



Title	配水管の外表面腐食問題と対策
Author(s)	松尾, 静児; 古井, 浩二; 鈴木, 誠
Description	第6回衛生工学シンポジウム (平成10年11月5日 (木) -6日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 4 水処理 1 . 4-1
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 6, 113-118
Issue Date	1998-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7332">https://hdl.handle.net/2115/7332</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	6-4-1_p113-118.pdf



## 4-1 配水管の外面腐食問題と対策

松尾 静児（札幌市水道局）・古井 浩二（札幌市水道局）・鈴木 誠（札幌市水道局）

### 1. はじめに

配水管の漏水や折損事故及び水質低下等の機能障害は、市民生活に一時的な不便を与えるだけでなく、時には道路冠水による交通障害や家屋浸水被害を発生させる場合もある。これに対し本市では、事故や機能障害の未然防止、あるいは影響範囲の縮小のため、計画的な老朽管更新、ブロック配水、また維持管理の効率化など、種々の方策を講じてきている。

その方策の一つに配水管の外面腐食対策がある。配水管の外面腐食は、埋設土壤の中に極めて腐食性が高い土質が存在することで、鋳鉄製の配水管の外面や接合部のボルト等が腐食し、漏水を発生させるものである。その対策として、従来から配水管布設時の防食措置や埋戻材の改良を実施してきているが、障害の未然防止の観点からは、計画的な改良更新を行うことが重要である。しかし、腐食の可能性のある管路が膨大に存在するにもかかわらず、土質や腐食の進行度を把握することが極めて難しく、データの取得から腐食予測、そして、改良更新計画の策定までの流れを確立し、抜本的な取組を進める必要性が高まった。

こうしたことから、本市では、昭和63年度から腐食性土壤による腐食事例の現状調査・対策等について改めて検討を重ね、外面腐食管改良更新計画の策定による本格的な改良更新事業を進めるに至った。本論文では、配水管の外面腐食問題の経緯、防食対策、外面腐食対応の基本的考え方、及び腐食予測による外面腐食管改良更新計画について報告する。

### 2. 配水管の外面腐食問題

#### ①問題の発端

配水管の外面腐食を本市が認識し始めたのは、昭和48年頃から函館本線より北側のとくに北区・東区において、配水管の接合部に使用するボルト・ナットの腐食に伴う管の抜け出しにより、漏水事故が頻発してからである。外面腐食の状況であるが、図-1、図-2に掲げるようにボルトの先端部、中央部、頭部や、ナットの頭部に現れたり、管体に局所的な孔食となって現れる。特にボルト・ナットの腐食が激しく、ボルトが切断している場合も見受けられる。配水管の接合部は、例えば口径φ100mmの場合4本のボルトで接合されているがボルトが痩せ、破断しやすくなると、管内の水圧のため抜け出し事故を起こす可能性がある。このような事故のほとんどは青粘土（海成粘土）、泥炭

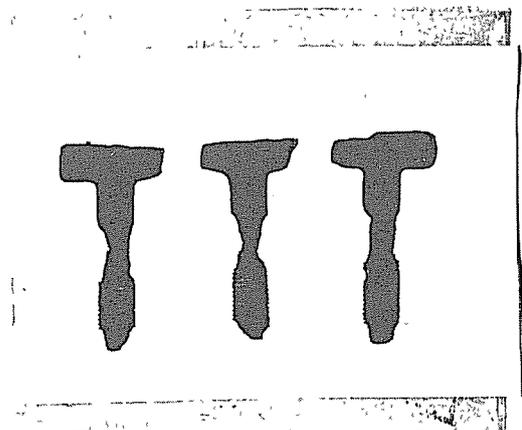


図-1 ボルトの腐食



図-2 管体の腐食

地域で発生している。このため、昭和52年に市内22箇所の土壌調査を行い、ANSI法、DVGW法といった土壌の腐食性評価方法で泥炭と青粘土を評価したところ、腐食性が高いことが確認された。

### ②本市の腐食性土壌

本市都心部は、豊平川によってつくられた典型的な扇状地上にあり、地層は主として砂礫により構成されている。しかし、北区・東区方面は殆どが粘土・泥炭に覆われ、青粘土も多く存在する。上層部は、砂質粘土で北部にいくにしたがって粘土質に変わっているが、地区によっては一部泥炭地域も存在している。また、東区の東部では泥炭が広域に分布し、地盤が極めて軟弱であるが、このことは白石区北部についてもいえ、白石区米里付近では泥炭の厚さが7～8mに及んでいる。(図-3)

このような土質分布を考慮しながら、本市では原因究明のため、数度の土質調査及びボルト、管体の腐食状況調査を行ってきた。これまでに判明したことは、事故発生の分布状況から函館本線以北の北区、東区は腐食性地帯としての位置づけが明確になったこと、青粘土が西区や手稲区に多く分布し泥炭も存在すること、南区においても一部青粘土の存在が確認されたことがあげられる。

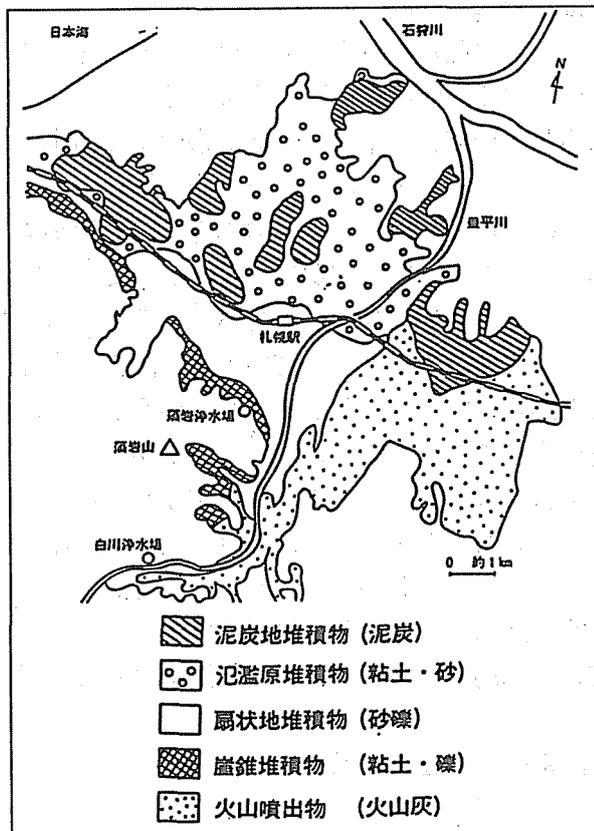


図-3 土質分布略図

### ③腐食のメカニズム

金属の土壌中における腐食は、本質的には水中における腐食と同じ電気化学的な機構によって起こる金属のイオン化反応である。この場合、金属表面に電位差が発生し、腐食は電子を放出する陽極反応(アノード反応)で生じる(図-4)。電位差が発生する原因は、金属の組成や組織のミクロ的な差によって起こるものと、金属のおかれている環境条件の差異や異種金属の接触などで起こるマクロ的なものがある。さらに腐食は、腐食生成物の金属表面への堆積、酸化剤の供給不足や不均一、共存イオンの濃度差などの2次的な要因により不均一に進行する。土壌中における腐食の代表的なものに土壌中の通気差による腐食があげ

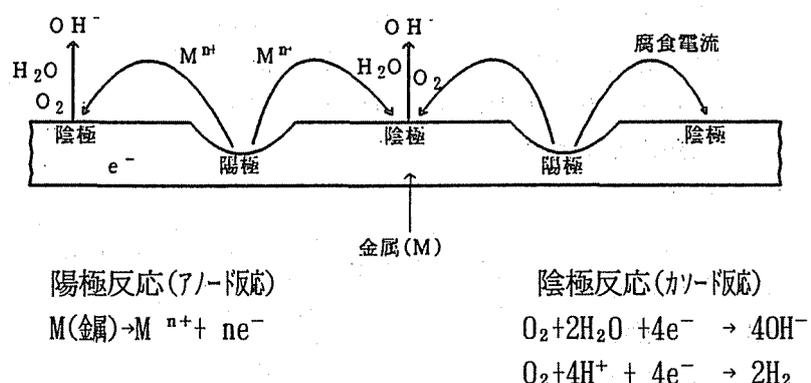


図-4 反応の模式図及び反応式

られる。これは、同一の金属であっても溶存酸素や塩類の濃度が異なる環境で用いると、金属表面に濃淡電池を形成し、濃度の小さい部分が陽極となり腐食が促進される。特に埋設環境中の通気性の差異が起因する酸素濃淡電池は、典型的な腐食電池であり、通気の悪い所で腐食する。また、土壤腐食を及ぼす因子には、土質、土壤抵抗率、pH、含水量、通気性、微生物、溶解成分などがあり、その他、電池作用（主にマクロセル）や迷走電流が大きく影響を及ぼすこともある。本市の腐食性土壤の代表である青粘土、泥炭は、他の土質と比較すると塩分濃度が高く、土壤抵抗率が低いため電気化学的反応性が富み、嫌気性であるなど、非常に腐食しやすい土質であることが確認されている。

なお、ボルト腐食が多い理由としては、(1)ボルトのねじ切加工により金属電位が卑になり異種電極電池を形成する、(2)(1)によりボルトは陽極となり、さらに陰極である管体との面積比が小さく腐食しやすくなるといった要因が考えられる。

### 3. ポリエチレンスリーブを用いた外面腐食対策

#### ①ポリエチレンスリーブの採用

外面腐食の発生を防止するには、直接土壤を改良した上で配水管を布設することも考えられるが、確実に防食するためには、配水管と埋設土壤を絶縁することが有効である。そこで、本市では、ポリエチレンスリーブによる管体被覆腐食防止を採用している。

ポリエチレンスリーブは、国内では昭和50年に規格化された防食法で、図-5のように管の外側に厚さ約0.2mmの軟質ポリエチレン製のチューブを挿入し被覆することにより、(1)管と埋設土壤の直接接触を断つ、(2)管の周辺を均一に保ち埋設環境の差に基づく酸素濃淡電池の発生を防ぐ、(3)地下水が進入しても流動することがなく酸素の供給が断たれる、といった効果を発揮する。また、施工性や経費の問題もないことから、配水管布設時に腐食回避措置として、ポリエチレンスリーブを管に被覆することになった。



図-5 ポリエチレンスリーブ被覆状況

#### ②段階的防食経緯と効果

ポリエチレンスリーブの使用地域は、外面腐食調査により問題が明らかにされる段階において、その範囲が広げられてきた。昭和50年度からは、給水管のサドル分水栓に対し、全市的に当防食法を採用したのを始め、昭和53年度には、事故発生の分布状況から函館本線以北の北区、東区は腐食性地帯としての位置づけが明確になったことで、当地域の管新設時に管接合部に当防食法を採用している。管全体への防食適用は、昭和57年度より同地域において開始し、昭和63年度からは、函館本線以南でも腐食性のある地域に被覆している。

このように順次、適用範囲の拡大を行っており、平成5年度からは、より配水管の安全性を高めるため、全市に採用し今日に至っている。

ポリエチレンスリーブの評価については、その後、土質及び管体調査に合わせて調査しており、被覆した管路のほとんどに腐食は認められなかった。調査の極一部には、管布設時または埋戻時にポリエチレンスリーブが破れたと思われる管接合部で、ボルト腐食事例も確認されているが、それを除き、全体として防食効果は高いと判断している。

#### 4. 外面腐食管更新への取組

##### ①計画的更新方法策定の基本的考え方

新設される配水管の外面腐食に対する回避措置を講ずることについては、ポリエチレンスリーブを被覆することで対応できる。しかし、管体未防食の既設配水管については、その対応方法を別途考慮しなければならない。

以前の未防食配水管の更新は、土質や管体の状況調査等で判明した腐食が激しく漏水の危険が高い管路や、実際に腐食による漏水事故を発生した管路を対象におこなってきた。これらは、何れも管体異常が具体化してからとった対処療法的措置であり、全未防食配水管の危険度を比較して計画的に更新したものではない。また、計画的更新にあたり、危険度を確認するために外面腐食性地帯の未防食管路を全て試掘することは非効率的である。

したがって、事故の発生や危険が表面化する以前に、何らかの簡易な方法で危険性を察知し、計画的に更新することが重要な課題である。このためには、対応すべき未防食管路の更新優先順位づけが必要であり、将来に備えた外面腐食情報に関する情報管理・評価システムを構築することも精度の高い診断、効率的更新事業の展開のためには必要である。そこで、外面腐食管路の診断・評価方法は、(1)効率的な情報収集の整備、(2)危険度の診断手法の確立、(3)データ管理システムの構築を基本として進めることとした。

##### ②効率的な情報収集方法の整備

昭和62年度以前の土質、管体調査による情報収集は、腐食漏水の予測による事故の未然防止を目指したものであるが、測定項目や調査頻度のバラツキ、事故データの不足等により、評価につなげる段階に至っていなかった。また、効率的な情報収集を行うには、数多く考えられる腐食要因のうち、腐食要因をできるだけ限定することが重要である。そこで、複雑な外面腐食条件を整理し、そのうち、広域的な情報収集が容易で、かつ最小限の指標に絞り込むことを念頭におき、昭和63年度から改めて計画的な調査検討を開始した。

外面腐食の診断を検討するには、埋設環境因子とその環境における腐食量に関する統計データが必要である。表-1の調査項目は、埋設環境因子としてあげられるものである。

表-1 埋設環境因子

分類	項目
管属性	・口径・管種・布設年
管腐食度	・腐食深さ(・腐食面積・食孔数)
埋設環境因子	・土質・土色・地下水の有無
	・比抵抗・pH・硫化物・Redox電位・含水比
	・硫黄含有率・硫酸イオン・塩素イオン・酸度
	・アルカリ度・KMnO <sub>4</sub> 消費量・蒸発残留物

その中から主要とされる環境因子を絞り込むには、腐食深さとその環境因子がセットになったデータがあれば、統計的に因子間の相関関係を調べることにより、腐食深さに関係の深い因子を選出することができる。また、主成分分析等の多変量解析の手法を適用して、複雑に関連しあう要因の関係を明らかにしたり、多数の要因をまとめて総合指標を得ることもできる。こうした手法を取り入れ検討した結果、腐食深さに絡む主要因子には、土質、地下水の有無、石炭等ガラの有無に絞り込むことができた。これらの因子は、専門的な調査を行わ

ずとも得られるデータであるため、漏水や工事の掘削時においても容易に確認することができる。

### ③危険度の診断手法の確立

外面腐食の危険度は、管体の腐食深さで評価できるが、埋設され目に見えない配水管の外面腐食の度合いを知るには、腐食深さを予測するための式を作成する必要がある。腐食深さの式として一般に知られているユーリックの式によると、腐食深さY (mm) と埋設期間T (年) は、 $Y = k T^n$  (k, nは定数) の関係にあるといわれている。この式を参考にkは、環境の腐食性に支配されるパラメータであると仮定し、次の線型重回帰モデルを設定した。

$$Y_i = \exp(a_0 + a_1 x_{1i} + \dots + a_p x_{pi} + e_i) T_i^n$$

p : 説明変数の数  $e_i$  : 誤差

ここで、両辺の対数を取り重回帰分析を行ったが、説明変数を選択するために変数増減法を用いた。この結果腐食式は、以下のとおり土質だけを説明変数とすることができた。

$$Y = \exp(-0.518 + \text{土質の偏回帰係数}^*) T^{0.285}$$

砂・シルト	:0.000	粘土	:0.205
礫	:0.656	粘土	:1.032
礫+粘土	:1.392		

このように腐食深さを布設年数と土質で予測できることは、札幌市下水道局が作成した表層土質分布図と水道局独自に蓄積してきた土質情報を配水管網図に照らし合わせることで、外面腐食危険度地図を作成することが可能であることを示している。

次に、更新優先順位の設定に資するように危険度ランクを設定することとした。漏水危険度は、ダクティル鑄鉄管の腐食残存管厚が、水圧や外圧に耐えうる安全性の程度で決定することができ、表-2のとおり腐食深さ別のランク付け及び対策がたてられた。

表-2 腐食度ランクの定義と対策

腐食度 ランク	定 義	例：φ250以下 $t_0=6.0$ mm	腐食度ランク毎の対策
I	$Y > t_0 - t_p$	$Y > 5.0$ mm	基本的に残存管厚がなく、即更新が必要
II	$Y > t_0 - t_p - t_{s1}$ $Y \leq t_0 - t_p$	$Y > 4.2$ mm $Y \leq 5.0$ mm	水圧及び外圧に対し安全率1.0 が保証されないため、早急に更新が必要
III	$Y > t_0 - t_p - t_{s2}$ $Y \leq t_0 - t_p - t_{s1}$	$Y > 3.8$ mm $Y \leq 4.2$ mm	更新の判断には、管路の重要度や予測式で現れない他要因調査等の総合的判断が必要
IV	$Y > t_0 - t_p - t_{s2}$ $Y \leq t_0 - t_p - t_{s1}$	$Y > 2.0$ mm $Y \leq 3.8$ mm	腐食の進行が予測されるため、10年以内に再度診断が必要
V	$Y \leq 2$ mm	$Y \leq 2.0$ mm	20年以内に再度診断を行うことが望ましい
(備考)	Y : 腐食深さ $t_0$ : 規格管厚 $t_p$ : 許容厚 $t_{s1}$ : 安全率1.0の正味管厚 $t_{s2}$ : 安全率2.0の正味管厚		

このように外面腐食深さが予測式により算出され、腐食度ランクに照らし合わせることで、更新の優先順位を決定できる手法を確立することができた。

### ④データ管理システムの構築

本市では、水道施設情報のデータベースとして、マッピングシステムを導入している。このシステムは、コンピュータに図面や台帳に記載された情報を数値化してデータベースに格

納するが、その際に図面情報を分割し階層化して保存でき、様々な属性情報を自由に検索、加工することが可能である。そこで、このシステムを応用して、外面腐食管情報を取り込むこととし、(1)未防食管路の外面腐食度ランク付け、(2)腐食度ランク別管路の色分けや延長等情報の検索、(3)経年化によるランクの自動更新により、外面腐食管路更新計画の立案や将来必要となる事業の把握を容易にすることを目的に、データベースの構築及びソフトの開発をおこなった。

腐食度ランクを与えるには、腐食度予測式の項目である土質と管口径及び布設年度が必要であるが、そのうち管口径と布設年度については、マッピングの属性情報として既に整備されているため、土質情報データベースの構築のみが必要となる。そこで、下水道局作成の表層土質図と水道局独自に収集した土質データをマッピングシステムに地図属性の一部として入力しデータベースとした。次に、このデータベースを利用して、腐食度ランクの設定や検索、将来的な腐食度ランクの計算のために改めてソフトを開発し、マッピングシステムに組み込むことができた。その結果、画面上の管網図に土質を張り合わせたり、外面腐食度ランクを色別で把握できたり、必要な情報も検索できることとなり、外面腐食管情報の効率的運用に資することができるようになった。

#### ⑤外面腐食管更新事業について

以上のように外面腐食更新対策は、情報収集の簡素化、腐食度予測と更新の判断基準の確立と、将来的にも全未防食管路を管理するためのデータ管理システムの構築により、更新優先順位を検索・決定できるまでに至った。平成8年度には、これにより改良更新事業計画を策定し、平成9年度より本格的な事業を開始している。計画では、検索された腐食度ランクⅠ及びⅡの早急な対応が必要な管路約80kmを対象に、平成9年度から12年度にかけて、年間約20kmの進捗で更新を行う予定である。なお、外面腐食の危険性が高い地域は、軟弱地盤や液状化が想定される地域と一致していることから、管を布設する際には、耐震継手管を使用して耐震性の向上を図ることも計画している。

## 5. おわりに

外面腐食管の抜本的な更新計画の策定は、本市にとって長年の懸案であり、これまでも維持管理の一環として実態把握や予測手法の検討を繰り返し実施してきた経緯がある。しかし、目に見えない膨大な未防食管路に対し評価を加えることは容易でなく、本報で述べたとおり、系統的な実態調査と診断評価手法の確立により更新計画が策定できたことは、大きな成果と考えている。また、腐食関連情報を新たな維持管理項目としてデータベース化したことが、今後とも維持管理に必要な情報を選定し、マッピングシステムを中心に据えた「情報に基づく維持管理の高度化」を進めていきたい。

いずれにしても、今後、更新計画を進める過程では、実際の腐食状況を継続的に把握し、予測式の精度向上を図るとともに、より実態に則した更新の優先順位を見だし、実効をあげる努力を続ける考えである。

### <参考文献>

1. 藤懸 健, 相原 重則 「札幌市における土壌の腐食性評価への試み」 第42回全国水道研究発表会講演集 1991
2. 西條 肇昌, 小田 直正, 相原 重則, 古源 靖則 「札幌市における埋設配水管の外面腐食問題とその対応」 土木学会北海道支部 論文報告集 平成3年度
3. 中村 郁也, 松尾 静児, 本射 直佳, 古井 浩二 「外面腐食管の診断評価と更新対策への利用」 第48回全国水道研究発表会講演集 1997
4. H. H. Uhlig: "Corrosion and Corrosion Control", (1967), P. 154, John Wiley&Sons