

下水道圧送管路における硫酸腐食箇所の効率的な調査技術

深谷 渉・野田康江・岩崎宏和

1. はじめに

平成27年の下水道法改正により、下水道管路の点検が義務化され、腐食の恐れのある大きな箇所については5年に1回以上点検することとされた。一般的に、腐食の恐れのある大きな箇所は、段差・落差の大きい箇所や圧送管路吐出し先部、伏越し部の上流部・下流吐出し部の気相部等であり、主にコンクリート構造物で生じる現象として知られる。

さらに、ダクタイル鋳鉄管が使用されている圧送管路においても、硫化水素に起因する硫酸腐食による道路陥没や漏水事故が発生している（写真-1）。



写真-1 圧送管路の事故事例

圧送管路は、圧力状態で下水を送水するため、管路が破損すると即座に下水が噴出し、間を置かず道路陥没を引き起こすことから、事故を未然に防止するための予防保全的な調査が極めて重要である。しかしながら圧送管路の構造特性上、一般的な調査機材である自走式TVカメラの使用が困難なため（図-1）、事後対応となることがほとんどであり、圧送管路調査技術の確立が急務であった。そこで本稿では、圧送管路の調査技術の確立を目指し、実証研究を行った内容について述べる。

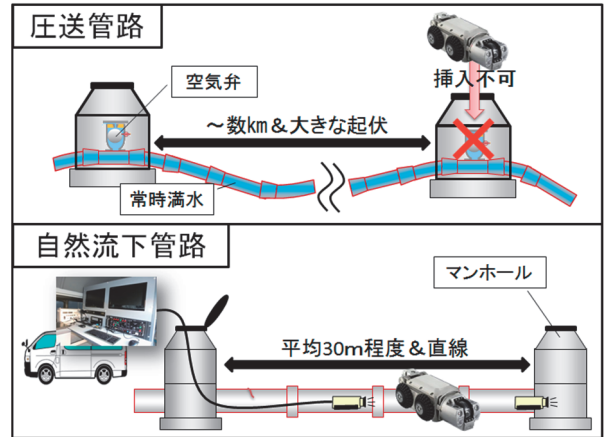


図-1 圧送管路と自然流下管路の構造特性

2. 圧送管路について

2.1 圧送管路とは

圧送管路とは、上流端にあるポンプ設備から下水を圧力輸送するための施設である。自然流下管路より管径が小さく済み、道路の縦断線形（起伏）に合わせたこう配設定が可能であり、長距離圧送も可能である。自然流下管路と異なり、圧送管路の途中にマンホールはなく、管内の負圧防止や空気溜まりの解消のために空気弁が設置される。

2.2 圧送管路の腐食メカニズム

下水道管路における腐食は、主に硫化水素に起因する硫酸腐食である。下水が嫌気状態になると、下水中の硫酸イオンが嫌気性細菌である硫酸塩還元細菌によって還元され、硫化物が生成する。管内で生成された硫化物は、多くの場合、圧送管路吐出し先マンホールや着水井などで空气中に硫化水素として放散され、好気性細菌である硫酸化細菌によって硫化水素から硫酸が生成され、マンホールや圧送管路下流側にある自然流下管路のコンクリート施設の腐食を引き起こす。硫酸腐食の進行スピードは速く、供用後10年をたたずに損傷に至る事例もある。

圧送管路においては、①気相部が存在する、②新鮮な空気の入りがあ、③耐食性に乏しい管材が使用されている、といった条件が重なると、その気相部周辺で硫化水素が放散し、好気性細菌

により生成された硫酸により、圧送管路本体が腐食・破損することがある。

2.3 圧送管路調査技術の現状

一般的な自然流下管路の調査は、マンホールの蓋を開けてマンホール内や管口等を目視や管口カメラで確認する簡易な方法や、自走式カメラ等で管内面を詳細に診断する方法が採用されている。これに対し圧送管路は、調査用機材を入れる箇所が空気弁しかない、常時満流である、1スパンが数kmに及ぶことがある等の特性を有することから、既存の自然流下管路に導入されている管内面を診断する技術での対応が困難である。

管外面からの調査方法として、超音波式管厚測定や打音検査といった検査法もあるが、掘削し管外面を露出させる必要があるため、調査が大がかりで、かつスポット的な調査しかできないといった課題がある。

このような状況を踏まえ、国土交通省では、圧送管路における調査技術の確立を目的とし、平成28年度の下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト¹⁾）として、ダクタイル鋳鉄管で構築された圧送管路を対象とした「下水圧送管路における硫化水素腐食箇所の効率的な調査・診断技術」（²⁾）を採択し、実証研究を実施した。以下に、実証の概要を紹介する。

3. B-DASH圧送管路調査技術の実証

3.1 技術の概要

本技術は、圧送管路の硫酸腐食が起こりうる腐食危険推定箇所を絞り込む（机上スクリーニング）方法と、腐食危険推定箇所の腐食状況を現地で調査診断するため、φ75mmの空気弁の穴部から挿入可能な調査機材を用いて劣化程度を確認する腐食調査診断技術で構成される。図-2に本技術を使用した圧送管路調査のフローを示す。

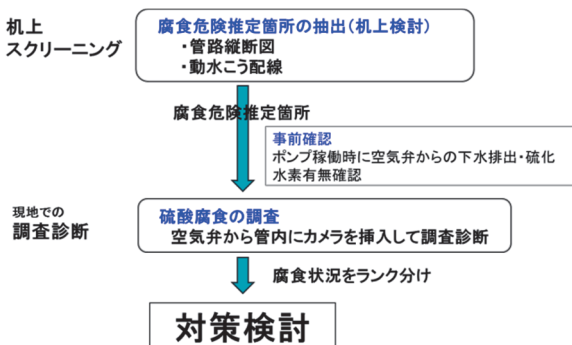


図-2 圧送管路調査フロー

(1)机上スクリーニング

2.2 圧送管路の腐食メカニズムで触れたとおり、圧送管路内が満流であれば、例え下水が嫌気状態であっても硫化水素が気相中に放散されることはなく、硫酸が生成されることもない。一方、空気弁付近等で気相部が存在する箇所では腐食の起こる危険性がある。

本手法は、このような腐食のメカニズムに着目したもので、耐食性の乏しい管材が使用されている任意の圧送区間内で、気相部（空気溜まり）が存在するかどうかの机上検討を行い、気相部が存在していると推定される範囲を腐食危険推定箇所と見なす。

ここで、耐食性が乏しいかどうかの判断は、ダクタイル鋳鉄管の管内面防食方法の仕様で判別する（表-1）。

表-1 ダクタイル鋳鉄管の管内面防食方法と防食性能

直管	異形管	防食性能 ^{※2}
エポキシ樹脂粉体塗装	エポキシ樹脂粉体塗装	○
モルタルライニング	エポキシ樹脂粉体塗装	×
	タールエポキシ樹脂塗装 ^{※1}	×

※1) 1997年に「JSWAS G-1下水道用ダクタイル鋳鉄管」から規格削除
 ※2) 防食性能 ○：耐食性高い、×：耐食性低い

直管の内面防食には、エポキシ樹脂粉体塗装かモルタルライニングが、異形管にはエポキシ樹脂粉体塗装かタールエポキシ樹脂塗装が用いられている。直管に用いられているモルタルライニング及び異形管に用いられているタールエポキシ樹脂塗装は、耐食性が不十分であり、硫酸腐食が起こる環境下では管内面腐食が進行する可能性が高い。一方、直管及び異形管に用いられているエポキシ樹脂粉体塗装は優れた耐食性を有しており、硫酸腐食が起こる環境下でも管内面腐食が進行する可能性が低い。そのため、直管部と異形管部どちらもエポキシ樹脂粉体塗装が使用されている場合、耐食性ありと判断できる。しかし、直管部がモルタルライニング、異形管部がエポキシ樹脂粉体塗装の場合、異形管部は耐食性があるが、直管部は耐食性が低いため、ダクタイル鋳鉄管全体の耐食性は低いという判断となる。

気相部があるかどうかは、管路の位置（高さ）が動水こう配より高いか低いかで判断すればよく、低い位置の管路であれば、ポンプ稼働時には管路は満水であり、動水こう配より高い位置の管路では、非満流（気相部）と判断する。

動水こう配は式(1)を用いて計算する。ポンプ稼働時、動水こう配線より低い箇所では管内は満流、高い箇所では非満流（気相部あり）と判断する。また、吐出し先がマンホールの場合や、管路縦断面図頂上の上流側も、非満流となり空気が供給されるため腐食危険推定箇所と判断する（図-3）。

$$I = 10.666 \times C^{1.85} \times D^{4.87} \times Q^{1.85} \quad \text{式(1)}$$

- I：動水こう配（m/m）
- C：流速計数（安全を考慮して150を使用）
- D：管径（m）
- Q：流量（m³/sec）

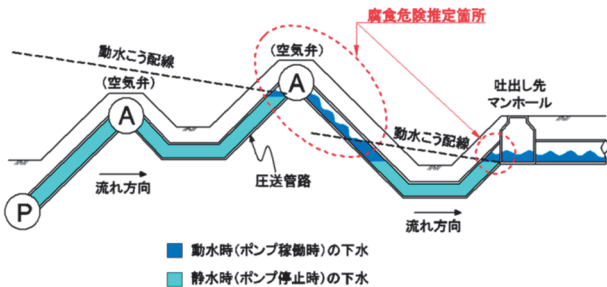


図-3 圧送管路の腐食危険推定箇所

(2)現地での腐食調査診断

机上スクリーニングで腐食危険推定箇所と判断された箇所を対象とし、専用の調査機器（ガイド挿入式カメラ。以下「本調査機器」という。）を用いて調査を行う。

本調査機器は、空気弁室から30m先の圧送管路まで挿入可能な蛇型のガイドの先端に、腐食が生じる水面より上の部分（管頂側）の状況を撮影するための小型カメラ（画角180°）を搭載したものである（図-4）。空気弁の下部にある補修弁から機材を挿入できるようヘッド部のサイズはφ75mm以下となっており、管内面の腐食状況をカメラにより撮影し、腐食の進行度等を診断・評価する。本調査機器の仕様は表-2の通りである。

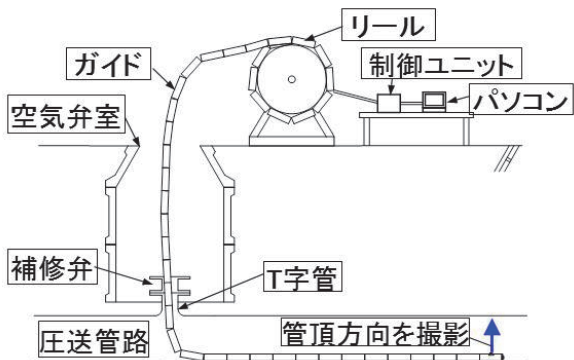


図-4 ガイド挿入式カメラの構成部材

表-2 本調査機器の仕様

部位	項目	仕様
ガイド	寸法（ヘッド部）	58mm×48mm：空気弁φ75から挿入可能
	延長	約30m
	屈曲	22.5°曲管に対応
カメラ	解像度	640×480ドット以上
	防水性能	水深1mクラス
	撮影範囲	前方カメラ：管底側180° 管頂カメラ：管頂側180°
	フォーカス	自動
その他	適用管径	200～1000mm
	全重量	150kg
	照明	LED照明：250lm相当

3.2 実証の概要

B-DASHプロジェクトでは、本技術による絞り込みの妥当性の確認、及び、現地での腐食調査診断における調査機材の操作性・腐食程度の視認性等を過去の事故事例分析や現地フィールドを通じて検証した。

(1)机上スクリーニング検証結果

圧送管路を保有する地方公共団体から過去に腐食事故のあった圧送管路のデータを収集し、事故箇所と本手法による腐食危険推定箇所が一致するかどうかを照合した（表-3）。

全国から収集した9つの圧送管路の事故事例を対象に照合したところ、腐食事故（漏水、道路陥没等）は、本手法により抽出された腐食危険推定箇所と一致した。

表-3 事故事例と腐食危険推定箇所との照合結果



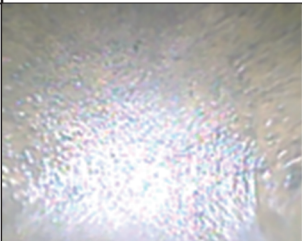
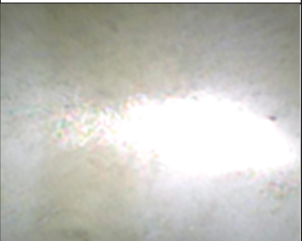
事業体	管径 (mm)	管路長 (m)	事故形態	検討結果
A流域下水道	250	4,410	漏水	事故発生箇所と腐食危険推定箇所が一致
B流域下水道	250	3,670	漏水	
C市	350	4,730*	漏水	
D市	600	970	道路陥没	
	600	2,490	道路陥没	
	450	1,480	道路陥没	
E市	350	約4,080	漏水	
F流域下水道	300	1,990	漏水	
G市	300	約1,400	漏水	

※管路縦断面頂上部から下流側吐出し先までの距離。

(2)現地での腐食調査診断検証結果

本調査診断技術の現地での適用性を確認するため、絞り込み手法で腐食の危険性があると判断した実証フィールド管路（1流域3市5管路）を対象に、調査機材が適切に挿入できるか（写真-2）、カメラにより腐食程度が正確に判断できるか等を確認した。

表-4 管内腐食のランク

ランク	A	B	C	<参考> 球状樹脂粉体塗装
内面 状況				
	鉄部露出 発錆あり	メタルライニング 変色	メタルライニング 健全	健全：ランク A の腐食範囲に あった異形管

備考) 写真は管頂側約180°の範囲を撮影したもの。

この結果、①空気弁（φ75mm）から機器を挿入し、約30mの範囲を1.5時間以内に調査できること、②撮影された画像は鮮明で管内面の腐食の有無を十分判断できること（表-4）等を確認した。また、全ての実証フィールド管路（腐食危険推定箇所）において、実際に管内面腐食が発生していることを確認した。なお、調査の際は、事前の管内清掃は不要である。

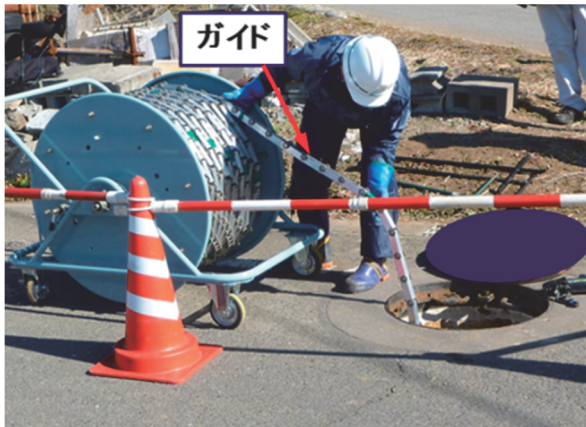


写真-2 視覚調査実施状況

4. まとめ

本研究により、圧送管の腐食危険推定箇所を絞り込む机上スクリーニング手法の妥当性と、本調査機器を使用することで圧送管の調査が可能であることの2点が確認できた。

圧送管路は、技術的な課題により、これまで十分な点検調査ができていなかった。本技術の導入により、事後対応から予防保全への転換が可能となることから、国が進めるストックマネジメントの導入促進にも寄与することが期待される。

このため、本技術の全国的な普及展開を図る取り組みが重要である。今後は、ストックマネジメント業務や下水道管路管理業務を受託するコンサルタントや維持管理企業に範囲を広げ、さらなる普及展開を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000450.html
- 2) 国総研下水道研究部下水道研究室、下水道圧送管路における硫酸腐食箇所の効率的な調査技術導入ガイドライン（案）、国総研資料第1012号、2018.2

深谷 渉



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室主任研究官、現 管清工業株
Wataru FUKATANI

野田康江



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室交流研究員
Yasue NODA

岩崎宏和



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室長
Hirokazu IWASAKI