ろ過器で行う。PTFE 膜は疎水性のため 1 分間エタノールに浸漬させ、濁質濃度を増加させるために直径 5mm の穴が空いているシリコン製の中間材を使用した。

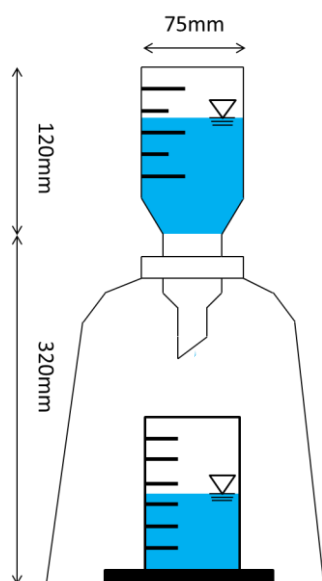


図-3 吸引ろ過装置

3. 2 ろ過抵抗値算出方法

処理能力に対する膜の目詰まりの度合いを表すろ過抵抗値を算出するために、まずサンプル通水前に純水 200ml を通水させ、サンプル通水後に純水 10ml を通水した。次に水温・膜間差圧・ろ過時間を用いて以下の式(1)・式(2)・式(3)から算出した。なお、純水 200ml 通水時には 25ml 通水を 6 回行い、サンプル通水後には 10ml のメスシリンダーを用いて純水 1ml 通水を 10 回行い、それぞれの時間を測定した。ろ過抵抗値の算出の際には時間を平均したものを使用した。

式(1)より膜透過流速を算出し、水温の変化による水の粘性係数に考慮して式(2)よりろ過抵抗値を算出する。最後にケーキ層のろ過抵抗値を算出するために、膜とケーキ層のろ過抵抗値から膜のみのろ過抵抗値との差をとり、式(3)を用いる。

$$N = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

N : 膜透過流速[m/s], Q : 膜透過流量[m³/s], A : ろ過面積[m²]

$$R = \frac{\Delta P}{\mu \cdot N} \quad (2)$$

R : ろ過抵抗値[m⁻¹], ΔP : 膜間差圧[Pa], μ : 粘性係数[Pa・s]

$$R_c = R_t - R_m \quad (3)$$

R_c : ケーキ層のろ過抵抗値[m⁻¹], R_t : 膜とケーキ層のろ過抵抗値[m⁻¹], R_m : 膜のろ過抵抗値[m⁻¹]

3. 3 FT-IR による分析

FT-IR 分析は、赤外線を照射することで有機物の官能基測定が可能である。サンプルを通水させた膜と通水させない膜に赤外線を照射し、前者から後者のスペクトルデータを差し引くことで濁質のみのスペクトルを求める。

試料におけるスペクトル波形は、横軸が波数(cm⁻¹), 縦軸が透過率(%)で示される。透過率は以下の式(4)より算出できる⁴⁾。

$$\frac{\text{sample強度}}{\text{background強度}} = \text{透過率(\%)} \quad (4)$$

3. 4 XRF による分析

XRF 分析は特性 X 線を照射し、各元素で X 線エネルギーが異なることを利用し、検出された全元素中に含まれる各元素の割合を知ることができる。濁

質の採集結果から水道水中に F が含まれていないことと仮定し、水道水ろ過後の膜における F の含有率 wt% を基準とした以下の(5)式を用いた。単位面積当たりの F 重量 mg/mm^2 は、単位面積当たりの膜重量に事前に測定した膜中の F の含有率 wt% データの平均値を掛けて算出した。サンプルのデータを測るときは、直径 10ml の穴の開いた蓋にろ過した部分

$$C = \frac{Y_{\text{wt}\%}}{F_{\text{wt}\%}} \cdot \frac{F_m \cdot A}{V} \quad (5)$$

C: 各元素の濃度 $[\text{mg}/\text{L}]$, $Y_{\text{wt}\%}$: サンプル水ろ過後の膜における求めたい元素の含有率 $[\text{wt}\%]$, $F_{\text{wt}\%}$: 水道水ろ過後の膜における F の含有率 $[\text{wt}\%]$, F_m : 単位面積当たり F 重量 $[\text{mg}/\text{mm}^2]$, A: 分析面積 $[\text{mm}^2]$, V: サンプル通水量 $[\text{L}]$

4. 実験結果及び考察

4. 1 ろ過抵抗値算出結果

図-2 に A 浄水場での流下距離と通水距離当たりのろ過抵抗値を示す。A 浄水場では流下距離とともにろ過抵抗値が大きくなっている。池田らの研究結果より、流下距離が長くなるにつれてろ過抵抗値が減少すると予想していたが、違う結果となった。管路のどこかの箇所で老朽化が進んでいることで管路内の水質に影響を与えていることが考えられる。

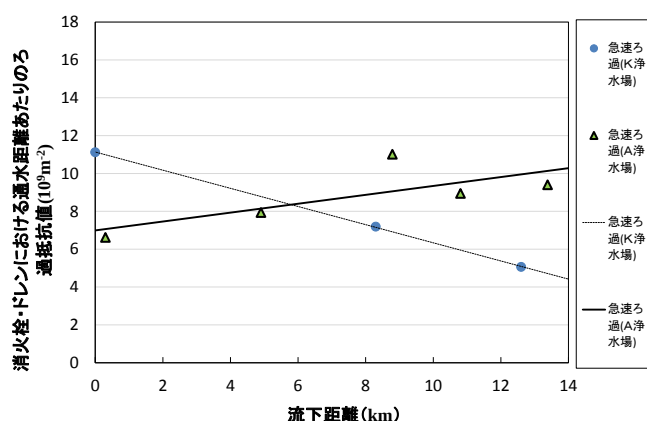


図-2 消火栓・ドレンにおける通水距離当たりのろ過抵抗値と流下距離の関係

4. 2 FT-IR 分析結果

図-4 に K 浄水場での透過率と波数、図-5 に A 浄水場での透過率と波数のグラフを示す。K 浄水場での

ピーク値は、O-H(3300cm^{-1})・

C-H(2925cm^{-1})・C=C(1650cm^{-1})・C-H(1500cm^{-1})となり、透過率は異なるがピーク値が一致したことで、膜ろ過更新前後や水道管の新旧での水質の特質については変化がないことが考えられる。図-8 より A 浄水場でのピーク値は、ドレン以外で O-H(3300cm^{-1})・C-H(2925cm^{-1})・C≡C(2340cm^{-1})・C=C(1650cm^{-1})・C-H(1500cm^{-1})となり、ドレンでは O-H のピークがほかと異なった。採水場所の特性などの影響が考えられるが、ドレン以前の水はピークが一致しているために分析時のミスである可能性が高いと考える。さらに原水と、ドレンを除いた他の採水地点でのピークが一致しているために、管路内の水の特性は、原水に依存していることが考えられる。

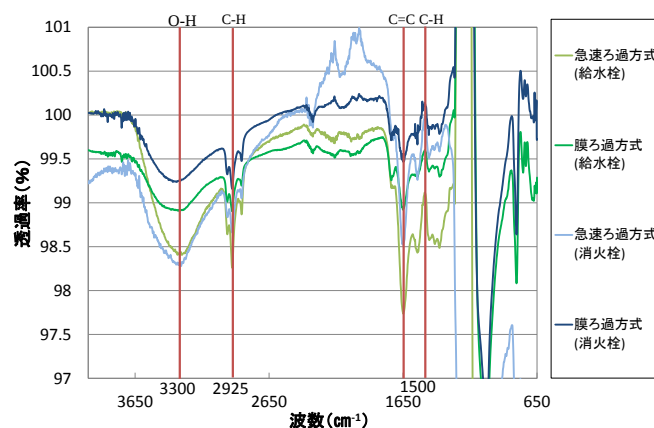


図-4 K 浄水場での透過率と波数の関係

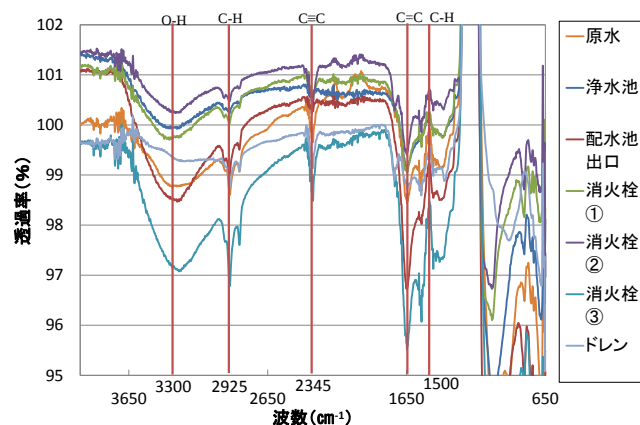


図-5 A 浄水場での透過率と波数の関係

4. 3 XRF・FT-IR 分析結果

図-6 に各地点での水に含まれている懸濁態濃度を、図-7・8 に消火栓・ドレンにおける懸濁態 Fe・Al 濃度と波数 3300 のピーク高さを示す。図中のプロットは地点ごとの平均を用いた。波数 3300 は水に溶けやすい水酸基の存在を示している。K 浄水場の急速ろ

過においては懸濁態 Fe・Si・P・S・Ca・O 濃度と波数 3300 でのピーク高さに正の相関があり、懸濁態濃度が増加するとともにピーク高さも大きくなっていることが分かる。膜ろ過方式では濁質の量とともにピーク高さも減少した。膜ろ過方式であると O-H 結合をしている懸濁態を減少させることができる。更に、消火栓では給水栓とは違った関係になることが考えられる。A 浄水場では懸濁態 Al・Si・P・K 濃度に相関が見られた。

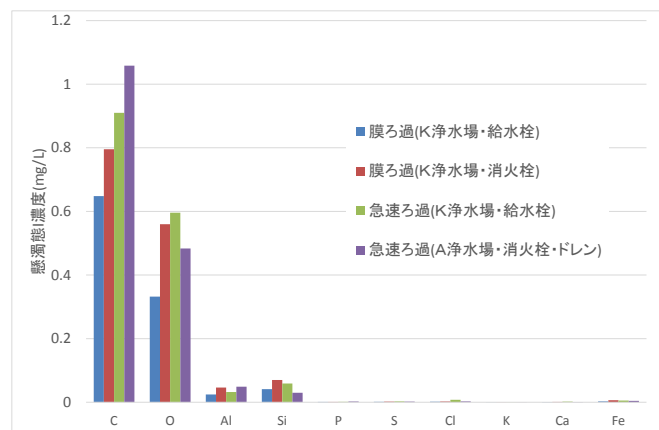


図-6 各地点の懸濁態とその濃度

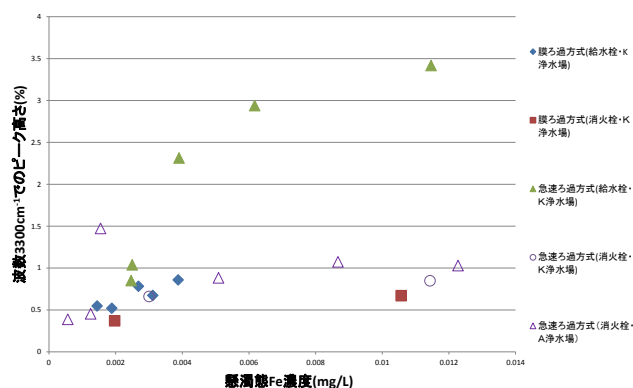


図-7 懸濁態 Fe 濃度と波数 3300 でのピーク高さ

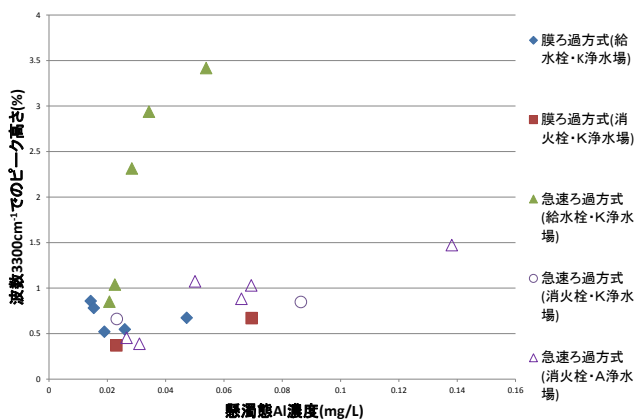


図-8 懸濁態 Al 濃度と波数 3300 でのピーク高さ

5. まとめ

ろ過抵抗値の算出, XRF 分析, FT-IR 分析から以下の知見が得られた。

(1) A 浄水場では、消火栓・ドレンにおける通水距離当たりのろ過抵抗値が、流下距離が長くなるにつれて大きくなることが分かった。管路からの影響を受けて濁質が増加していることが考えられる。

(2) FT-IR・XRF 分析より、波数 3300 でのピーク高さと懸濁態 Fe・Si・P・S・Ca・O 濃度は、K 浄水場の急速ろ過方式では正の相関があり、膜ろ過方式では相関はない。A 浄水場の急速ろ過方式では懸濁態 Al・Si・P・K 濃度と相関があった。膜ろ過方式では急速ろ過方式と比べて、O-H が結合する懸濁態を減少させることができる。

6. 参考文献

- 1) 池田愛, 長岡裕: 膜ろ過及び XRF と FT-IR を用いた送水-給水管内の水質挙動に関する調査, 土木学会関東支部第 41 回技術研究発表会, 第 VII 部門, VII-31
- 2) 吉羽大貴, 長岡裕: XRF, FT-IR 分析を用いた浄水場の処理方法の変更による送水-給水管内の水質挙動に関する調査, 土木学会関東支部第 42 回技術研究発表会, 第 VII 部門, VII-45
- 3) 飯塚健冬, 長岡裕: XRF と FT-IR 分析及び膜ろ過を用いた浄水場の処理方法の違いが水質に与える影響の調査, 土木学会関東支部第 43 回技術研究発表会, 第 VII 部門