

II-64

札幌市における埋設配水管の外面腐食問題とその対応

札幌市水道局	古源 靖則
札幌市水道局	相原 重則
札幌市水道局	小田 直正
札幌市水道局	正 員 西條 肇昌

1. はじめに

札幌市の水道は昭和12年に創設され、その後7期にわたる拡張事業を経て、平成2年度末現在で給水人口163万人、一日平均配水量 523,429 m^3 、配水管総延長 4,448km、給水普及率98.4%に達し、札幌市のさまざまな活動を支える都市基盤施設のひとつとなっている。このように高普及を達成した水道事業体にとって、より安定した給水を確保するためにはその輸送施設としての配水管について、適切な維持管理を行っていくことが重要な責務となっている。

そのなかで、現在本市が抱えている維持管理上の問題のひとつに配水管の外面腐食がある。外面腐食の原因には腐食性土壌や電食があるが、本市では腐食性土壌による腐食事例が顕著であり、その現状調査・対策等について検討を重ねてきたところである。本論文では、本市における配水管の外面腐食問題の経緯、腐食状況、外面腐食対応の基本的考え方、従来の評価方法の検討、腐食予測、今後の配水管布設計画策定への応用の可能性について報告するものである。

2. 経緯

配水管の外面腐食問題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、配水管のメカニカル継手に使用するボルト・ナットの腐食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・頭部及び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、ボルト中央部分で切断している場合も見受けられる。配水管の継手部分は、 ϕ 100mmの場合4本のボルトで接合されているが、ボルトがやせ破断しやすくなると、管内の水圧のため逸脱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、粘土・泥炭地帯で発生しており、その原因として土壌の腐食性が疑われた。

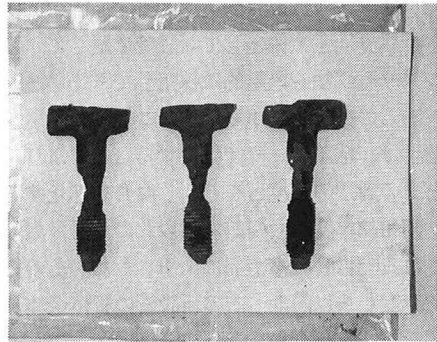


図-1 ボルトの腐食

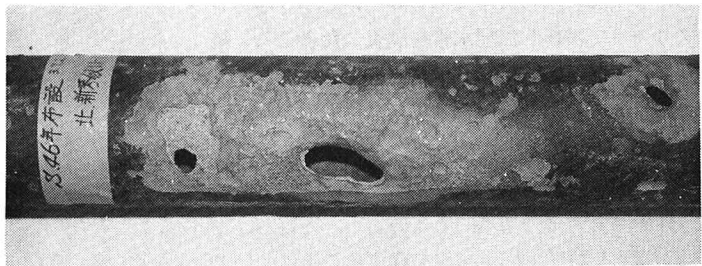


図-2 管体の腐食

External Corrosion Problems of Distribution Pipes and Countermeasures in Sapporo
by Yasunori KOGEN, Shigenori AIHARA, Naomasa ODA and Tadamasa SAIJO

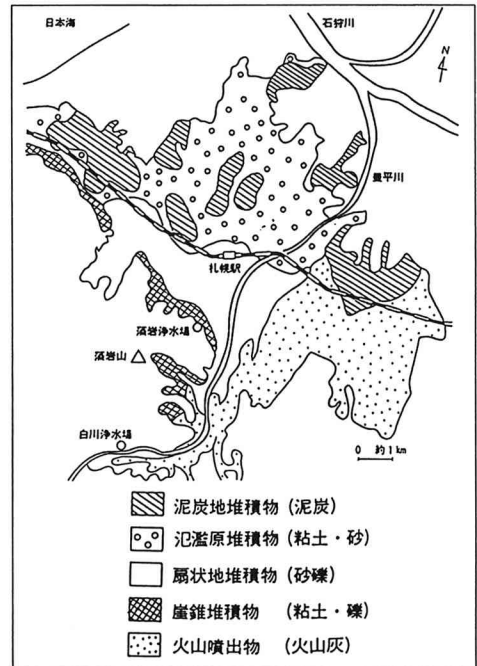
本市都心部は、豊平川によってつくられた典型的な扇状地上にあり、地層は主として砂礫により構成されている。しかし、北区・東区方面はほとんどが粘土・泥炭に覆われている。上層部は砂質粘土で、北部に行くにしたがって粘土質に変わっているが、地区によっては一部泥炭地域も存在している。また、東区の東部では泥炭が広域に分布し、地盤が極めて軟弱であるが、このことは白石区北部についてもいえ、白石区米里付近では泥炭の厚さが7～8 mに及んでいる（図－3）。

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、数度の土壌調査及びボルト・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（昭和57年度調査）、ダクタイル鑄鉄管の外表面腐食は昭和46年度から昭和51年度に布設した管に集中していること（昭和63年度調査）等が挙げられる。

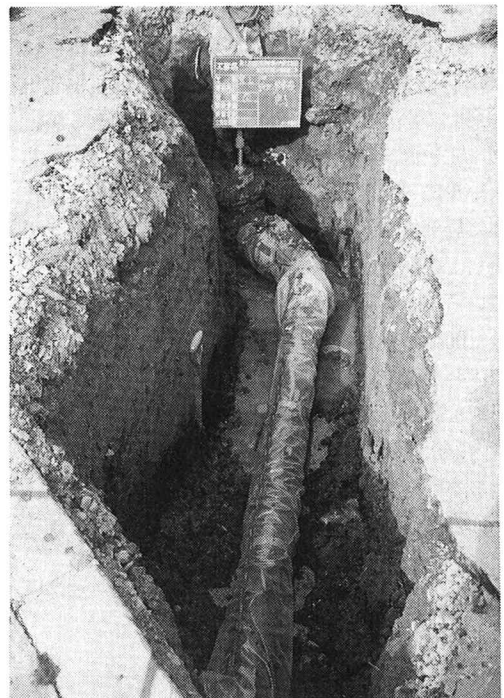
また、このような腐食の実態調査・原因の究明と併せて、腐食回避措置として新設管に対してポリエチレンスリーブ法を段階的に採用してきている（図－4）。この方法は、ポリエチレン製のシートを管体に巻付け、粘着テープで固定することにより、配水管とその周辺の環境とを遮断し腐食を防止するもので、昭和53年度から函館本線以北の北区・東区で新設される配水管の継手部に採用された。その後、昭和58年度からは同地区内の新設管の管体全体にも適用することとし、さらに昭和63年度からは函館本線以南でも腐食性のある箇所でも同法を適用することにした。なお、昭和61年度に管体全体をポリエチレンスリーブで被覆した配水管を調査したところ、継手部に若干の錆が発生しているものもあったが、管体の腐食は皆無でその防食効果は高いものと判断している。

3. 外面腐食対応の基本的考え方

外面腐食に対する回避措置を講ずることについては、これから新設される配水管についてポリエチレンスリーブを被覆することでその対応を図ることができる。しかし、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。外面腐食の危



図－3 土質分布略図



図－4 ポリエチレンスリーブ被覆状況

陰性がある地域としている函館本線以北には、ポリエチレンスリーブが管体全体に被覆されていないダクタイル鋳鉄管が、平成2年度末現在約740kmあり、これは配水管総延長の約16%に上る。本市としては、外面腐食を原因とする漏水事故に追従するかたちで点的に対応するのではなく、事故を未然に防止するため、その可能性の高い配水管を計画的な布設替等を手段として、より効果的に対応することを考えている。この布設替計画の策定に資するためには、対応すべき約740kmにどのような優先順位を設定するかが問題となるが、現段階では優先順位決定のための方法論が、十分整備されている状況にはない。

この優先順位決定のためには、腐食現象がどのような要因により説明されるか、またどの程度その要因が関与するのかを知ることが必要である。このようなデータを収集するためには、調査計画を策定しこれに基づき配水管を掘削してデータを蓄積してゆく方法があるが、この方法の欠点は配水管掘削のために多くの経費が必要となることである。したがって、むしろ、配水管折損事故等の都度、その復旧作業と同時にデータも収集するようにすれば、土工費・舗装復旧費等の節約になり効率的にデータを取得することができる。ところが、現実には配水管の折損事故等の維持管理作業は一刻を争う場合がほとんどで、その作業にかかりきりになってしまうため他業務の余裕がない場合が多い。このような状況下で外面腐食の腐食要因となるデータを収集するためには、数多く考えられる腐食要因のうち測定する腐食要因をできるだけ限定し、より効率的に行うことが必要である。したがって、一定の信頼性を確保しながらいかに簡易な評価法を作成できるかが重要課題となる。

4. 従来の評価方法の検討

土壌腐食は、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り、電子を放出する酸化反応と電子を受け取る還元反応が同時に起こっている。管路では、以下の3つの要素がすべて満たされたときに腐食が起きるとされている。

- ①電解質の存在（水、土、コンクリート）
- ②酸化剤の存在（O₂, H⁺ 他）
- ③陽極と陰極を結ぶ導線の存在（管路）

ここで、実際の環境中では、複雑な要因が相互に関連して土壌腐食を進行させるものと推察される。そこで、腐食要因として想定される項目を組み合わせることで土壌の腐食性を評価する手法が必要となる。

土壌腐食性の評価方法としては、ANSI評価法（American National Standards Institute）及びDVGW評価法（Deutscher Verein des Gas-und Wasserfaches）が一般的に知られている。ANSI評価法は5つの評価要因により構成されており、DVGW評価法の評価要因はANSI評価法に加え、土壌の種類等の計14の評価要因により構成されている（表－1）。そして、両評価法とも各評価要因にそれぞれ一定の点数が与えられ、その合計点数がどの程度となるかにより腐食性判断するという方法をとっている。

そこで、これらの評価法が既設配水管の腐食性評価の有効な手段となり得るかについて検討した。

まず始めに、両評価法に本市がこれまで収集してきたサンプルをあてはめ、両評価法による評価点分布が、各土質でどうなっているかを調べた（図－5）。サンプルについては、

表－1 既存の評価手法とその評価要因

	評 価 要 因
ANSI	比抵抗 pH 酸化還元電位 硫化物 水分
DVGW	比抵抗 pH 酸化還元電位 硫化物及び硫化水素 含水率 土壌の種類 土壌の状態（地下水の存在の有無・掘り返しの有無・構造物周辺との土壌の差） 総アルカリ度 総酸度 石炭またはコークス分 塩素イオン 硫酸塩含有量

昭和52年から昭和62年にわたって調査収集したポリエチレンスリーブを被覆していないダクタイル鋳鉄管に関するものであり、本市がこれまで収集してきた 157サンプルのうち、明らかに異常サンプルと思われるものや、評価要因が完全にそろっていないものを除いた68サンプルである。

＊ANSI 評価法＊

	腐食性なし	要 注 意	腐食性あり	
	0	5	10	15
泥 炭	4	11.5		
粘 土	2	17.5		
シルト質粘土	4	7.5		
レキ混り粘土	2	10.5		
シ ル ト	1	5.5		
砂 0		4.5		

＊DVGW 評価法＊

	わずかな腐食性	腐食性あり	激しい腐食性	
	0	-5	-10	-15
泥 炭			-13.5	-17.5
粘 土		-9	-14	
シルト質粘土		-10	-12	
レキ混り粘土		-7.5	-14	
シ ル ト	-3	-5		
砂	-1.5	-5		

図－5 両評価法の評価点分布

その結果、ANSI 評価法では、同一土壌に対して評価点数が広い範囲に分布する傾向があり、特に粘土についてその傾向が大きい。このことは、腐食性の有無の判定が難しいことを意味する。しかし、DVGW 評価法では、評価点数がある程度狭い範囲に限定される傾向があり、泥炭・粘土質土は腐食性が高い結果となっている。このことは、本市が経験的に泥炭・粘土に腐食性があるという認識と一致している。

次に、両評価法の評価点と腐食深さや腐食速度との相関係数を算出した（表－2）。その結果、相関係数はあまり高くなく、両評価法の評価点と外面腐食による損傷とが、明確な関連をもつとはいえないことがわかる。

これらのことから、両評価法とも腐食評価の有効な指標であると、積極的に言うことはできない。このことは、両評価法が本来配水管を新設する際に、腐食回避措置が必要であるかどうかを判断するめやすとしてのものであり、既設管に対して、どのような影響が及ぶかについて、直接的な評価基準となるものではないことによると思われる。しかし、これからもデータの蓄積等を行って、さらに検討していく考えである。

表－2 両評価法と腐食深さ及び腐食速度との相関

	腐食深さ	腐食速度
ANSI	0.599	0.514
DVGW	0.419	0.488

5. 腐食予測

ここでは、従来の評価法が評価点という指標で腐食性を説明しているのに対し、直接的な表現として腐食性を腐食深さで置き換え、腐食深さがどのような変数により、どのように説明されるのかを検討した。説明

変数の候補としては、比抵抗・pH・酸化還元電位・含水比・硫酸イオン濃度・土壌組成（粘土・シルト・砂・泥炭）・塩素イオン濃度・硫酸イオン濃度の計11項目を挙げたが、この他説明変数として重要と思われる埋設期間を加えた。これら12項目の説明変数によって腐食深さを表現する腐食予測モデルを導き出した。

一般に腐食深さ y と埋設期間 t とは、 $y = k t^n$ （ k , n は定数）の関係にあるといわれている（ユーリックの式）。ここで、 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。

$$y_i = \exp(a_0 + a_1 x_{1i} + \dots + a_{pi} x_{pi} + e_i) t_i^n \quad (p: \text{説明変数の数}, e_i: \text{誤差})$$

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変数増減法を用いた。この結果、腐食予測式は、

$$y = \exp(-2.113 + 0.003x_1 + 1.184x_2 + 1.042x_3 + 1.132x_4 + 0.002x_5) t^{0.496}$$

となった。ただし、

y : 腐食深さ (mm)

x_1 : 含水比 (%)

x_2 : 粘土かどうかのダミー変数 (粘土: 1 粘土でない: 0)

x_3 : シルトかどうかのダミー変数 (シルト: 1 シルトでない: 0)

x_4 : 砂かどうかのダミー変数 (砂: 1 砂でない: 0)

x_5 : 硫酸イオン濃度 (mg/ℓ)

t : 埋設期間 (年)

重相関係数 $R=0.657$

この結果からは予測値と実測値の間にあまり高い相関はみられないが、腐食要因として含水比・土質・硫酸イオン濃度・埋設期間に絞ることができ、腐食要因の収集作業の軽減化を図る可能性が示されている。

当面、本市においては腐食性が高いと思われる次の地区を外腐食対策地区として平成4年度から布設替の対象とすることとしている。

①海成粘土地区

②特に北東部に広く分布する泥炭地区

③安春川周辺地区

これらの地区は、外腐食が発生する地区の中でも、配水管の維持管理業務上、経験的に外腐食の可能性が高い地区として本市が認識している地区である。これらの地区は、土質が泥炭や粘土で硫化物などの濃度が高く酸性を強く示したり含水比が大きかったりする地区であることから、ある程度この腐食予測式の方向性と合致する。

したがって、札幌市内の土質情報の蓄積をこれからも行ってゆけば、このモデル式を活用することにより腐食量が大きくなる可能性のある配水管が特定できることになる。このことは、配水管事故の未然防止のために必要な管路更新計画の策定において、優先順位を決定する際の有力な支援情報となるものと考えている。

6. おわりに

札幌市の北東部に広がる粘土層や泥炭層は、特に後者について言えることであるが、道路・下水道等の都市基盤施設整備において軟弱地盤として認識され、それに対応する工法等が選択されてきている。この点については水道施設も同様で、その地盤の挙動にフレキシブルに対応する継手を採用する等、力学的な側面からの対応も図ってきている。さらに、この外腐食問題はそれに付加されるものである。また、地方公営企業法施行規則の中で、鑄鉄管は固定資産としての耐用年数が40年とされているにもかかわらず、その外腐食は10～20年のオーダーで発生することから、水道経営という観点からみても大きな問題と受けとめている。しかし、土壌腐食は種々の環境因子の複合作用によって発生すると考えられる現象で、水道事業体として、

配水管の維持管理上重要な問題でありながら、その影響評価が極めて扱いにくく、体系的な評価が困難な現象である。また、腐食現象の予測については、観測された腐食要因の存在が必ずしも腐食現象に結びつかない場合があり、これを一層困難なものにしている。

高普及下にある本市にとって、水道施設の適正な維持管理を実現する一環として、配水管に関する各種整備情報に加え、いつ、どこで、どのような事故が起こったかという情報を蓄積し、事故に至るまでの経緯を明らかにし、将来の事故発生に事前に備えることが求められている。外面腐食事故の場所や配水管の経過年数及び埋設環境等に関する腐食情報の蓄積は、蓋然性が高いという留保条件付きながら腐食予測の精度を高める方向にあるという点で、大きな意義を持つものである。また、本市では、水道施設管理業務に対する支援として「管理の質的向上」、「配水管・給水管情報の一元管理」、「業務の効率化・高度化」を図る目的のため、地図情報を中核とする給配水管管理システムを構築することとし、現在導入にあたっての検討及び作業を行ってきている。今後は、腐食情報はもとより、維持管理に必要な各種情報を取捨選択して、総合的な情報管理システム化の構築に反映させていきたいと考えている。

<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45回全国水道研究発表会講演集 1991
2. 沼田 篤男、松本 公寿、藤懸 健、相原 重則 「土壌腐食評価法に関する一考察」 第45回全国水道研究発表会講演集 1991
3. 北海道立寒地建築研究所 「札幌市の地盤資料集（札幌市及び札幌近郊）」 1986