

N-3 水道管の腐食劣化診断手法の開発のための 水質調査および鉄形態の解析

○石渡 恭之^{1,2*}・見島 伊織³・宇津野 典彦¹・藤田 昌史⁴

¹茨城県工業技術センター（〒311-3195 茨城県東茨城郡茨城町長岡3781-1）

²茨城大学大学院理工学研究科博士後期課程（〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1）

³埼玉県環境科学国際センター（〒347-0115 埼玉県加須市上種足914）

⁴茨城大学工学部都市システム工学科（〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1）

* E-mail: isiwatari@kougise.pref.ibaraki.jp

1. はじめに

1970年代に集中的に敷設された水道管は、現在、法定耐用年数に達しつつある。水道管の更新は古い管から順次行なわれる場合が多いが、更新時期にある管の量が非常に多く、水道管更新においては効率のよい更新計画の立案が必要である。水道管の腐食劣化状況は敷設年数と異なる場合があり、更新の優先順位決定の際には、腐食劣化状況を調査し把握することが望ましい。既存の調査手法としては水中カメラによる方法があり、目視による確度の高い結果が得られる。一方、調査にコストと時間を要し、広域的な調査は難しい一面もある。そこで本研究では、より低コストで簡便に広域な調査が可能な手法の開発を目的とし、水道水質に着目した方法を検討した。

水質に着目した劣化診断手法の検討としては（財）水道技術研究センターによる研究¹⁾があり、残留塩素の消費速度や懸濁物質の多少が水道管の老朽度を判定する指標となる可能性を言及している。ただし、未だ診断技術の確立には至っておらず、更新計画策定に有用な診断技術の構築のため、腐食が水道水質に与える影響について、より詳細にデータを蓄積する必要があると考えられる。

本報では、腐食の存在を推定するために有用な指標を探索することを目的とし、水道水質の地点間の違いを把握するため、水道管ネットワークの6地点から水を採取、分析し、各地点における水道水中の各元素の濃度および懸濁物質中 Fe の形態の違いを調べたので報告する。

2. 方法

(1) 採取地点

茨城県日立市における水道管ネットワークを対象とし

た。2011年1月18日に浄水場、ポンプ場、配水池、配水管の計6地点から採水した（図1）。なお、採取地点のうちAA2付近では腐食の発生が懸念されている。

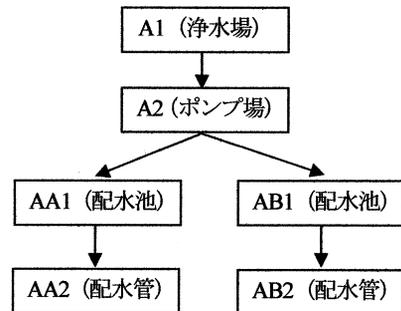


図1 採取地点

(2) 分析および解析方法

a) 水中の各元素濃度

水道水中の各元素の濃度（溶存態、粒子態を合わせた総濃度）をICP-AESおよびICP-MSを用いて分析した。

各採取地点の水質の傾向に与える要因を考察するため、分析結果を用いて主成分分析を実施した。主成分分析には統計ソフトウェア（SPSS Statics 18, SPSS社製）を使用し、定量下限値以下の濃度は0として計算した。

b) 水中懸濁物の各元素濃度

孔径0.45μmのメンブレンフィルターを用いて7Lの水をろ過し得られた懸濁物を硝酸および過塩素酸を用いて溶解し、100mLに定量後、ICP-AESにより分析した。

c) XAFSによる水中懸濁物中Feの存在形態の解析

孔径0.45μmのメンブレンフィルターを用いて10Lま

表1 水道水中の各元素の濃度

(mg/L)

sites	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Mn	Fe	Zn	Pb	Cr	Ni
A1	9.39	3.19	0.016	8.19	<0.005	2.06	13.3	<0.005	<0.010	<0.010	<0.001	<0.005	<0.001
A2	9.15	3.11	0.015	7.84	<0.005	1.96	12.9	<0.005	<0.010	<0.010	<0.001	<0.005	<0.001
AA1	9.37	3.11	0.024	8.21	<0.005	2.00	12.9	<0.005	0.011	<0.010	<0.001	<0.005	<0.001
AA2	9.18	3.08	0.019	8.18	<0.005	2.02	12.8	<0.005	0.033	<0.010	<0.001	<0.005	<0.001
AB1	9.14	3.04	0.012	7.90	<0.005	1.95	12.7	<0.005	<0.010	<0.010	<0.001	<0.005	<0.001
AB2	9.26	3.10	0.015	8.19	<0.005	2.00	12.8	<0.005	0.014	<0.010	<0.001	<0.005	<0.001

たは20Lの水をろ過し水中懸濁物を捕集した後、フィルターを水封して運搬し、湿潤状態にて立命館大学SRセンターのBL-3にて測定した。測定モードの設定は、水試料測定時は蛍光収量法、標準物質測定時は透過法とし、分光器はSi(220)を用いた。

Feの各形態の存在比率は、統計ソフトウェア(Excel多変量解析Ver.6.0, 憐エスミ)を使用しPLS回帰分析により計算した。

3. 結果および考察

(1) 水中の各元素濃度

各地点における水質の分析結果を表1に示す。地点間に大きな差はみられないが、Feの濃度については流下に従い濃度上昇がみられた。特に、腐食の発生が懸念されているAA2において、6地点のうち最も高い濃度を示した。

各地点における水質の傾向を考察するため、主成分分析を行なった。解析においては、全ての地点での濃度が定量下限値以下であった元素を除外し、Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Feの結果を用いた。得られた主成分得点を図2に示す。なお、寄与率は第1主成分(PC1)が58.2%、第2主成分(PC2)が27.9%であり、第2主成分までの累積寄与率は86.1%を占める結果であった。主成分得点にはバラツキがあり、地点により水質の傾向に違いが見られた。第2主成分の配列に注目すると、各地点の主成分得点の配列は流下方向と一致する結果となった。

各主成分への影響因子を考察するため、各主成分の因子負荷量を表2に示す。第1主成分では多くの元素が強く影響しているのに対し、第2主成分ではFeによる影響が顕著であった。水質の特性を考える際、Feは重要な因子であると考えられる。

(2) 水中懸濁物の各元素濃度

20Lろ過したメンブレンフィルターを図3に示す。腐食が懸念されているAA2では顕著な褐色の着色がみられ、懸濁物が多量に捕集されたことが示唆された。

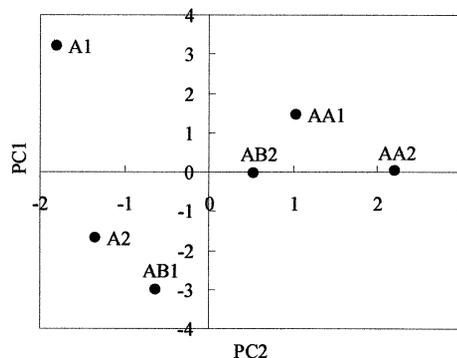


図2 各地点の水試料の主成分得点

表2 各主成分の因子負荷量

	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
PC1	0.92	0.86	0.56	0.81	0.93	0.82	0.12
PC2	-0.08	-0.45	0.58	0.51	0.07	-0.54	0.92

メンブレンフィルター上の懸濁物中の各元素を分析し水中の濃度に換算した結果を図4に示す。水中の濃度は非常に低濃度であるが、ろ過により濃縮されるため、十分な感度のある分析が可能であった。AA2では高いFe濃度を示し、次いでAB1, AB2, AA1の順の濃度であった。この結果はフィルターの着色と対応しており、フィルターに捕集され着色の原因となった主な元素は腐食生成物に由来するFeであると考えられる。以上より、粒子態のFe濃度に注目することで、水道管の腐食を検出できると考察された。

(3) XAFSによる水中懸濁物中Feの存在形態の解析

各種Fe酸化物の標準試料および水道管システムから採取した懸濁物のXAFSスペクトルを図5に示す。鉄酸化物が存在すると、標準試料のエネルギー領域にて強度の上昇が見られるが、懸濁物の最も少ないA1においても同領域での強度の上昇が見られ、Fe酸化物の存在を検出できた。

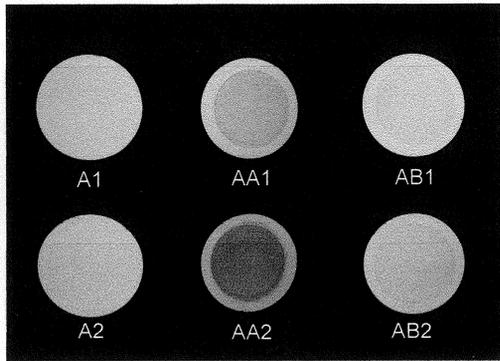


図3 20Lの水をろ過したフィルターの着色状況

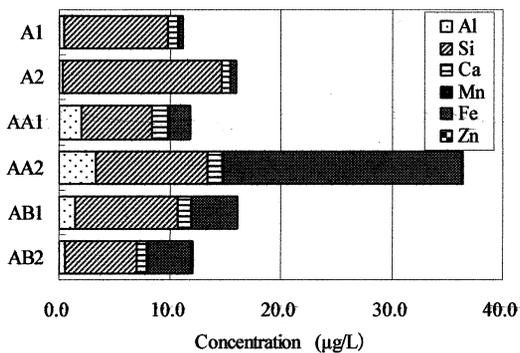


図4 各元素の粒子態濃度

既往研究^{2,3)}にて腐食スケール中に主に検出されている Fe_3O_4 と $\alpha\text{-FeOOH}$ が本研究の試料においても主成分であると仮定し、存在比の計算を行なった。なお、A1は浄水場のため腐食の影響は考えられず、かつ測定結果のノイズが大きいため、A1以外の地点について計算した。算出した存在比を図6に示す。AA1とAA2の間では、 Fe_3O_4 の比率が若干上昇したが、一方、AB1とAB2の間では、 Fe_3O_4 の比率が減少する変化がみられ、両区間で異なる動態を示した。この形態の変化の違いは、腐食の存在などの水道管内部の状況の違いの影響を受けた結果である可能性が考えられ、Feの濃度とともに酸化形態を調べることで水道管内部の状況を知る手がかりになる可能性が示唆される。ただし、本報ではFeの形態の違いの原因を特定するには至っておらず、さらなるデータの蓄積や、サンプリング方法、分析条件の改善によるノイズ低減により解析の確度を高めることが課題である。

4. まとめ

水中の各元素の濃度のデータを主成分分析した結果、各地点の水質はFe濃度の影響を強く受けて特徴づけられることがわかった。フィルターで捕集した懸濁物の分

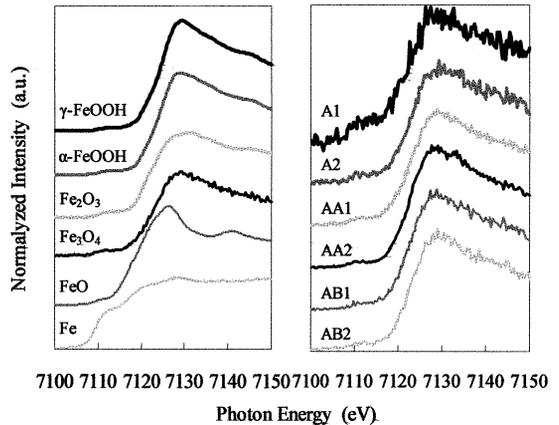


図5 標準試料(左)と実試料(右)のXAFSスペクトル

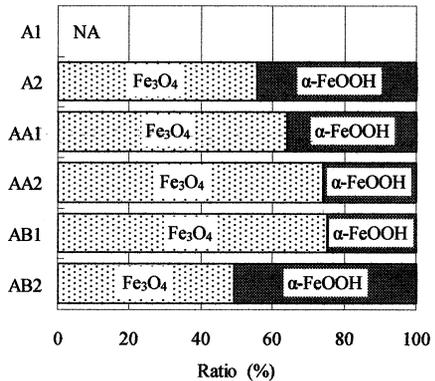


図6 懸濁物中のFeの各形態の存在比

析では、腐食が懸念される地点で、懸濁物としてのFe濃度が顕著に多量に検出された。懸濁物中のFeの形態を調べるため、XAFSによる分析を試したところ、腐食の懸念される管路とそうでない管路では懸濁物中のFeの酸化形態に違いがある可能性がみられた。本報の結論として、水道管の腐食劣化診断において、懸濁物中のFeが指標と成り得ることがわかった。

謝辞：日立市企業局の中村薫氏、廣原啓二氏には調査地をご提供いただいた。(株)環境測定サービスの黒羽徹氏、技術士の保坂義男氏には研究立案においてご協力をいただいた。(財)茨城県薬剤師会公衆衛生検査センターの茅根志信氏には化学分析において多大なご協力をいただいた。本研究はJSTの研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)および研究シーズ探索プログラムより助成の支援を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 水道技術研究センター：管路施設の機能診断・評価に関する研究 (New Epoch) 報告書, 2008.
- 2) Sarin *et al.*: Water Research. 38(5), 1259-1269, 2004.
- 3) 永田英樹ら：材料と環境, 41(12), 816-823, 1992.