

## 膜ろ過及び XRF と FT-IR 分析を用いた送水-配水管内の水質挙動に関する調査

東京都市大学工学部 学生会員 ○山形晃大  
東京都市大学工学部 正会員 長岡 裕

## 1.はじめに

浄水施設の多くは昭和40年～50年代に建設<sup>1)</sup>された。現在は施設の老朽化が加速し、深刻な状態であり、地震による被害の拡大や応急給水の欠乏が懸念される。管路についても同様に老朽化が進んでおり、管としての機能の低下、水質基準違反や事故の発生などで安定的な供給をすることができなくなる恐れがあると同時に、災害時に漏水が発生する可能性も考えられる。

しかし、水道事業を取り巻く問題は施設の老朽化だけではない。近年、水道事業における主な収入源である給水収益の減少傾向が続いていることから、より効率良く施設の更新工事を行なっていき、できるだけ経費を削減していく必要がある。したがって、災害時にも安心・安全な水を将来に渡って安定的に供給していくためには、老朽施設を計画的に更新していく必要がある。浄水場といった老朽化が目に見える施設は劣化の程度を判断しながら、更新工事を行なっていくことが可能であるが、その一方で地中に埋まっている管路の劣化を判断して更新工事を行なっていく事は難しい。そういった問題点を解消するためにも効率良く多くの管路の老朽化を診断することのできる技術の開発は必要である。

既存の研究<sup>2)</sup>では、老朽管流入前後の水質挙動に着目し、濁質濃度の変化から管の劣化要因を探る研究が行われているが、分析機器の精度上の問題等により、劣化要因の特定は困難な状態である。そこで、本研究では、送水・配水管内の水質挙動に着目することで、水道施設全体から水質変化を見ることを目的とし、管内環境が水道水の濁質濃度や質に与える影響を調査し、給水栓から採水した水道水の膜ろ過を行った。また、膜表面の堆積物を蛍光X線分析(X-Ray Fluorescence:XRF)とフーリエ変換赤外分光光度計(Fourier Transform InfraRed spectrophotometer:FT-IR)により分析し、容易に多くの濁質に関する量と質のデータを収集することで、管内環境が水道水の濁質濃度や質に与える影響に関する調査を行う。

キーワード 老朽管診断, XRF, FT-IR, 配水管, 膜ろ過

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL03-5707-0104 E-mail : g0918089@tcu.ac.jp

## 2.調査方法

## 2.1.採水日時, 採水地点及び採水方法

採水日時について表1に示す。本研究は、A市水道局の協力で市内のC浄水場2号配水池と3号配水池で採水を行い、比較的浄水場から遠い公園を選定し採水を行った。表2にC浄水場から各採水地点までの距離と流下時間を示す。採水には事前にペットボトルを用意し、水道水で1000分の1に希釈した食器用洗剤で洗浄後、12%の低食塩次亜塩素酸ナトリウム溶液を水道水で0.1%に希釈した水溶液中に浸漬し、塩素消毒を行った。給水栓からの採水は、1分間水を流し給水栓付近の汚れなどを取り除いた後、ペットボトルに入れ研究室に持ち帰り、冷蔵庫で保存した。

表1 採水日及び採水時間

採水地点	採水日	採水時間
S公園	2012/11/14	9:03
	2012/12/1	9:11
	2013/1/12	12:08
H公園	2012/11/14	10:08
	2012/12/14	14:30
	2013/1/12	10:42
K公園	2012/11/14	9:38
C浄水場内 2号配水池	2012/11/14	11:05
C浄水場内 3号配水池	2012/11/14	10:52

表2 C浄水場から各採水地点までの距離と流下時間

採水地点	C浄水場から 採水地点までの距離(km)	C浄水場から 採水地点までの流下時間
S公園	36.500	9時間27分
H公園	19.040	11時間20分
K公園	18.820	14時間20分

## 2.2.分析方法

## 2.2.1.分析概要

ろ過膜には、公称孔径  $0.5\mu\text{m}$  の PTFE(ポリテトラフルオロエチレン)膜を使用した。ろ過には吸引ろ過装置を用いた。また、膜表面の堆積物を XRF で濁質の元素の定性分析を行い、FT-IR で有機物内の官能基の測定を行った。

2.2.2.ろ過抵抗の計算方法

ろ過の際、水温、膜間差圧、ろ過体積、ろ過時間より以下の式(1)、式(2)、式(3)を用いてろ過抵抗を算出した。また、膜の処理能力に対する膜目詰りの度合いを表す指標としてケーキ層ろ過抵抗値  $R_c$  を判断材料とした。

$$N = \frac{Q}{A} \tag{1}$$

$$R = \frac{\Delta P}{\mu \cdot N} \tag{2}$$

$$R_c = R_t - R_m \tag{3}$$

N: 膜透過流速[m/s] Q: 膜透過流量[m<sup>3</sup>/s] A: ろ過面積[m<sup>2</sup>] ΔP: 膜間差圧[pa] μ: 粘性係数[m<sup>2</sup>/s]  $R_c$ : ケーキ層ろ過抵抗[1/m]  $R_t$ : 膜とケーキ層のろ過抵抗[1/m]  $R_m$ : 膜のみのろ過抵抗[1/m]

2.2.3.濁質濃度の計算方法

濁質濃度の計算は XRF によって得られた元素の wt% を mg/L へと変換を行った。既存の研究より水道中に F が含まれていないことが判明しているため、水道水ろ過後の膜における F の含有率 wt% を基準にした式(4)を用いた。

また、有機物由来の O の算出方法については、SiO<sub>2</sub>、CaCO<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al(OH)<sub>3</sub> の 4 種類が無機化合物の状態が存在していると仮定し、まず無機化合物由来の O の存在量を算出した。その後、XRF 分析結果より得られた O から無機物由来の O を引くことで有機物由来の O を算出した。

$$C = \frac{Y_{wt\%}}{F_{wt\%}} \cdot \frac{F_m \cdot A}{V} \tag{4}$$

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

2.2.4.比抵抗の計算方法

算出したろ過抵抗と濁質濃度から式(5)を用いて、元素別に比抵抗を算出した。比抵抗はろ過のしやすさの度合いを示す指標とした。

$$R_c = \alpha \cdot \frac{V}{A} \cdot C \tag{5}$$

$R_c$ : ケーキ層ろ過抵抗[1/m] α: 比抵抗[m/kg] V: サンプル通水量[L] A: ろ過面積[m<sup>2</sup>] C: 濁質濃度[mg/L]

2.2.5.FT-IR 分析におけるスペクトル算出方法

FT-IR では、濁質中の有機物の存在を把握するために、有機物内の官能基の測定が可能である。使用方法は、まず、空気を background とする。次に、採水した水を通水させる以外同じ処理を行った膜、堆積物が付着した膜に付着部分に赤外光を照射させる。この時、2 つの分析結果が得られ、それぞれを差し引くことで濁質のみのスペクトルを求めることが可能である。

試料におけるスペクトル波形は、横軸が波数 cm<sup>-1</sup>、縦軸が透過率%のグラフで表示される。透過率とは以下の式(6)より算出できる。

$$\frac{\text{sample 強度}}{\text{background 強度}} \times 100 = \text{透過率 (\%)} \tag{6}$$

2.2.6.官能基の推定方法

FT-IR で得られたスペクトルは irAnalyze によって官能基を推定した。この irAnalyze には、400 以上の官能基と約 1000 の特性赤外線振動および関連周波数がデータ化<sup>3)</sup>されており、短時間でより正確な官能基の解析を行うことが可能である。官能基は評価点によって表され、データ化された特性赤外線振動、関連周波数が一致するほど、評価点は高くなる。

3.実験結果

3.1.濁質濃度計算結果

図 2~図 4 に管内流入前後で濁質濃度の差が大きかった Al, Si, Fe 濃度についてまとめたものを示す。これらの成分が多く検出されたことについて考察すると、Al については、管内に発生する錆の主成分であることから、これに影響されて高い値を示したと考えられる。Si, Fe については、配水管に利用されているダクタイル鋳鉄管が Fe, Si, C からなる鉄合金製の管であることから、この影響を受けて Fe, Si 濃度がそれぞれ高くなったのではないかと考えられる。

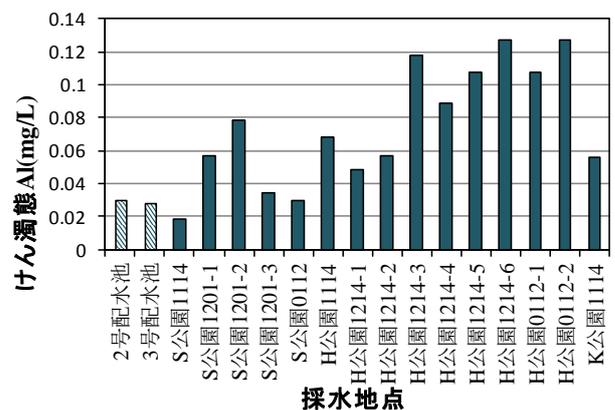


図 2 採水地点別 Al 濃度結果

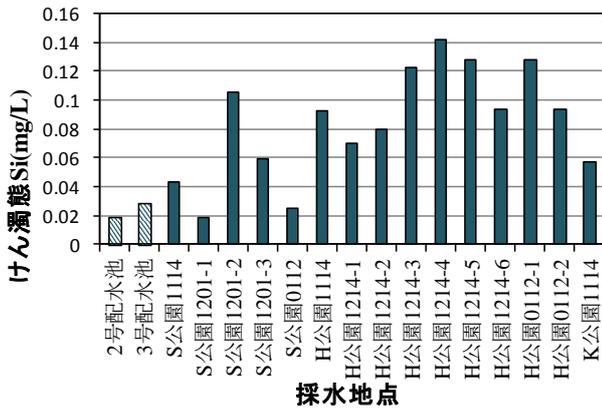


図3 採水地点別 Si 濃度結果

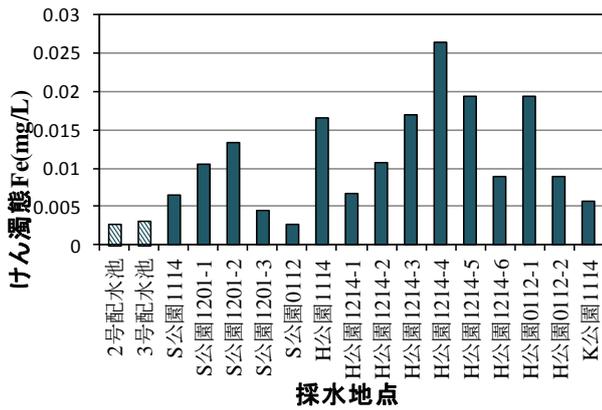


図4 採水地点別 Fe 濃度結果

3.2.比抵抗算出結果

図5~図7に式(5)によって算出した Al, Si, Fe の比抵抗を示した。どの元素に着目しても、管内流入後の比抵抗の値が管内流入前に比べて小さくなっていることが確認でき、これより、管内流入前の水道水は管内流入後の水道水に比べて、ろ過しにくいことがわかる。したがって、管内流入前の濁質成分の粒子は大きく、管内流入後の粒子は小さいことが考えられる。

3.3.官能基の特定

図8, 図9に採水地点別の FT-IR 分析結果を示す。また表3, 表4にそれぞれ irAnalyze による分析結果を示す。波数 1650cm<sup>-1</sup>, 波数 3000cm<sup>-1</sup>, 波数 3350cm<sup>-1</sup>のピークはそれぞれ N-H 結合, C-H 結合, C=O 結合の存在を示している。貝塚公園, 2号配水池, 3号配水池採水分では irAnalyze から濁質中の官能基の特定を行うことはできなかった。図8, 図9より, C-H 結合の存在を示す波数 3000cm<sup>-1</sup>のピークが大きいことから炭化水素を骨格とする濁質の存在が考えられる。

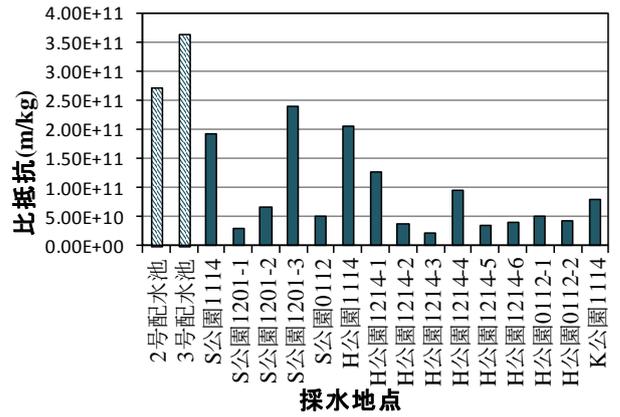


図5 採水地点別の Al に関する比抵抗

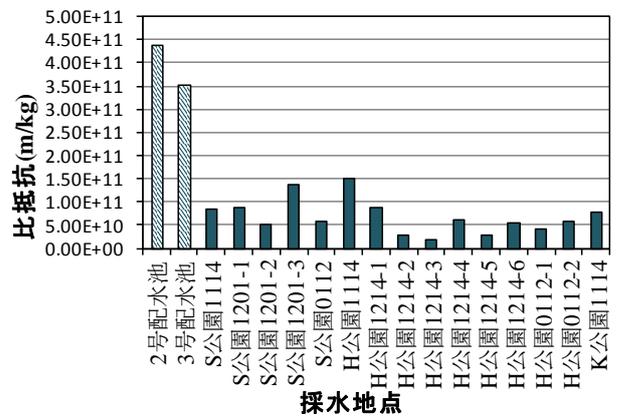


図6 採水地点別の Si に関する比抵抗

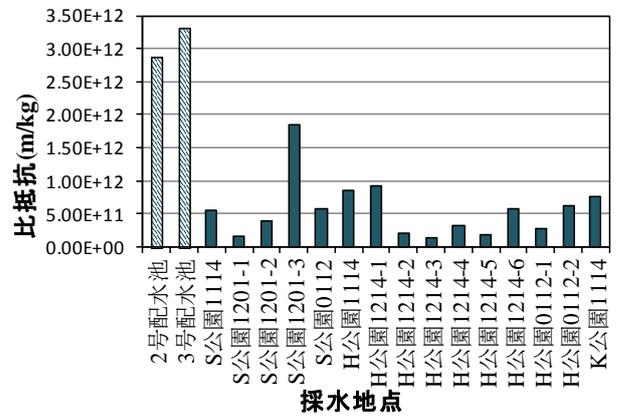


図7 採水地点別の Fe に関する比抵抗

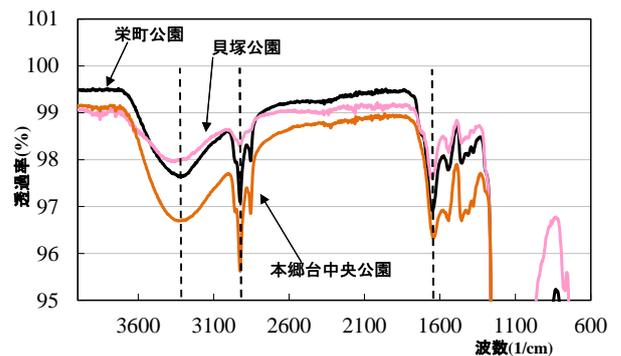


図8 採水地点別平均 FT-IR 分析結果

3.4.ピーク高さの検討

ケーキ層ろ過抵抗と特に大きなピークを示していた波数 1650cm<sup>-1</sup>, 波数 3000cm<sup>-1</sup>, 波数 3350cm<sup>-1</sup>との関係性を見たものを図10, 図11, 図12に示す. ここでのピーク高さは波数 3800cm<sup>-1</sup>前後の平らな部分での透過率を基準とし, そこからどれだけ離れているかを示したものである.

管内流入後のピーク高さが高い値を示していることから, 管内に流入することによって有機系の濁質が増加していることが考えられる.

4.まとめ

本研究では水道管流入前後の水質に着目し, XRF, FT-IR 分析を行った結果, 以下のことが確認できた.

- 1) 管内流入後の濁質の粒子は小さく, 管内流入前の濁質の粒子は大きいことが確認できた.
- 2) 濁質中の官能基に着目して分析を行った結果, 炭化水素を骨格とする濁質の存在が考えられる.
- 3) 管内に流入することによって有機系の濁質が増加することを確認することができた.

5.参考文献

- 1) 厚生労働省ホームページ:<http://www.mhlw.go.jp/>  
最終閲覧日 2013/1/12
- 2) 小佐野洋樹, 長岡裕, 浅野光: フィルターろ過による濁質濃縮法 XRF および FT-IR 分析を用いた配水管老朽度診断手法の検討, 第62回全国水道研究発表会, 平成23年5月, pp.380-381
- 3) LabCognition 社:<http://www.labcognition.com>  
閲覧日 2012/10/01

表3 栄町公園採水分 irAnalyze 分析結果

評価点	官能基	副化学分類	化学分類
100	アルキルホスフィンオキシド, エステル	置換基	側鎖または置換
75	脂肪酸アルコキシ, メキシ		脂肪酸エステル
61	不飽和炭化水素, 共役エステル		アルケン
57	脂肪酸スルホキシド	脂肪酸スルホキシ基	脂肪酸スルホン化合物
52	不飽和炭化水素, 環式		アルケン
34	脂肪酸第一級アミド		脂肪酸アミド

表4 本郷台中央公園採水分 irAnalyze 分析結果

評価点	官能基	副化学分類	化学分類
100	第三級アルコール		脂肪酸アルコール
97	アルキルホスフィンオキシド, エステル	置換基	側鎖または置換基
87	脂肪酸アルコキシ, 第三級アルコールエステル		脂肪酸エステル
72	脂肪酸アルコキシ, メキシ		脂肪酸エステル
58	不飽和炭化水素, 共役エステル		アルケン
35	不飽和炭化水素, 環式		アルケン

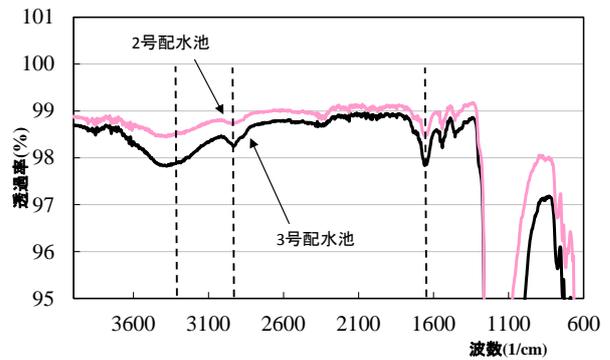


図9 採水地点別 FT-IR 分析結果

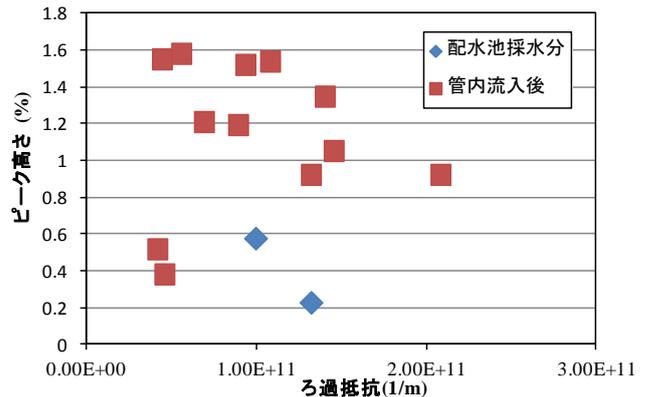


図10 ろ過抵抗と波数 1650cm<sup>-1</sup> 時のピークとの関係

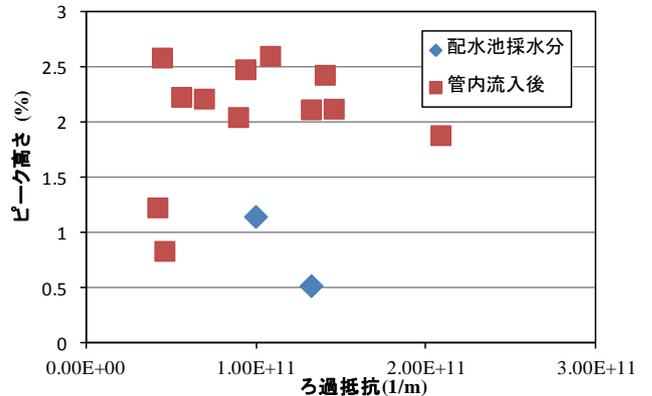


図11 ろ過抵抗と波数 3000cm<sup>-1</sup> 時のピークとの関係

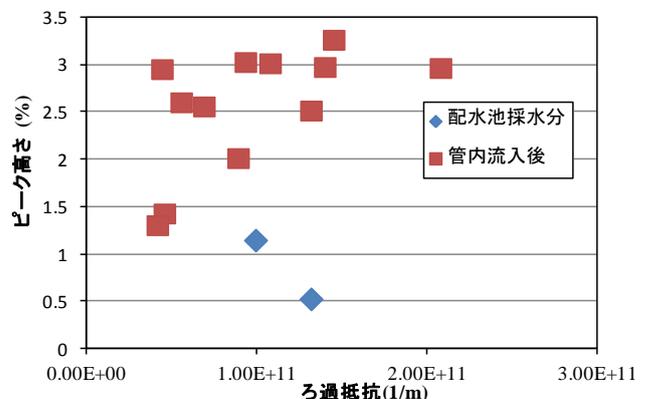


図12 ろ過抵抗と波数 3350cm<sup>-1</sup> 時のピークとの関係