

ISSN 1346-7328  
国総研資料 第1012号  
平成30年2月

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 1012

February 2018

B-DASH プロジェクト No.20

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)

下水道研究部下水道研究室

B-DASH Project No.20

Guideline for Introducing an Efficient Survey Technology for Force Main Damaged by Sulfuric Acid Corrosion

Wastewater System Division

Water Quality Control Department

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan



B-DASHプロジェクト No.20

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)

下水道研究部下水道研究室

B-DASH Project No.20

Guideline for Introducing an Efficient Survey Technology for Force Mains Damaged by Sulfuric Acid Corrosion

Wastewater system Division

Water Quality Control Department

概要

近年、内面モルタルライニングのダクタイル鋳鉄管が使用されている圧送管路で、たびたび硫化水素に起因する硫酸腐食による漏水や道路陥没の事故が報告されている。圧送管路は、自然流下管きよと異なり圧力状態で下水が流下することから、管の破損時期と間を置かず下水が噴出し、溢水や道路陥没事故等の大事故に繋がると考えられ、事故を未然に防ぐための予防保全的な調査が極めて重要である。

本ガイドラインは、下水道管路施設のうち圧送管路を効率的に維持管理することを目的として、下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)で採択された「下水道圧送管路における硫化水素腐食箇所の効率的な調査・診断技術に関する研究(実証研究期間 平成28年10月～平成29年3月)」について、実証研究の成果を踏まえて、技術性能及び技術導入の手順を明示し、技術の普及促進を図るために策定したものである。

キーワード : 圧送管路、硫酸腐食、ダクタイル鋳鉄管、調査技術

Synopsis

In recent years, serious accidents have occurred frequently in force mains of ductile iron pipes with mortar lining due to sulfuric acid corrosion caused by hydrogen sulfide. In the case of force mains, it is considered that pipeline damages directly lead to large-scale water leakage or road collapsing resulting from internal water pressure. Therefore preventive survey is extremely valuable for eliminating the risk of accidents.

This guideline is based on the results of an empirical study titled “Study of Survey and Diagnostic Technology for Force Mains Damaged by Hydrogen Sulfide Corrosion; between October 2016 - March 2017” which was adopted by “Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project” or “B-Dash Project”. The guideline is developed for specifying the performance and introduction procedure of the survey technology, as well as promoting the wide spread of the survey technology, with the aim of the proper operation and maintenance of force mains.

Key Words : Force main, Sulfuric acid corrosion, Ductile iron pipe, Survey technology

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

電話 : 029-864-3343 Fax : 029-864-2817 E-mail : nil-gesuidou@mlit.go.jp

## 執筆担当者一覧

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 室長 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 主任研究官 深谷 渉

## まえがき

平成 27 年、老朽化の進む下水道管路施設の増加や年間約 3300 件発生している下水道管路施設起因の道路陥没等の状況を踏まえ下水道法が改正された。この改正により、維持修繕基準が創設され、全ての管路施設について適切な時期に清掃や点検等を行い、異常を把握した際には必要な措置を講ずることとされた。今後、地方公共団体における管路施設の維持管理は、法改正とともに事後対応から予防保全への転換が求められ、限られた経営資源で効率的に施設管理を実施し下水道事業を持続させる一手法であるストックマネジメントの導入促進が極めて重要となる。

ストックマネジメントについては、「下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015 年版」や「下水道管路施設ストックマネジメントの手引き（旧下水道管路施設腐食対策の手引き（案））-2016 年版-」が発刊されているが、圧送管路は、調査が困難な現状に配慮し、具体的な調査方法が示されておらず、時間計画保全で対応するものとされている。しかしながら近年、内面モルタルライニングのダクトイル鋳鉄管が使用されている圧送管路で、たびたび硫化水素に起因する硫酸腐食による漏水や道路陥没の事故が報告されていることから、圧送管路の維持管理においても、予防保全を見据え、積極的にストックマネジメントの導入を図ることが望ましい。

国土交通省では、これらの現状等を踏まえ、圧送管における点検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）として、ダクトイル鋳鉄管（内面モルタルライニング管）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」（株クボタ）を採択し、実証研究を実施した。

本ガイドラインに示す技術は、国土技術政策総合研究所委託研究「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・診断技術に関する研究 受託者：(株)クボタ 実証期間：平成 28 年度」において実施した成果を踏まえ、下水道事業者等が革新的技術の導入を検討する際に参考にできる資料として策定したものであり、これらの優れた技術が全国に普及されることを強く願うものである。

技術選定から現地での調査による実証を踏まえたガイドラインの策定までを 2 年間という短期間でまとめるにあたり、大変なご尽力をいただいた評価委員会及び検討会の委員各位をはじめ、実証研究に精力的に取り組まれた研究体等の全ての関係者に深く感謝申し上げます。

平成 30 年 2 月 下水道研究部長 井上茂治



# 目 次

## 第1章 総 則

第1節 目的	1
1.1.1 目的	1
第2節 ガイドラインの位置付けと適用範囲	3
1.2.1 ガイドラインの位置付けと適用範囲	3
第3節 ガイドラインの構成	4
1.3.1 ガイドラインの構成	4
第4節 用語の定義	7
1.4.1 用語の定義	7

## 第2章 技術の概要

第1節 技術導入の背景	10
2.1.1 圧送管路の硫酸腐食及び調査の現状	10
2.1.2 圧送管路の硫酸腐食のメカニズム	11
第2節 技術の概要	12
2.2.1 技術導入の目的と概要	12
2.2.2 腐食危険推定箇所への抽出（机上スクリーニング）	14
2.2.3 硫酸腐食の調査	17
第3節 技術の評価結果	19
2.3.1 腐食危険推定箇所への抽出手法の評価項目	19
2.3.2 実証研究に基づく腐食危険推定箇所への抽出手法の評価結果	20
2.3.3 硫酸腐食の調査技術の評価項目	25
2.3.4 実証研究に基づく硫酸腐食の調査技術の評価結果	27

## 第3章 導入検討

第1節 導入時の確認事項	35
3.1.1 導入時の確認事項	35
第2節 技術の導入効果	36
3.2.1 技術の導入効果	36

## 第4章 腐食危険推定箇所の抽出（机上スクリーニング）

第1節 机上スクリーニングの手順	42
4.1.1 机上スクリーニングの手順	42
第2節 机上スクリーニング	43
4.2.1 管路情報の収集・整理	43
4.2.2 管内面防食方法による抽出	45
4.2.3 腐食危険推定箇所の抽出	46

## 第5章 硫酸腐食の調査手法

第1節 硫酸腐食の調査手順	51
5.1.1 硫酸腐食の調査手順	51
第2節 現地踏査	52
5.2.1 現地踏査	52
第3節 事前確認	53
5.3.1 事前確認	53
第4節 視覚調査	58
5.4.1 視覚調査の概要	58
5.4.2 視覚調査の適用条件	59
5.4.3 調査機器	61
5.4.4 視覚調査の手順と留意事項	65



第5節 診断・評価	68
5.5.1 診断・評価方法	68
第6節 代替手法	71
5.6.1 デジタルカメラを用いた調査	71
第7節 安全衛生管理	74
5.7.1 安全衛生管理	74
参考文献	77

## 参 考 資 料 編

参考資料編Ⅰ 机上スクリーニングの妥当性の検討事例	I-1
参考資料編Ⅱ 硫酸腐食の調査の実施事例	II-1
参考資料編Ⅲ デジタルカメラを用いた調査の実施事例	III-1
参考資料編Ⅳ エポキシ樹脂粉体塗装の耐食性評価	IV-1
参考資料編Ⅴ 劣化度ランク分けの根拠	V-1
参考資料編Ⅵ 調査コスト試算事例	VI-1
参考資料編Ⅶ 圧送管路の点検	VII-1
参考資料編Ⅷ 圧送管路におけるストックマネジメントの実施手法	VIII-1
参考資料編Ⅸ 問い合わせ先	IX-1



# 第 1 章 総則

## 第 1 節 目的

### 1.1.1 目的

本ガイドラインは、下水道管路施設のうち圧送管路を効率的に維持管理することを目的として、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）で採択された「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・診断技術に関する研究（実証研究期間 平成 28 年 10 月～平成 29 年 3 月）」（以下、「本技術」とする。）について、実証研究の成果を踏まえて、技術性能及び技術導入の手順を明示し、技術の普及促進を図るために策定したものである。

#### 【解 説】

下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）は、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業における大幅なコスト縮減や再生可能エネルギー創出を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、平成 23 年度より、国土交通省が実施しているものである。

B-DASH プロジェクト全体の概要は、図 1-1 に示す通りである。各実証事業においては、国土技術政策総合研究所からの委託研究として、実証研究を実施している。

これまで、水処理技術、バイオガス回収・精製・発電技術、下水汚泥固形燃料化技術、下水熱利用技術、栄養塩（窒素）除去技術、管きょマネジメントシステム技術、下水汚泥から水素を創出する創エネ技術、省エネ型水処理技術、ICT を活用した水処理管理・都市浸水対策機能向上技術、浸水予測技術等、幅広い技術分野における実証を終え、普及展開に向けたガイドラインの作成を行ってきたところである。また、平成 29 年度においても、地方公共団体のニーズが高い技術分野を中心に、継続的に実証研究を進めているところである。

本技術は、平成 28 年度に実施された「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・診断技術に関する研究」の実証研究であり、実証研究のとりまとめにあたっては、専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取したうえで、学識経験者で構成される「下水道革新的技術実証事業評価委員会」（以下、評価委員会とする。）の評価を受け（<http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/b-dash.html>）、十分な成果が得られたと評価された。本ガイドラインは、今まで有効な技術が確立しておらず調査がほとんど行われていなかった圧送管路を対象に、具体的な調査手法を提言しており、評価委員会で評価された本技術の実証研究の成果を踏まえ、本技術の導入の促進に資することを目的として、国土技術政策総合研究所において策定するものである。このため、本ガイドラインでは、地方公共団体等の下水道事業者が本技術の導入を検討する際に参考にできるよう、技術性能及び技術導入の手順を明示し、技術の普及展開を図るための事項についてとりまとめている。なお、本ガイドラインについては、実証研究の成果と同様に、専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取のうえ、評価委員会の了承を頂いているものである。

# 下水道革新的技術実証事業 (B-DASHプロジェクト\*) の実証テーマ

\*Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

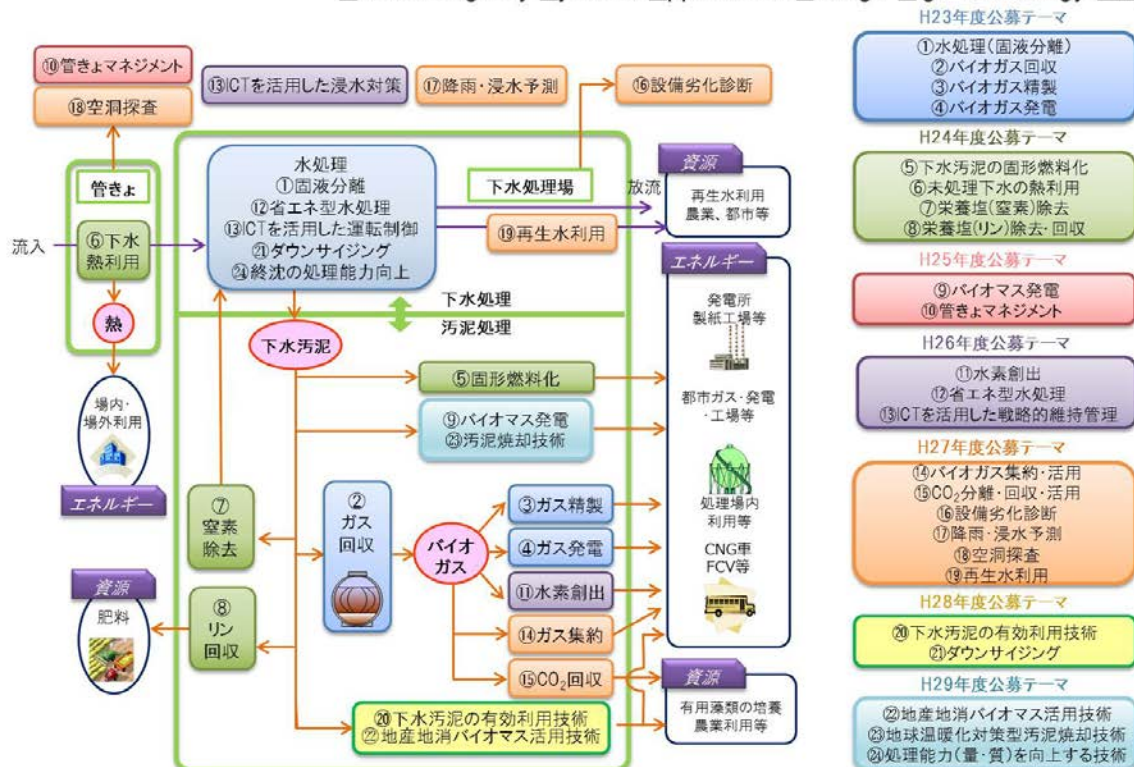


図 1-1 下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト) の概要 (全体)

## 第2節 ガイドラインの位置付けと適用範囲

### 1.2.1 ガイドラインの位置付けと適用範囲

限られた経営資源で効率的に施設管理を実施し下水道事業を持続させる一手法として、ストックマネジメントの導入が進んでいる。本ガイドラインは、圧送管路の維持管理の一助とすべく、ストックマネジメントの導入を踏まえた具体的な調査方法等についてとりまとめたものである。また、本ガイドラインは、ダクタイル鋳鉄管が用いられている圧送管路の管内面腐食による劣化を対象とした維持管理に適用するものとする。

#### 【解 説】

平成27年、老朽化の進む下水道管路施設の増加や年間約3,300件発生している下水道管路施設起因の道路陥没等の状況を踏まえ下水道法が改正された。この改正により、維持修繕基準が創設され、全ての管路施設について適切な時期に清掃や点検等を行い、異状を把握した際には必要な措置を講ずることとされた。今後、地方公共団体における管路施設の維持管理は、法改正とともに事後対応から予防保全への転換が求められ、限られた経営資源で効率的に施設管理を実施し下水道事業を持続させる一手法であるストックマネジメントの導入促進が極めて重要となる。

ストックマネジメントについては、「下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015年版<sup>-1)</sup>」や「下水道管路施設ストックマネジメントの手引き（旧下水道管路施設腐食対策の手引き（案）-2016年版<sup>-2)</sup>」が発刊されているが、圧送管路については、技術的に調査が困難であるという現状に配慮し、具体的な調査方法が示されておらず、時間計画保全で対応するものとされている。しかしながら近年、内面モルタルライニングのダクタイル鋳鉄管が使用されている圧送管路で、たびたび硫化水素に起因する硫酸腐食による漏水や道路陥没の事故が報告されていることから、圧送管路の維持管理においても、予防保全を見据え、積極的にストックマネジメントの導入を図ることが望ましい。

本ガイドラインでは、ストックマネジメントを踏まえた圧送管路の維持管理の一助となるよう、具体的な調査方法を含めた維持管理方法を示した。

また、本ガイドラインは、圧送管路に多く採用されるダクタイル鋳鉄管における管内面腐食による劣化を対象とした維持管理への導入を想定しており、本技術の全体を導入する場合、もしくは、一部要素技術のみを導入する場合のどちらにも適用される。

## 第3節 ガイドラインの構成

### 1.3.1 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、総則、技術の概要、導入検討、腐食危険推定箇所の抽出（机上スクリーニング）、硫酸腐食の調査手法及び参考資料編から構成される。

#### 【解 説】

本ガイドラインは、図 1-2 に示す構成から成る。また、本ガイドラインの本編と参考資料編との関係については図 1-3 に示す。

各章の内容は、以下の通りとする。

#### (1) 第1章 総則

目的、ガイドラインの位置付けと適用範囲、ガイドラインの構成、用語の定義について記述する。

#### (2) 第2章 技術の概要

技術導入の背景、技術導入の目的と概要、本技術を構成する各要素技術の概要、技術の評価結果について示す。

#### (3) 第3章 導入検討

本技術を導入する際に検討・確認すべき事項を示す。

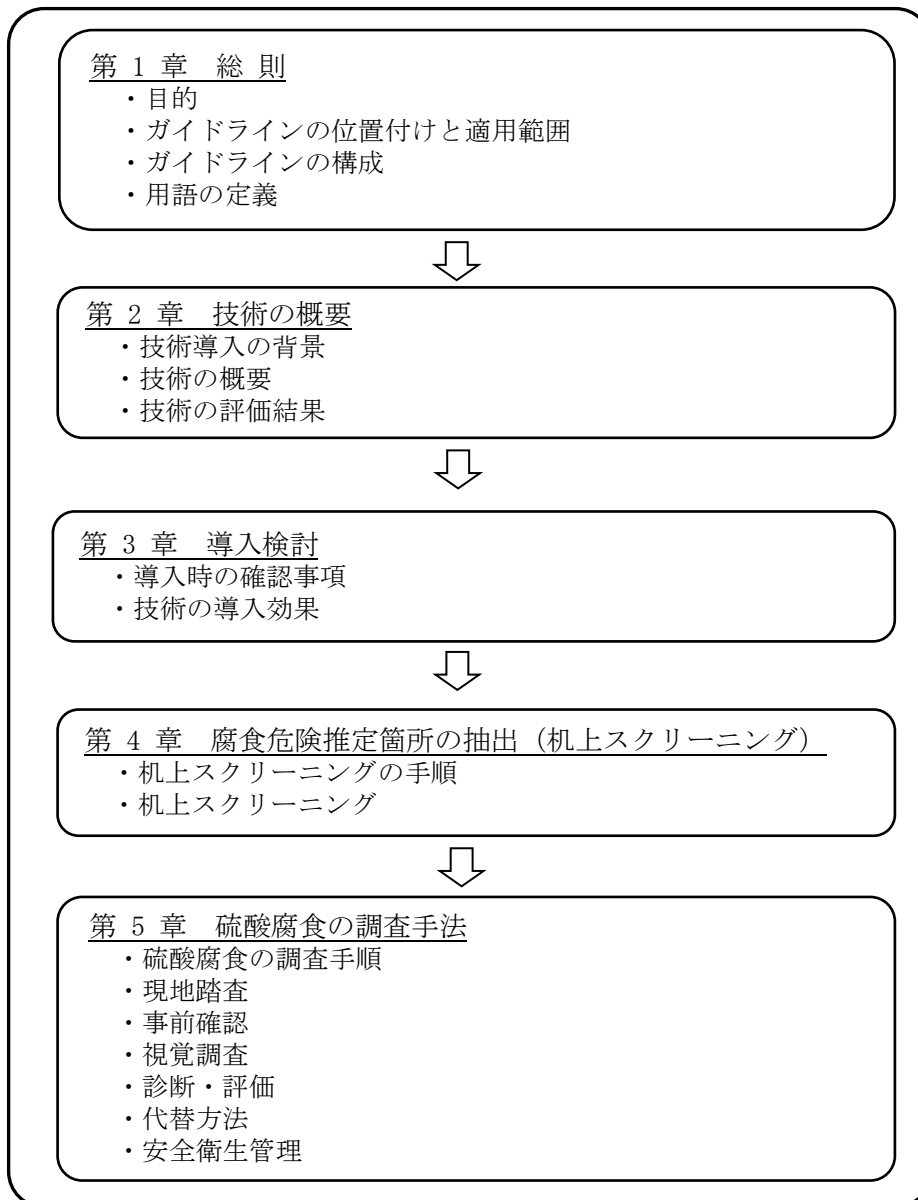
#### (4) 第4章 腐食危険推定箇所の抽出（机上スクリーニング）

圧送管路の腐食危険推定箇所を抽出する机上スクリーニングの手順と方法を具体的に示す。

#### (5) 第5章 硫酸腐食の調査手法

圧送管路の管内面の視覚調査を行い、硫酸腐食による劣化度を診断・評価する方法を具体的に示す。

上記の他、参考資料編として、机上スクリーニングの妥当性の検討事例、硫酸腐食の調査の実施事例、デジタルカメラを用いた調査の実施事例、エポキシ樹脂粉体塗装の耐食性評価、劣化度ランク分けの根拠、調査コスト試算事例、圧送管路の点検、圧送管路におけるストックマネジメントの実施手法、問い合わせ先等に関する資料を示す。



参考資料編	
I. 机上スクリーニングの妥当性の検討事例	II. 硫酸腐食の調査の実施事例
III. デジタルカメラを用いた調査の実施事例	IV. エポキシ樹脂粉体塗装の耐食性評価
V. 劣化度ランク分けの根拠	VI. 調査コスト試算事例
VII. 圧送管路の点検	VIII. 圧送管路におけるストックマネジメントの実施手法
IX. 問い合わせ先	

図 1-2 ガイドラインの構成

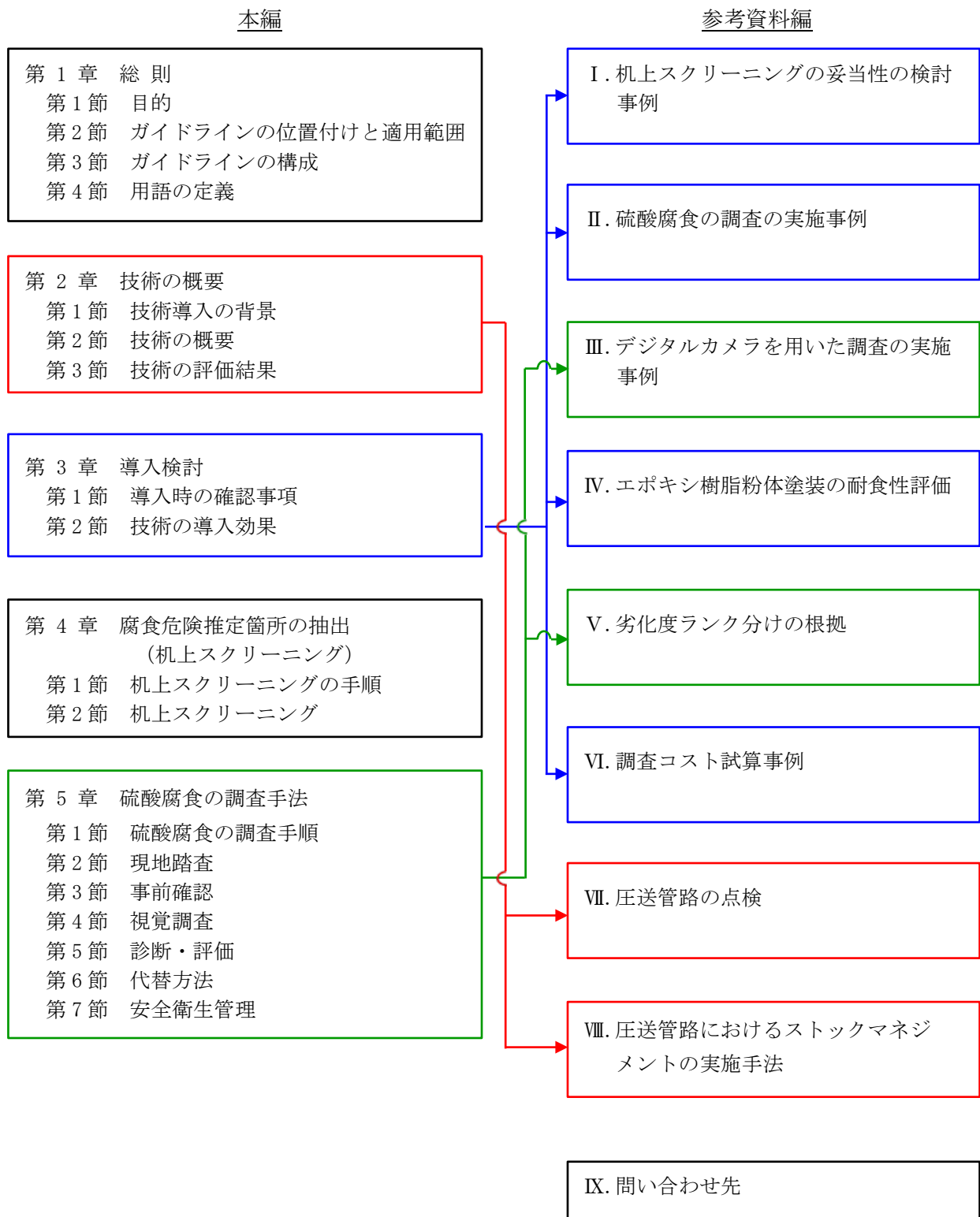


図 1-3 ガイドラインの本編と参考資料編との関係



## 第4節 用語の定義

### 1.4.1 用語の定義

本ガイドラインで取り扱う用語は、以下の通り定義する。なお、下水道の基本的な用語については、「下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版<sup>3)</sup>」、「下水道維持管理指針 2014年版<sup>4)</sup>」、「下水道用語集 2000年版<sup>5)</sup>」、「下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015年版<sup>-1)</sup>」、「下水道管路施設ストックマネジメントの手引き（旧下水道管路施設腐食対策の手引き（案））-2016年版<sup>-2)</sup>」に準拠する。

#### (1) 要素技術

下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）で採択された「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・診断技術に関する研究」を構成する、腐食危険推定箇所の抽出（机上スクリーニング）と硫酸腐食の調査手法を指す。

#### (2) 硫酸腐食

硫化水素から生成された硫酸によって引き起こされる、コンクリートや金属の材料の腐食を指す。

#### (3) 机上スクリーニング

圧送管路の腐食危険推定箇所を机上検討により絞り込むことを目的とした、管路情報の収集、管内面防食方法による抽出及び腐食危険推定箇所の抽出の一連の作業を指す。

#### (4) 硫酸腐食の調査手法

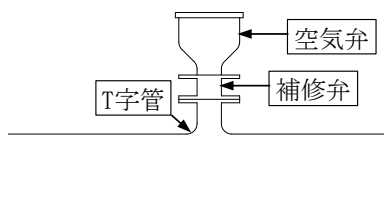
実際に布設された圧送管路の硫酸腐食の状況を直接診断するために行う、現地踏査、事前確認、視覚調査及び診断・評価の一連の作業を指す。

#### (5) 空気弁

空気弁は、圧送管路内空気の排除機能と管内が負圧になった時の吸気機能を併せ持つ、圧送管路の付属設備である。通常、空気の溜まりやすい管路縦断的に高い位置に設置されている。圧送管路では、口径 75mm の下水用空気弁が用いられることが多い。

#### (6) 補修弁

空気弁の下部には補修弁が設置されており、空気弁の保守・点検時には補修弁を閉じることで下水を止水する。



(7) モルタルライニング

JSWAS G-1 -2016 下水道用ダクティル鑄鉄管の附属書 3 下水道用ダクティル鑄鉄管モルタルライニングで規定された、管内面に施すモルタルライニングを示し、ダクティル鑄鉄管の直管の内面防食方法の一つである。

(8) エポキシ樹脂粉体塗装

JSWAS G-1 -2016 下水道用ダクティル鑄鉄管の附属書 2 下水道用ダクティル鑄鉄管内面塗装で規定された、ダクティル鑄鉄管の直管及び異形管に施す、熱硬化性のエポキシ樹脂粉体塗料を用いた塗装を指す。

(9) タールエポキシ樹脂塗装

JSWAS G-1 -1984 下水道用ダクティル鑄鉄管の附属書 3 下水道用ダクティル鑄鉄管内面タールエポキシ樹脂塗装で規定されていた、ダクティル鑄鉄管の異形管に施す、タールエポキシ樹脂塗料を用いた塗装を示す。主に異形管の塗装に用いられているが、1997年にJSWAS G-1から削除された（製造中止）。

(10) 直管

両端に受口・挿し口を持つ遠心力鑄造した真っ直ぐの管。

(11) 異形管

直管以外の管で、管路の変位、方向を変える等の目的で用いられる。曲管や空気弁を設置するためのフランジ付き T 字管等が相当する。

(12) 間欠運転

稼働・停止を繰り返すポンプ運転方法を指す。ポンプます内の下水がポンプ始動水位 (H. W. L) になるとポンプが稼働し、ポンプ停止水位 (L. W. L) になるとポンプが停止するように設定されており、圧送管路の場合は間欠運転で運用されていることが多い。

(13) 腐食危険推定箇所

机上スクリーニングで硫酸腐食の危険性が高いと判断された箇所を指す。

(14) 視覚調査

視覚調査は、一般的には、自然流下管の破損、クラック、継手ズレ、腐食等の劣化度や流下能力に影響を与える上下方向のたるみ、取付管の突出し、油脂の付着、樹木根侵入、モルタル付着、地下水の浸入並びに土砂の堆積状況等の性状を潜行目視及びテレビカメラにより視認し、本管の状態を把握する行為を指す。本ガイドラインにおいては、圧送管路の硫酸腐食を対象としていることから、圧送管路内面の腐食状況をビデオカメラにより視認する行為を指すものとする。

(15) 診断・評価

視覚調査結果をもとに、圧送管路の硫酸腐食による劣化度をランク分けし（診断）、修繕・改築等の判断（評価）を行う。

(16) 劣化度

管内面の硫酸腐食による劣化状況を示す指標であり、修繕・改築等の判断を行うためのもの。

(17) Wi-Fi

パソコンやテレビ、スマートフォン、タブレットのネットワーク接続に対応した機器を、無線（ワイヤレス）でLAN（Local Area Network）に接続する技術のこと。

## 第2章 技術の概要

### 第1節 技術導入の背景

#### 2.1.1 圧送管路の硫酸腐食及び調査の現状

近年、内面モルタルライニングのダクタイル鋳鉄管が使用されている圧送管路で、たびたび硫化水素に起因する硫酸腐食による漏水や道路陥没の事故が報告されている。圧送管路は、自然流下管きよと異なり圧力状態で下水が流下することから、管の破損時期と間を置かず下水が噴出し、溢水や道路陥没事故等の大事故に繋がると考えられ、事故を未然に防ぐための予防保全的な調査が極めて重要である。

#### 【解説】

平成27年度末現在、全国の下水道管路ストックは約47万km、腐食の恐れのある箇所は10万箇所以上あるとされている。現在、標準耐用年数50年を経過した老朽管は約1.3万kmであるが、下水道整備が盛んに行われた高度経済成長期以降の施設が老朽管予備軍として控えており、今後急激に老朽管が増加することが見込まれている。平成27年には、老朽管の増加や年間約3,300件発生している下水道管路施設起因の道路陥没等の状況を踏まえ下水道法が改正された。この改正により、維持修繕基準が創設され、全ての管路施設について適切な時期に清掃や点検等を行い、異状を把握した際には必要な措置を講ずることとされた。とりわけ管路施設の腐食の恐れのある大きい箇所については、5年に1回以上の点検義務が付されたところである。

こうした中、圧送管路においても、内面モルタルライニングのダクタイル鋳鉄管が使用されている管路で、たびたび硫化水素に起因する硫酸腐食による漏水や道路陥没の事故が報告されている（写真2-1参照）。しかしながら圧送管路は、調査に使用する機材を入れるための開口部が存在しない、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、既存の自然流下管きよに導入されている調査技術での対応が困難であり、今までは調査はほとんど行われてこなかった。

圧送管路の場合、管の破損時期と間を置かず汚水溢水や道路陥没事故に直結すると考えられることから、事故を未然に防ぐためにも予防保全的な調査が極めて重要である。



写真2-1 圧送管路の事故事例

## 2.1.2 圧送管路の硫酸腐食のメカニズム

圧送管路の硫酸腐食は、腐食環境下にある自然流下の下水道施設と同様に、以下に示す4段階のメカニズムで進行する。ただし、圧送管路でこのような現象が進行するのは、管内に気相部が存在する限定された箇所である。

- (1) 下水中での硫化物生成
- (2) 硫化水素の気相部への放散
- (3) 硫酸の生成と濃縮
- (4) モルタルライニング及び鉄部の腐食

### 【解説】

圧送管路は、上流端にあるポンプ設備から下水を圧力輸送するため、自然流下管きょ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る。途中からの下水流入がなければ、長距離圧送も可能であり、起伏の激しい地形や家屋が点在する地区では、安価に下水道管路施設を整備することができる。自然流下管きょと異なり、圧送管路の途中にはマンホールはなく、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けられている。

圧送管路では下水が嫌気的な状態になりやすく、特にポンプの間欠運転時には管内での滞留時間が長くなり、嫌気化が進行する。下水が嫌気状態になると、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。圧送管路内で生成した硫化物は、多くの場合は圧送管路吐出し先のマンホールや着水槽等で空気中に硫化水素として放散され、好気性細菌である硫黄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以降の自然流下管きょのコンクリート施設の腐食を引き起こす。しかしながら圧送管路内に気相部が存在し、新鮮な空気の出入りがある、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、その酸化で生成された硫酸により圧送管本体が腐食・破損して最終的に漏水や道路陥没に至ることがある。

圧送管路の硫酸腐食の概念図を図2-1に示す。

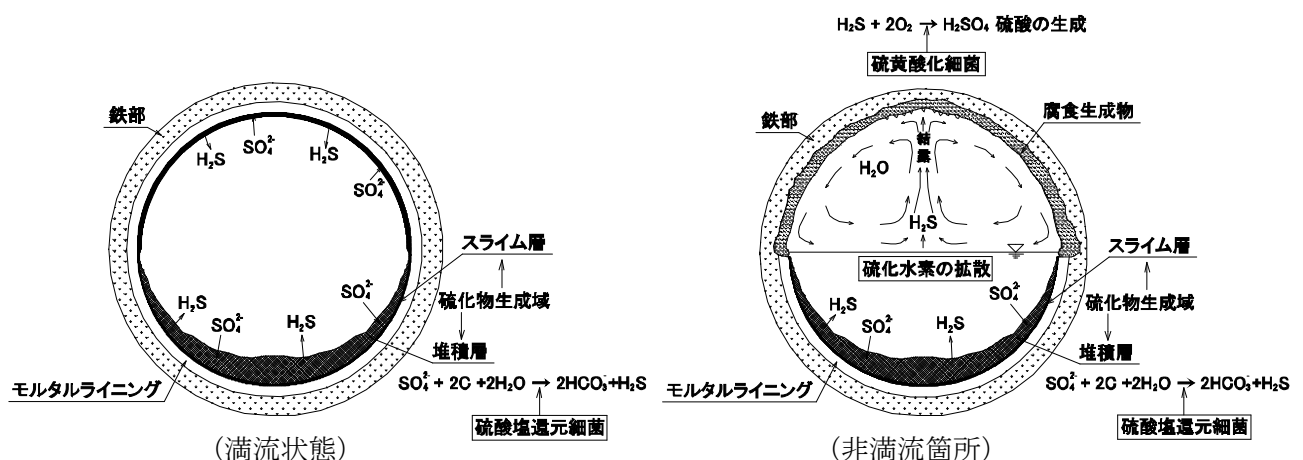


図2-1 圧送管路の硫酸腐食の概念図<sup>6)</sup>

## 第2節 技術の概要

### 2.2.1 技術導入の目的と概要

調査のための開口部（マンホール）が存在しない区間及び常時下水が満たされた区間が長距離に及ぶ圧送管路（ダクタイル鋳鉄管）全線を調査することは難しいことから、腐食の危険性が高い箇所を優先的かつ確実に調査することで事故リスクの低減を図ることを目的とし、本技術の導入を図るものとする。

本技術は、圧送管路で硫酸腐食が発生するのは、圧送管路内に気相部が存在し、新鮮な空気の入りがある、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限定された場合であるというメカニズムを踏まえ、硫酸腐食の危険推定箇所を効率的に抽出し、抽出された箇所に対して、空気弁を利用して硫酸腐食の有無を視覚調査し、劣化度を診断・評価するものであり、下記の技術で構成される。

- (1) 腐食危険推定箇所の抽出（机上スクリーニング）
- (2) 硫酸腐食の調査

#### 【解説】

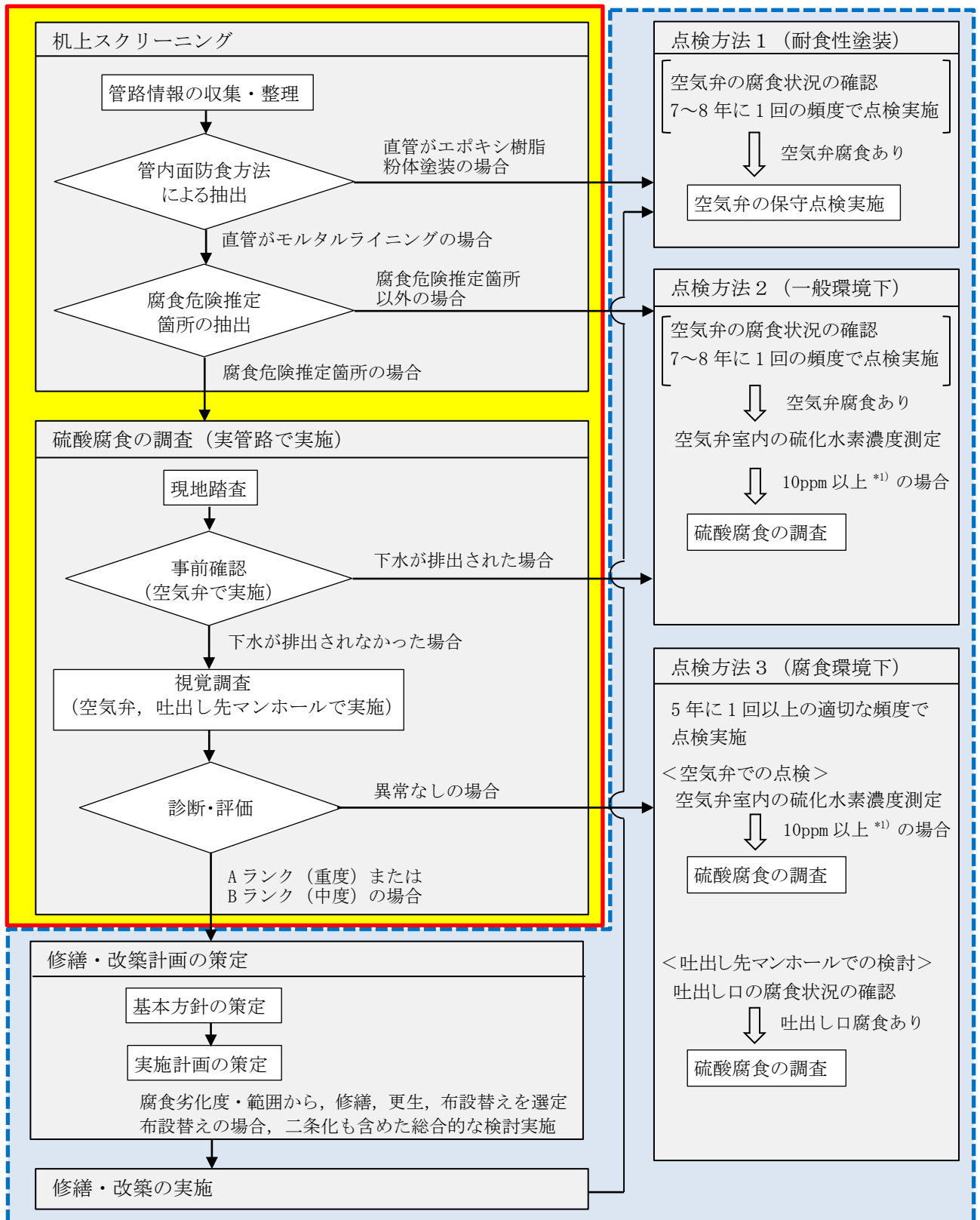
圧送管路はポンプで加圧して下水を送水するため、一たび事故が発生すると、多量の汚水溢水や大規模な道路陥没等の重大な事故につながる可能性がある。しかしながら圧送管路は、既存の自然流下管きょに導入されている調査技術での対応が困難であり、施設を管理する地方公共団体の限られた予算・体制等では、全線をくまなく調査することが難しいのが現状である。

一方、圧送管路で硫酸腐食が発生するのは、圧送管路内に気相部が存在し、新鮮な空気の入りがある、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限定された場合であり、このような条件下では急速に腐食が進行し、供用開始から10年程度で道路陥没に至る事例も報告されている。

本技術は、腐食危険推定箇所の抽出（机上スクリーニング）と硫酸腐食の調査の2つの要素技術で構成され、圧送管路特有の構造特性及び腐食メカニズム等を踏まえ、硫酸腐食の危険推定箇所を効率的に抽出し、抽出された箇所に対して、空気弁を利用して硫酸腐食の有無を視覚調査し、劣化度を診断・評価するものである。

本技術の導入は、地方公共団体の維持管理執行体制等の状況を踏まえ、腐食の危険性が高い箇所を優先的かつ確実に調査することを目的として実施するもので、これにより重大事故回避（事故リスクの低減）及び維持管理の効率化を図ろうとするものである。

本技術を活用した圧送管路の維持管理の全体フローを図2-2に示す。なお、各技術の詳細については、次節以降に述べる。



  : 本技術の対象範囲, 
   : 参考扱い

\*1) 1週間連続測定の平均値

備考) 点検については参考資料編Ⅶを, ストックマネジメントのフローについては参考資料編Ⅷを参照。

図 2-2 圧送管路の維持管理の全体フロー

## 2.2.2 腐食危険推定箇所の抽出（机上スクリーニング）

机上スクリーニングは、腐食のメカニズムを踏まえ、圧送区間の中において腐食の発生が危惧される箇所を抽出するために行う。圧送管路で硫酸腐食が発生するのは、特定の条件下に限定されることから、机上検討により管内面防食方法による抽出と腐食危険推定箇所の抽出を行い、多くの管路ストックの中から硫酸腐食の可能性のある腐食危険推定箇所を効率的に絞り込む。

### 【解説】

管路施設の調査は、全線にわたる調査が基本であるが、膨大な管路ストックとかかる費用、管理者の体制等を勘案し、劣化の進んでいる路線を抽出して優先的に調査を行うスクリーニングの導入が提唱されている。圧送管路においては、圧送特有の構造や腐食メカニズムにより、全線の調査が困難で、腐食の恐れのある箇所も限定的であることから、机上スクリーニングを導入することが維持管理の効率性を高め、維持管理費を大幅に削減する上でも有効である。机上スクリーニングの手順を図2-3に示す。

なお、机上スクリーニングの詳細内容については、第4章 腐食危険推定箇所の抽出（机上スクリーニング）に記載する。

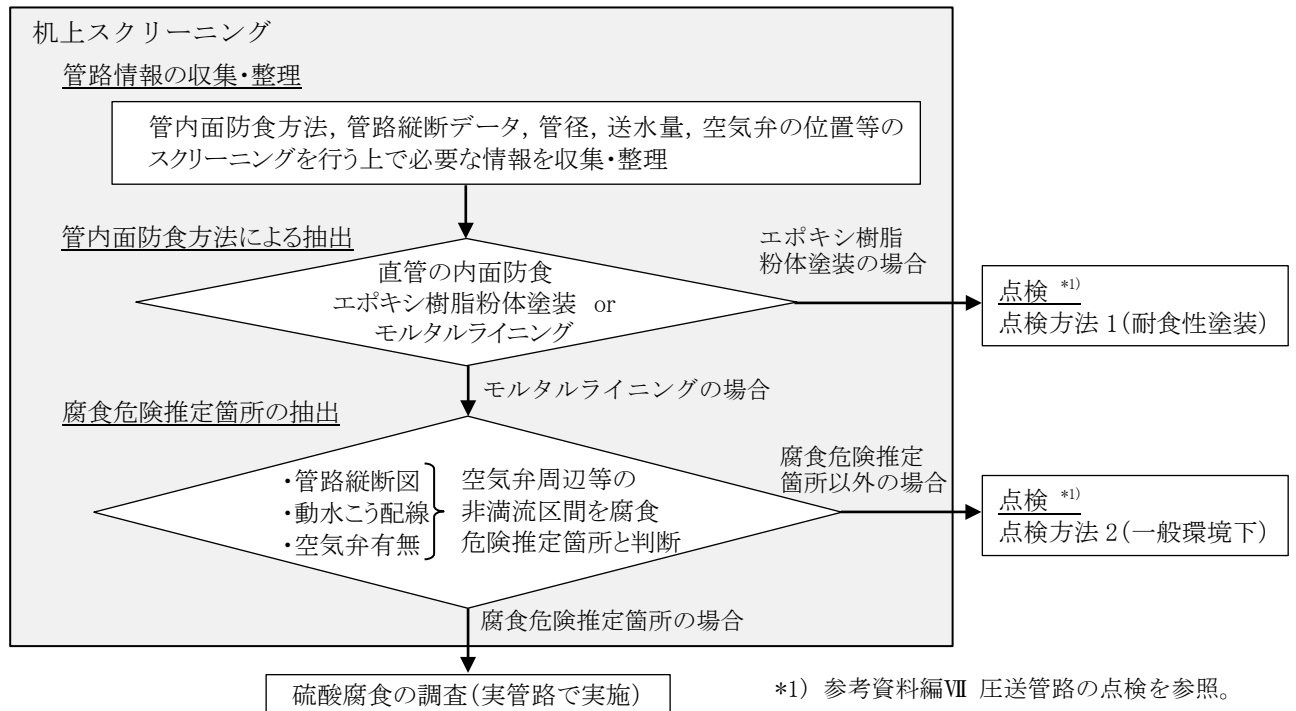


図2-3 机上スクリーニングの手順



## (1) 管内面防食方法による抽出

ダクタイル鋳鉄管の硫酸腐食に対する耐食性は、管内面防食方法に大きく依存する（表 2-1 参照）。そこで、対象となる圧送管路の管内面防食方法を確認することで、硫酸腐食の可能性がある管路を効率的に抽出できる。

管内面防食に用いられているモルタルライニング及びタールエポキシ樹脂塗装は、耐食性が不十分なため、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。本ガイドラインでは、タールエポキシ樹脂塗装とモルタルライニングは同等のものとして扱うこととする。一方、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と判断できる。

なお、直管がエポキシ樹脂粉体塗装の管路では、異形管も含めてエポキシ樹脂粉体塗装が使用されているため、直管の内面防食方法を確認することで硫酸腐食の可能性の有無を判断できる。

表 2-1 ダクタイル鋳鉄管の管内面防食方法

直管	異形管	防食性能 <sup>*3)</sup>
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 <sup>*1)</sup>	エポキシ樹脂粉体塗装	× <sup>*4)</sup>
	タールエポキシ樹脂塗装 <sup>*2)</sup>	×

\*1) モルタルライニングの表面には、モルタルライニングの耐久性向上を目的としてアクリル系重合物のシールコートが塗布されている。またシールコートは、1989年頃から材料の一部がライニング表面に浸透するタイプに変更され現在に至っているが、耐食性は従前と同程度である。

\*2) 1997年にJSWAS G-1 下水道用ダクタイル鋳鉄管から削除。

\*3) ○: 硫酸腐食に対して優れた耐食性を有する。

×: 硫酸腐食に対して耐食性が不十分。

\*4) 異形管の耐食性は十分であるが、直管の耐食性が不十分なため、管路全体としては×となる。

## (2) 腐食危険推定箇所抽出

2.1.2 圧送管路の硫酸腐食のメカニズムで示したように、圧送管路で硫酸腐食が起こるのは、管内に気相部が存在し、新鮮な空気の出入りがある箇所限定される。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。

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、任意の圧送区間内に気相部が存在するかどうかの机上検討を行い、空気弁周辺の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。気相部があるかどうかは、管路の位置（高さ）が動水こう配線より高いか低いかで判断すればよく、ポンプ稼働時には、動水こう配線より低い箇所では管内は満流、動水こう配線より高い箇所では非満流（気相部あり）と判断する。また、吐出し先マンホールの接続部も、非満流となるため腐食危険推定箇所と判断される（図 2-4 参照）。

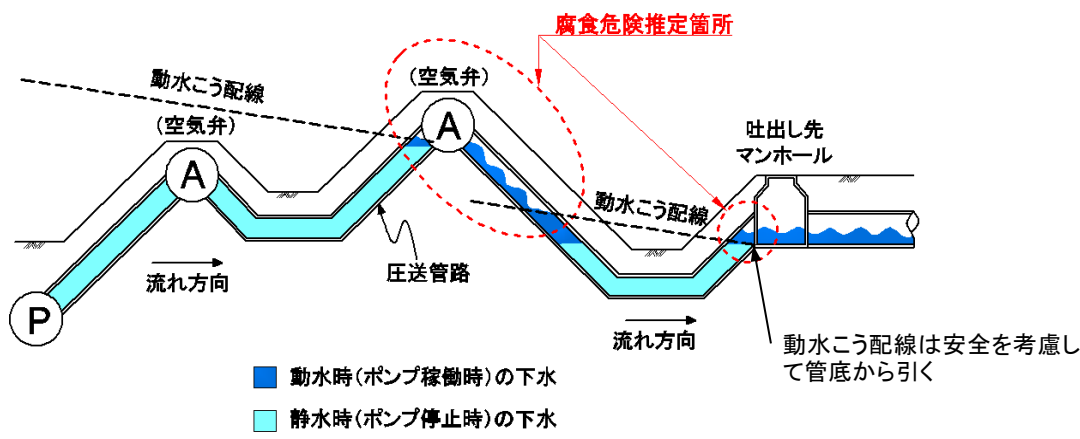


図 2-4 圧送管路の腐食危険推定箇所

### 2.2.3 硫酸腐食の調査

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て、実管路で硫酸腐食の視覚調査を行い、管内面の腐食状況を直接確認し劣化度を診断・評価する。

#### 【解説】

圧送管路には通常空気弁が設置されているが、空気弁を取り外しても開口部は口径75mm程度と小さく、空気弁の設置間隔も一律でなく、時に長距離に及び、更に管内はほとんどの箇所で満水状態のため、圧送区間全線を調査することは現状の技術では困難である。一方、2.2.2 腐食危険推定箇所の抽出（机上スクリーニング）で示したように、圧送管路で硫酸腐食が起こる可能性がある箇所は限定される。

本技術の調査（以下、本調査とする。）は、机上スクリーニングで抽出された腐食危険推定箇所を対象に腐食状況を確認することを目的とし、空気弁（口径75mm）または吐出し先マンホールから調査機器を挿入して視覚調査し、管内面の腐食状況をビデオカメラで直接確認することで、劣化度を診断・評価する（図2-5参照）。

なお、硫酸腐食の調査の詳細内容については、第5章 硫酸腐食の調査手法に記載する。

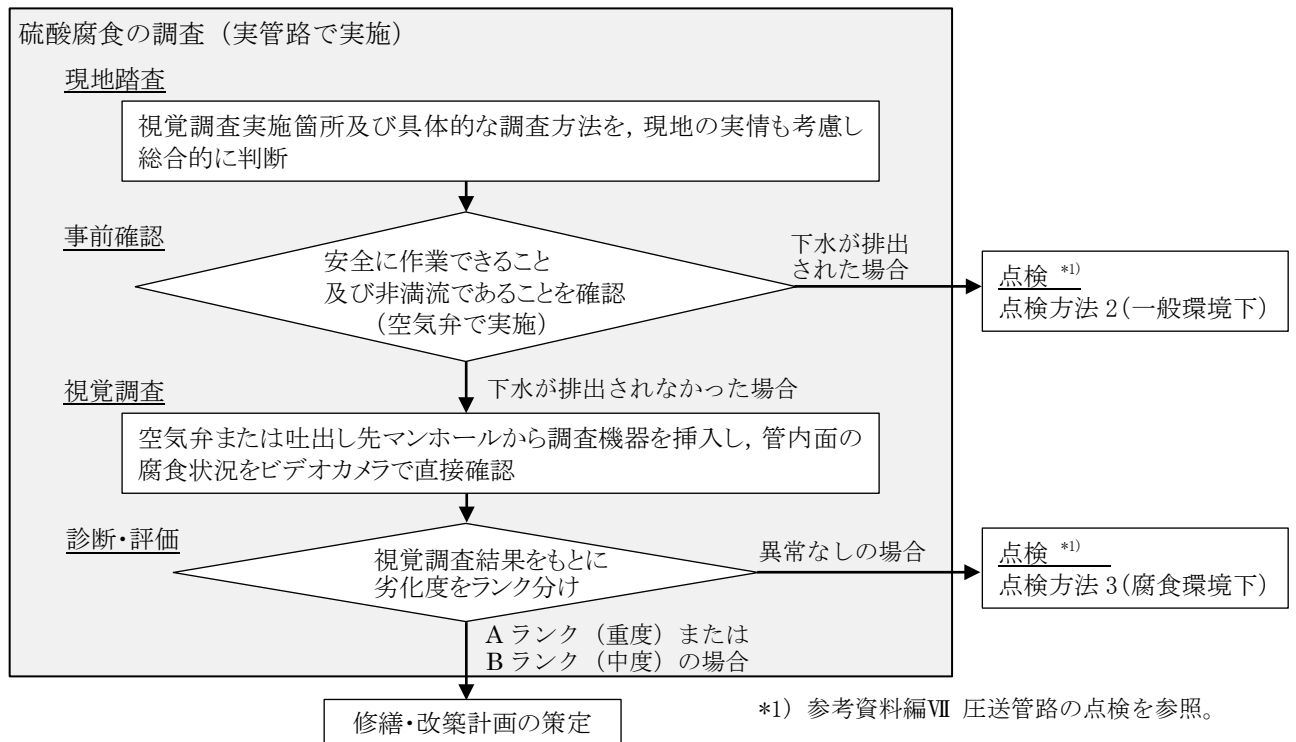


図2-5 硫酸腐食の調査手順

## (1) 視覚調査

空気弁（口径 75mm）または吐出し先マンホールから挿入可能な、調査機器（ガイド挿入式カメラ：以下、本調査機器とする。）を圧送管路内に押し込んで、管頂側約 180° の範囲をビデオカメラで連続的に撮影した画像をパソコンに記録する。本調査機器のイメージを図 2-6 に示す。

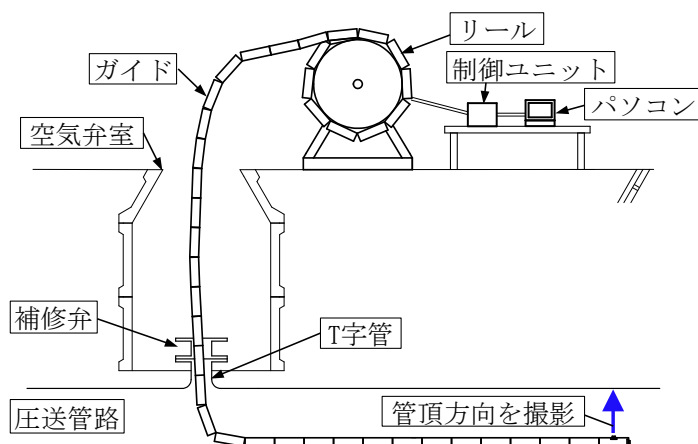


図 2-6 本調査機器のイメージ

## (2) 診断・評価

ビデオカメラで撮影した画像をもとに、圧送管路の劣化度を表 2-2 のようにランク分けし、必要な対策や今後の点検方法を検討する。劣化度毎の調査事例を表 2-3 に示す。

表 2-2 圧送管路の劣化度のランク分け

劣化度	管内面状況
Aランク（重度）	鉄部腐食あり
Bランク（中度）	モルタルライニング表面が部分的に変色、腐食発生
Cランク（軽度）	— *1)
異常なし	モルタルライニング表面が全面均一 *2)

\*1) Cランクは、実証研究で確認されなかったこと、また、モルタルライニングの軽微な変色と汚れとの見分けが困難なため、設定せず。

\*2) モルタルライニング表面に生物膜が付着していることが多い。

表 2-3 劣化度毎の調査事例（管頂側約 180° を撮影）

劣化度	Aランク(重度)	Bランク(中度)	異常なし
内面状況			

## 第3節 技術の評価結果

### 2.3.1 腐食危険推定箇所への抽出手法の評価項目

机上スクリーニングは、腐食が進んでいると推測される箇所を見落としなく確実に抽出することが極めて重要である。このため、導入しようとする机上スクリーニングによって、腐食危険推定箇所が適切に抽出できているかについて、下記の評価項目を確認した。

- (1) 腐食が進んでいる箇所を確実に抽出していること
- (2) 抽出されなかった箇所では腐食が発生していないこと

#### 【解説】

机上スクリーニングは、施設情報（構造、形状、大きさ等）や維持管理履歴等の既存の情報をもとに、劣化の進んでいる箇所を抽出するもので、長大な圧送管路を効率的に管理するためには重要な作業である。また、机上スクリーニングの精度が不十分な場合は、腐食が進行している箇所が見落とされ、将来的に漏水や道路陥没等の事故につながる可能性がある。

このため、机上スクリーニングによって圧送管路の腐食危険推定箇所を適切に抽出できているかを評価する必要があり、これには、(1)腐食が進んでいる箇所を確実に抽出していることと、(2)抽出されなかった箇所では腐食が発生していないことの2点の確認が重要となる。なお、評価の方法は、机上スクリーニングがどのような考えのもと、どのようなパラメータを用いて腐食危険推定箇所を抽出しているかで変わってくる。以下に、2.2.2 に示した腐食危険推定箇所の抽出手法における(1)及び(2)の評価方法を示す。

#### (1) 腐食が進んでいる箇所を確実に抽出していることの評価方法

2.2.2 に示した腐食危険推定箇所の抽出手法においては、非満流になっている空気弁周辺を腐食危険推定箇所として抽出するほか、耐食性の低い管内面防食方法（モルタルライニング及びタールエポキシ樹脂塗装）を抽出条件の1つとしている。こうした机上スクリーニングでは、硫酸腐食が進行している箇所については、確実に腐食危険推定箇所と判断しなければならない。そのため、過去に硫酸腐食事故のあった事例が、腐食危険推定箇所の抽出手法により抽出された腐食危険推定箇所と一致し、かつ、管内面防食方法がモルタルライニングまたはタールエポキシ樹脂塗装であることを確認した。

#### (2) 抽出されなかった箇所では腐食が発生していないことの評価方法

腐食危険推定箇所の抽出手法においては、満流になっている箇所は硫酸腐食が発生しない非腐食危険推定箇所と判断する。また、管内面防食方法がエポキシ樹脂粉体塗装の場合は、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は低いと判断する。こうした腐食危険推定箇所として抽出されなかった箇所では腐食が発生していないことを確認するため、満流と判断された実際の圧送管路における腐食状況と、非満流と判断された箇所にエポキシ樹脂粉体塗装が使用されている圧送管路の腐食状況を確認した。また、エポキシ樹脂粉体塗装については、耐酸性等に関する室内試験でも耐食性を確認した。

### 2.3.2 実証研究に基づく腐食危険推定箇所抽出手法の評価結果

机上スクリーニングによって、圧送管路の腐食危険推定箇所が適切に抽出できていることを確認するための実証研究を行い、以下の評価項目について評価した。

- (1) 腐食が進んでいる箇所を確実に抽出していること
- (2) 抽出されなかった箇所では腐食が発生していないこと

#### 【解説】

2.2.2 の腐食危険推定箇所抽出手法による机上スクリーニングによって、圧送管路の腐食危険推定箇所を適切に抽出できていることを確認するため、過去の事故事例と腐食危険推定箇所との照合や現地での腐食状況確認、管内面防食塗装の耐食性確認等の実証研究を行い、上記評価項目の評価を行った結果を示す。

#### (1) 腐食が進んでいる箇所を確実に抽出していることの評価結果

##### [検証]過去の事故事例と腐食危険推定箇所との照合

圧送管路を保有する下水道事業者から、過去に腐食事故のあった圧送管路のデータを収集し、事故事例と本手法による腐食危険推定箇所とが一致するかどうかを検討した（詳細は、参考資料編 I 机上スクリーニングの妥当性の検討事例を参照）。

検討に必要な情報が揃っている 11 の圧送管路の事故事例を対象に検討したところ、表 2-4 に示すように全ての腐食事故（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が発生しており、かつ、管内面防食方法は耐食性が低いモルタルライニングであった。

表 2-4 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)	管内面防食方法(直管)	供用開始年	事故発生年	事故形態	検討結果
A 流域下水道	250	4,410	モルタルライニング	1996	2015	漏水	事故発生箇所と腐食危険推定箇所とが一致
B 流域下水道	250	3,670		1991	2010	漏水	
C 市	350	4,730 <sup>*1)</sup>		1994	2015	漏水	
D 市	600	970		1989	1999	道路陥没	
	600	2,490		1993	2014	道路陥没	
	450	1,480		1991	2015	道路陥没	
E 市	350	約4,080		1994	2013	漏水	
F 流域下水道	300	1,990		1993	2013	漏水	
G 市	300	約1,400		1990	2014	漏水	
H 流域下水道	300	2,690		1994	2017	漏水	
	450	330		2003	2015	漏水	

\*1) C市の管路長は、管路縦断頂上部から下流側吐出し先までの距離を示す。

検討結果の一例として、D市の圧送管路（管径 600mm×管路長 970m）の結果を図 2-7 に示す。机上スクリーニングを行った結果、管路縦断頂上部から吐出し先マンホールまでの約 280m の範囲が、管路の位置（高さ）が動水こう配線より高く、空気弁も設置されているため、腐食危険

推定箇所と判断した。

本管路では、供用開始（1989年）から僅か10年後（1999年）に道路陥没が発生しており、陥没箇所は腐食危険推定箇所と一致した。またD市では、道路陥没発生後に約300mの範囲で管路を掘り上げて管内面の腐食状況を確認している。その結果、机上スクリーニングにより抽出された腐食危険推定範囲全線（管内面防食方法はモルタルライニング）が実際に腐食しており、机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出が正しくできていることを確認した（写真2-2参照）。

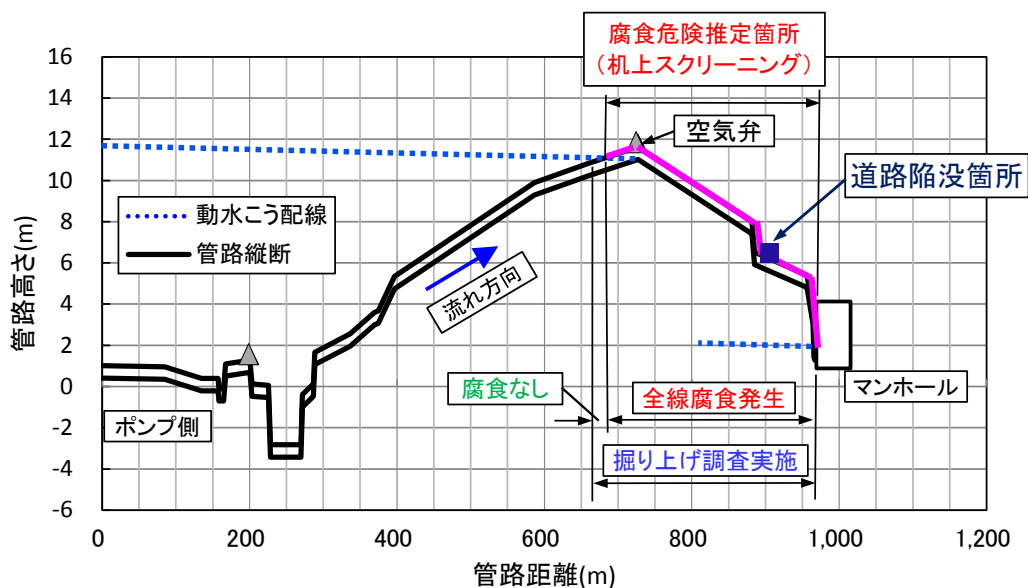


図 2-7 事故事例と腐食危険推定箇所の照合 (D市での検討事例)



写真 2-2 掘り上げ管の腐食状況 (D市での事例：内面モルタルライニング)

(2) 抽出されなかった箇所では腐食が発生していないことの評価結果

[検証 1] 満流箇所の腐食状況の確認

机上スクリーニングの結果、動水こう配線より低く満流状態であり腐食危険推定箇所の範囲外（非腐食危険推定箇所）とされた箇所（空気弁設置箇所）で、実際に腐食が発生していないことを、図 2-8 に示す H 流域下水道の圧送管路（管径 300mm×管路長 2,690m、内面モルタルライニング）で確認した。

本管路では、供用開始（1994 年）から 23 年後の 2017 年に、机上スクリーニングで腐食危険推定箇所に当たる空気弁 3 の周辺で漏水が発生している。調査を行ったのは空気弁 2 で、机上スクリーニングでは動水こう配線より低い位置にあるため満流と判断される箇所である。この箇所を対象に、上流のポンプ場から管内の下水を可能な限り引き抜き、空気弁周辺の管内面の腐食状況を確認した。

調査では、空気弁 2 から本調査機器を挿入し、上流側 30m の範囲の管内面の状況を確認した。この結果、調査箇所では全線にわたり異常はなく、机上スクリーニングで非腐食危険推定箇所となった箇所では、腐食の可能性が低いことが確認された（表 2-5 参照）。

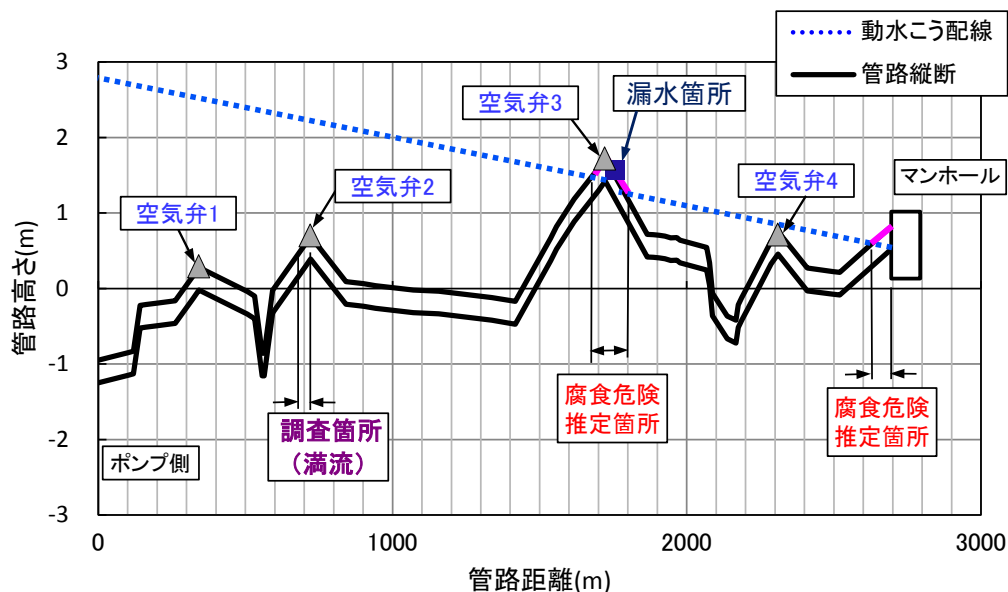





図 2-8 調査を行った管路（H 流域下水道）

表 2-5 管内面状況の調査結果の一例（管頂側約 180° を撮影）

調査箇所	空気弁から上流側 1m	空気弁から上流側 15m	空気弁から上流側 30m
劣化度	異常なし	異常なし	異常なし
内面状況			



**[検証 2] 非満流箇所でのエポキシ樹脂粉体塗装の腐食状況の確認**

内面モルタルライニングの直管に硫酸腐食が発生している実管路（非満流箇所）で、直管が腐食した範囲内に布設されていた内面エポキシ樹脂粉体塗装の異形管の腐食状況を調査した。6つの管路で調査を行った結果、表 2-6 に示すように直管（モルタルライニング）は激しく腐食していたが、同じ箇所に布設されていたエポキシ樹脂粉体塗装の異形管には腐食の兆候がなく健全であった。よって、エポキシ樹脂粉体塗装の圧送管路（管内面防食方法から腐食危険推定箇所として抽出されなかった管路）では、非満流であっても腐食が発生していないことが確認された。

表 2-6 実管路での調査結果

事業体	管径 (mm)	直管		異形管		
		管内面防食方法	調査結果	管内面防食方法	調査した個数	調査結果
I流域下水道	200	モルタルライニング	管内面が激しく腐食, 3事業体では事故発生	エポキシ樹脂粉体塗装	4	管内面に腐食は見られず健全
J市	600				5	
L市	450				2	
D市	600				8	
E市	350				1	
下水道事業団 *1)	200				1	

\*1) 送泥管での調査結果。

調査結果の一例として、I 流域下水道と E 市での調査事例を表 2-7 及び表 2-8 にそれぞれ示す。

表 2-7 管内面状況の調査結果の一例（I 流域下水道）（管頂側約 180° を撮影）

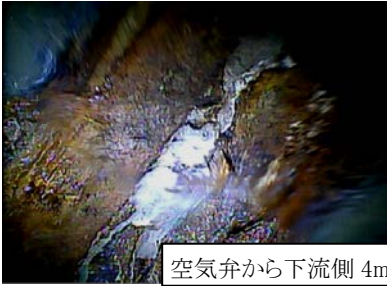
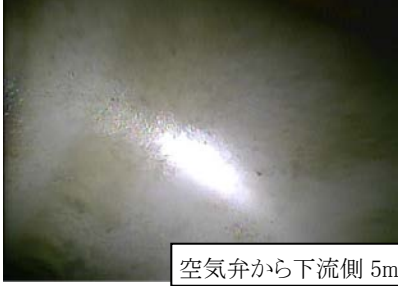
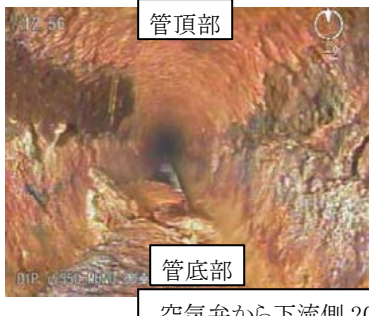
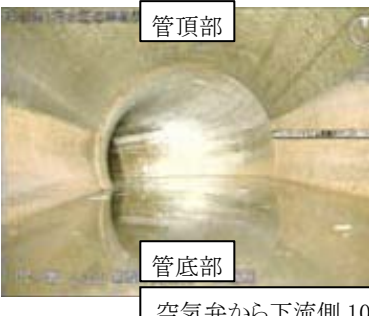
管内面防食方法	モルタルライニング (直管)	エポキシ樹脂粉体塗装 (異形管)
劣化度	Aランク(重度)	異常なし
内面状況	 <p>空気弁から下流側 4m</p>	 <p>空気弁から下流側 5m</p>

表 2-8 管内面状況の調査結果の一例 (E 市)

管内面防食方法	モルタルライニング (直管)	エポキシ樹脂粉体塗装 (異形管)
劣化度	Aランク(重度)	異常なし
内面状況		

備考) 本管路では、空気弁から下流側 140m の箇所内で内面モルタルライニングの直管に漏水発生。

### [検証 3] エポキシ樹脂粉体塗装の耐食性に関する室内試験

エポキシ樹脂粉体塗装の硫酸腐食に対する耐食性を確認するため、下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル<sup>7)</sup>の塗布型ライニング工法の品質規格 D 種規格と同等またはより厳しい条件で試験を行った。試験結果を表 2-9 に示す。

10%の硫酸水溶液に 25 箇月間 (D 種規格の 6 倍以上の期間) 浸漬した後も、エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜内に硫黄は全く侵入しておらず、塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出等の異常はなく、極めて厳しい強酸下でもエポキシ樹脂粉体塗装は十分な耐酸性と長期耐久性を有していることが確認された。また、耐アルカリ性、密着性及び透水性についても、D 種規格以上の性能を有していた。よって、エポキシ樹脂粉体塗装の圧送管路 (管内面防食方法から腐食危険推定箇所として抽出されなかった管路) では、硫酸腐食が発生する環境下でも高い耐食性を有していることが確認された。

表 2-9 エポキシ樹脂粉体塗装の耐食性試験結果

D種規格で規定された内容			試験結果	評価*1)
試験項目	試験方法	必要性能		
硫黄侵入深さ	10%の硫酸水溶液に4箇月(120日)間浸漬し、EPMA(電子線マイクロアナライザー)分析で硫黄の侵入深さを測定	浸漬後の硫黄侵入深さが、設計厚さに対して5%以下であること、かつ、100μm以下であること (本件では、塗装厚300μm×5%=15μm以下)	試験方法に規定された4箇月間を越える25箇月間浸漬した後も、塗膜内への硫黄の侵入なし	◎
耐酸性	10%の硫酸水溶液に2箇月(60日)間浸漬し、状況を確認	浸漬後に塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと	試験方法に規定された2箇月間を越える25箇月間浸漬した後も、塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出なし	◎
耐アルカリ性	水酸化カルシウム飽和水溶液に2箇月(60日)間浸漬し、状況を確認	浸漬後に塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと	2箇月間浸漬した後も、塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出なし	◎
接着性	JIS K 5600-5-7 に準拠	接着力が 1.5MPa以上	接着力 10MPa以上	◎
透水性	JIS A 1404:2015 7.6に準拠	透水量が0.15g以下	透水量 0.05g	◎

\*1) ◎: D種規格と同等以上の性能を有する。

### 2.3.3 硫酸腐食の調査技術の評価項目

硫酸腐食の調査技術は、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に、実際に実管路で視覚調査でき、管内面の劣化度を的確に診断・評価できることが重要である。導入しようとする本調査技術が、実際の現地に適用できる技術であることを確認するため、以下の項目を評価した。

- (1) 圧送管路特有の制約条件下における限界性能
- (2) 管内面の劣化度の診断精度

#### 【解説】

机上スクリーニングで腐食危険推定箇所と判断された、管内が非満流となる空気弁の周辺と吐出し先マンホールの上流側については、実際に管内面の腐食状況を視覚調査し、劣化度を診断・評価する。圧送管路の場合、開口部（マンホール）が存在しない区間が長く、かつ、多くの場合はポンプ送水を長時間にわたり止めることが困難であるが、こうした制約条件の中にあっても技術的に可能な範囲で視覚調査を行う必要がある。また、調査結果から管内面の劣化度を診断・評価し、的確な対応策を検討していく。

本調査技術の現地適用性を確認するにあたっては、上記の制約条件等を踏まえ、(1) 圧送管路特有の制約条件下における限界性能を明らかにするとともに、(2) 管内面の劣化度の診断精度を評価した。

#### (1) 圧送管路特有の制約条件下における限界性能の評価方法

圧送管路の区間内で管内に本調査機器を挿入できるのは、通常は空気弁からのみである。一方、吐出し先マンホールの接続部を除いて、硫酸腐食が発生するのは管内が非満流となる空気弁周辺に限定されることから、空気弁を利用することで土木工事なしに効率的に視覚調査を行うことができる。また、通常圧送管路のポンプは間欠運転されており、ポンプ送水を長時間にわたり止めることが困難であるため、ポンプが停止している時間内に視覚調査を行う必要がある。更に、視覚調査は、圧送管路内の部分的な下水滞留や堆積物、また曲線配管等に対応できることも重要である。

このような圧送管路特有の制約条件下でも、供用中の実管路で調査できることを確認するため、以下のことを評価した。

##### ① 空気弁から挿入可能

下水用空気弁（口径 75mm）から挿入できること。

##### ② ポンプ停止時間内に視覚調査可能

ポンプ停止可能時間は、滞留した下水の腐敗防止及び突発的な流入への対応等を考慮して 1.5 時間程度と想定。

##### ③ 下水滞留や堆積物に対応可能

滞留下水の水深が 30mm 程度（カメラが水没しない限界）でも視覚調査が可能で、高さ 50mm

の堆積物があっても本調査機器を管内に押し込むことができること。また、水深 30mm 以上の場合も、本調査機器の耐水性に問題がないこと。

④曲線配管部も視覚調査可能

22.5° 以内の曲管が配管されていても本調査機器を管内に押し込むことができること。

⑤管径 200mm～1000mm に適用可能

圧送方式が広く用いられている幹線管きょに対応できるよう、管径 200mm～1000mm で上記の①～④が可能なこと。

## (2) 管内面の劣化度の診断精度の評価方法

撮影した画像から劣化度を診断・評価するため、鮮明な画像を撮影できることは極めて重要である。硫酸腐食は気相部が存在する管頂側で起こるが、管側部付近で激しい腐食が発生することもあるため、管の円周方向に広い範囲を撮影する必要がある。また、縦断的な腐食の程度を確認するために、ある程度の長い区間を視覚調査する必要もある。

このような状況において、管内面の劣化度を的確に診断できることを確認するため、以下のことを評価した。

①撮影された画像は鮮明であり管の円周方向に広い範囲を診断可能

管側部付近で激しい腐食が発生することもあるため、管頂側の約 180° の範囲を視覚調査でき、管内面の劣化度を的確に診断できること。

②空気弁から 30m の範囲を視覚調査、診断可能

視覚調査、診断範囲を 30m とした理由は下記の通りである。

- ・非満流になる範囲は、管路の途中でこう配が大きく変化しない限り、同じ程度の腐食が進行している (2.3.2 参照) と考えられることから、腐食程度を確認するだけであれば、空気弁付近を視覚調査するだけでよい。
- ・ただし腐食が進行している場合 (A ランク) には、道路陥没防止の観点から、可能な限り長い範囲を視覚調査することが望ましい。
- ・上記を踏まえた上で、調査機器を空気弁から挿入する等の圧送管路特有の制約条件も考慮し、視覚調査、診断範囲を 30m とした。

#### 2.3.4 実証研究に基づく硫酸腐食の調査技術の評価結果

本調査技術が、実際の現地に適用できる技術であることを確認するため実証研究を行い、以下の項目について評価した。

- (1) 圧送管路特有の制約条件下における限界性能
- (2) 管内面の劣化度の診断精度

##### 【解 説】

本調査技術が実際の現地に適用できる技術であることを確認するため、フィールド管路において実証研究を行い、(1) 圧送管路特有の制約条件下における限界性能と、(2) 管内面の劣化度の診断精度を評価した。

机上スクリーニングで硫酸腐食の危険性があると判断した実証フィールド管路(2 流域下水道、3 市の計 6 管路)を対象に、空気弁から本調査機器を挿入し、管内面の腐食状況をビデオカメラで直接調査して、以下の項目について評価した。

##### (1) 圧送管路特有の制約条件下における限界性能

- ① 空気弁（口径 75mm）から挿入可能
- ② ポンプ停止時間内（1.5 時間 程度以内）に視覚調査可能
- ③ 下水滞留や堆積物に対応可能
- ④ 曲線配管部も視覚調査可能
- ⑤ 管径 200mm～1000mm に対応可能

##### (2) 管内面の劣化度の診断精度

- ① 撮影された画像は鮮明で管頂側の約 180° の範囲を診断可能
- ② 空気弁から 30m の範囲を視覚調査，診断可能

現地適用性の評価結果を表 2-10 に示す。全ての実証フィールド管路で、空気弁（口径 75mm）から本調査機器を挿入し、1.5 時間以内に調査できることを確認した。また、空気弁から 30m の範囲を視覚調査し、撮影された画像は鮮明で管頂側の約 180° の範囲を撮影可能であり、管内面の劣化度を十分診断できることを確認した。

更に、全ての実証フィールド管路において、机上スクリーニングの腐食危険推定箇所実際に管内面腐食が発生していることも確認した。

なお、実証研究では管径 200mm～800mm の管路で調査を行った。管径 1000mm については実証フィールド管路が見つからなかったため、模擬管を用いて、撮影レベル（管内面の劣化度診断の可否）及び本調査機器の挿入性の確認を行い、問題がないことを確認した（写真 2-3 参照）。

表 2-10 硫酸腐食の調査技術の現地適用性の評価結果

事業体	管径 (mm)	管路長 (m)	管内面防食方法(直管)	供用開始年	視覚調査時間(時間)	撮影された画像	調査範囲 (m)	管内面の状況
I流域 下水道	200 (2条)	886	モルタル ライニング	1996	1.5	管頂側約180°の 範囲を撮影でき、 画像は鮮明で腐食 のレベルを明確に 判別可能であり、管 内の劣化度を診断 できた。	32	腐食を 確認
J市	600	370		2003	1.0		10 *3)	
K市	350	4,730*2)		1994	1.0		32	
L市 *1)	800	2,110		1973	1.0		30	
	450	1,480		1991	0.5		31	
M流域 下水道	300	2,690		1994	1.0		30	腐食なし*4)
目標	200～ 1000	-	-	-	1.5時間 以内	管内面の劣化度を 診断可能	30m	-

\*1) L市では、2管路を対象に、それぞれ2箇所空気弁から調査を行った。

\*2) K市の管路長は、管路縦断頂上部から吐出し先までの距離を示す。

\*3) 調査箇所には、本調査機器の適用条件の22.5°を越える45°曲管が布設されていたため、調査範囲は10mとした。

\*4) 非腐食危険推定箇所調査を行った。

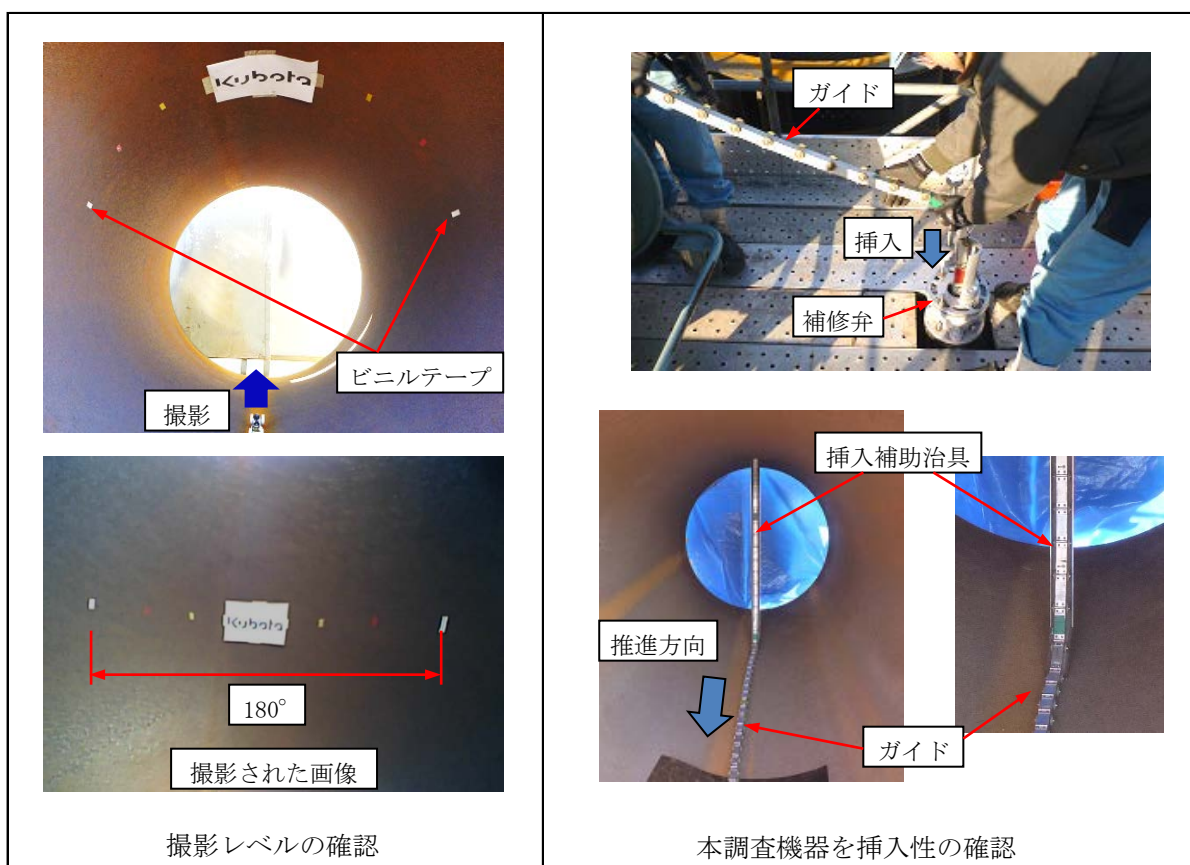


写真 2-3 管径 1000mm 模擬管での確認状況

評価結果の一例として、I 流域下水道及び K 市の結果を以下に示す（他の事業体での調査を含む詳細内容は、参考資料編Ⅱ 硫酸腐食の調査の実施事例を参照）。

[I 流域下水道]

1) 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出

検討を行った管路の管路縦断図を図 2-9 に示す。机上スクリーニングを行った結果、管路縦断頂上部から吐出し先マンホールまでの約 120m のほとんどの範囲が、管路の位置（高さ）が動水こう配線より高く、空気弁も設置されているため、腐食危険推定箇所と判断した。そこで、空気弁 1 から本調査機器を挿入し、空気弁の下流側約 30m の範囲を対象に調査を行った。

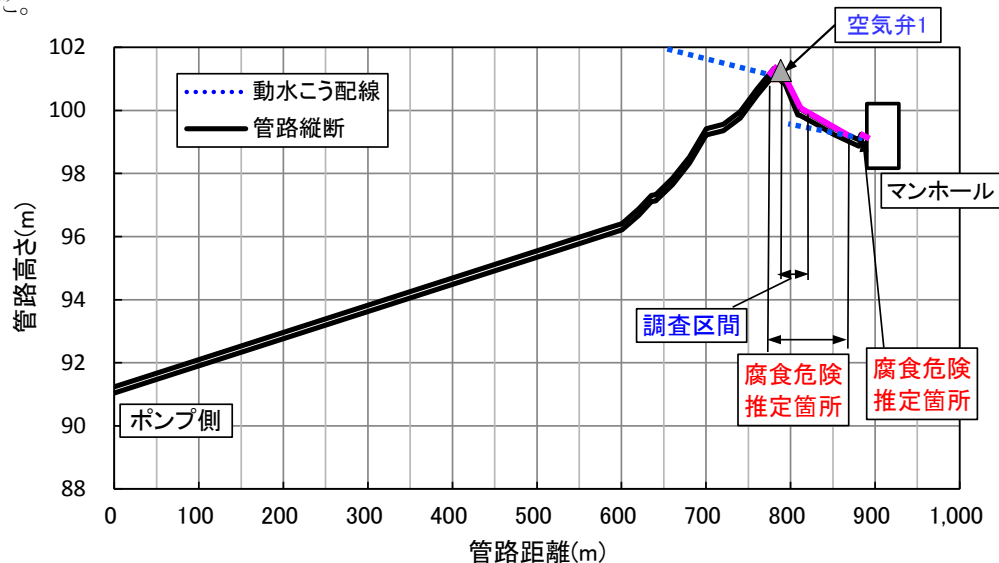


図 2-9 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出（I 流域下水道）

2) 視覚調査及び診断結果

本調査機器の現地適用性の評価結果を表 2-11 に示す。本調査機器は、全ての評価項目で目標を満足していることを確認した。

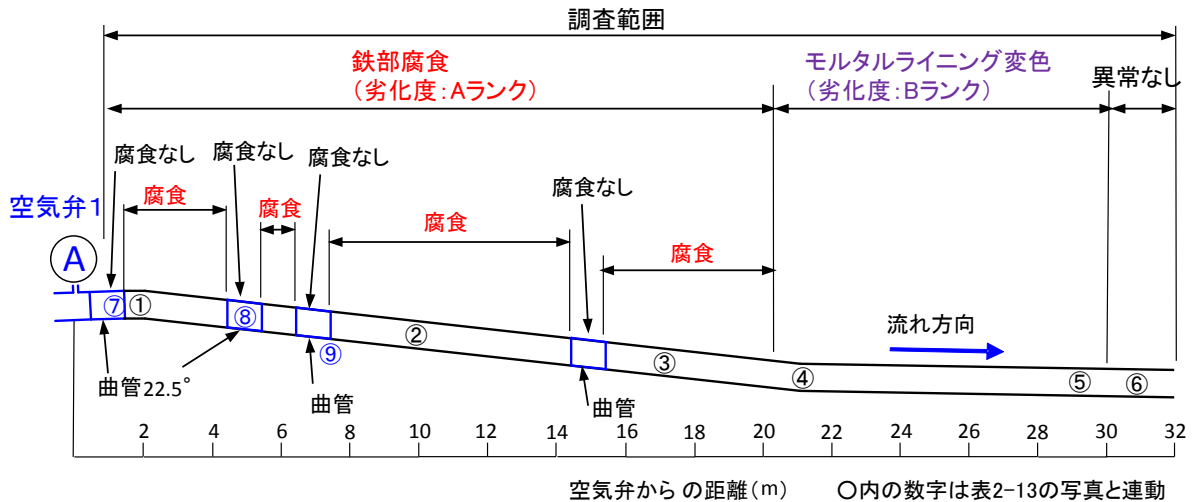
表 2-11 本調査機器の現地適用性の評価結果

評価項目	目標	調査結果	備考
空気弁からの挿入	口径75mmから挿入可能	口径75mmの空気弁から挿入できた。	—
視覚調査時間	1.5時間以内	1.5時間で視覚調査できた。	—
管径	200mm～1000mm	管径200mmで視覚調査実施。	—
撮影された画像	管内の劣化度を診断可能	管頂側約180°の範囲を撮影でき、画像は鮮明で、管内面の劣化度を問題なく診断できた。	—
調査範囲	空気弁から30mの範囲を調査可能	備考に示す状況下で、空気弁1から下流側32mまで本調査機器を押し込み視覚調査できた。また、本調査機器が水没した1mの区間を除き劣化度を問題なく診断できた。	<ul style="list-style-type: none"> <li>空気弁1から約1mの区間で、深さ60mmの下水が滞留していた。その他の区間は下水滞留はほとんどなかった。</li> <li>調査を行った全区間で、管内に堆積物はほとんどなかった。</li> <li>調査範囲内に、4個の曲管（水平配管された22.5°曲管2個を含む）が布設されていた。</li> </ul>

視覚調査で撮影された画像をもとに、圧送管路の劣化度の診断を行った。結果を図 2-10、表 2-12 及び表 2-13 に示す。

① 圧送管路の劣化度を表 2-12 に示すように 3 つにランク分けできた。

② 20m 付近を境に劣化度が変わった理由として、この地点で管路こう配が緩くなっており、ポンプ運転状況（例えば 2 台運転時）によっては 20m から下流側は一時的に満流状態になることがあり、鉄部腐食には至らなかったと推測される。



備考) 異形管(曲管)の管内面防食はエポキシ樹脂粉体塗装

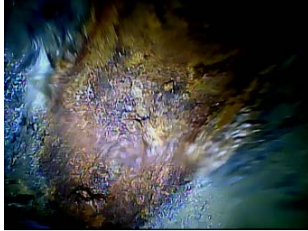
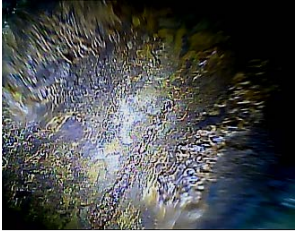
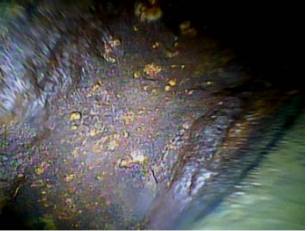

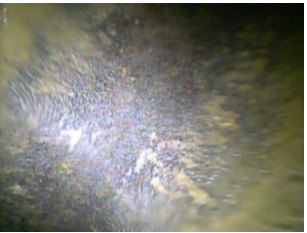



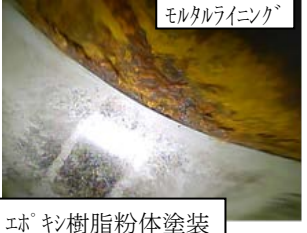
図 2-10 調査範囲と劣化度

表 2-12 劣化度の診断結果

空気弁からの距離	劣化度	管内面の状況
1m～20m	Aランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>直管(モルタルライニング)は、鉄部腐食が発生していた。</li> <li>曲管(エポキシ樹脂粉体塗装)が4個布設されていたが、腐食は見られず健全であった。</li> </ul>
21m～30m	Bランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>直管(モルタルライニング)に鉄部腐食は見られなかったが、管頂部でモルタルライニングが変色していた。</li> </ul>
31m～32m	異常なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>直管のモルタルライニング表面に変色は見られず、全面均一であった。</li> </ul>



表 2-13 管内面状況 (管頂側約 180° を撮影)

管内面 防食方法	モルタルライニング(直管)		
調査箇所	空気弁から下流側 2m	空気弁から下流側 10m	空気弁から下流側 17m
番号	①	②	③
劣化度	Aランク	Aランク	Aランク
内面 状況			
管内面 防食方法	モルタルライニング(直管)		
調査箇所	空気弁から下流側 21m	空気弁から下流側 29m	空気弁から下流側 31m
番号	④	⑤	⑥
劣化度	Bランク	Bランク	異常なし
内面 状況			
管内面 防食方法	エポキシ樹脂粉体塗装(異形管:曲管)		
調査箇所	空気弁から下流側 1.5m	空気弁から下流側 5m	空気弁から下流側 7.5m
番号	⑦	⑧	⑨
劣化度	異常なし	異常なし	異常なし
内面 状況			

[K市]

1) 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所への抽出

K市の圧送管路（図2-11参照）を対象に机上スクリーニングを行った結果、図中のピンク色で示す5箇所で管路の位置（高さ）が動水こう配線より高く、空気弁も設置されているため、腐食危険推定箇所と判断した。腐食危険推定箇所④、⑤では過去に漏水事故が発生しており、布設替え等が実施されているため、空気弁3（空気弁下流側約30mの範囲）を対象に、本調査機器を用いた視覚調査を行った。

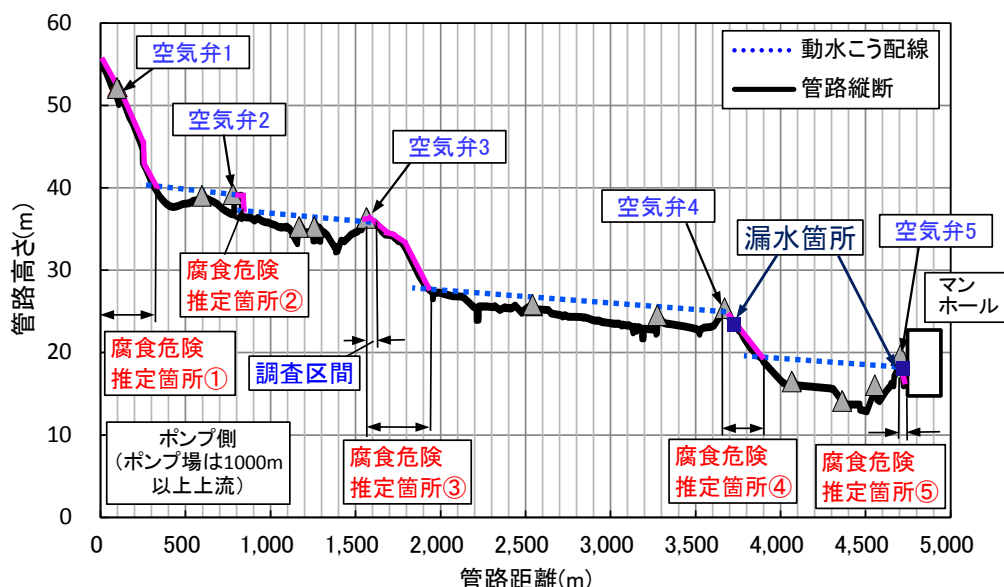


図2-11 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出 (K市)

2) 視覚調査及び診断結果

本調査機器の現地適用性の評価結果を表2-14に示す。本調査機器は、全ての評価項目で目標を満足していることを確認した。視覚調査の状況を写真2-4に示す。

表2-14 本調査機器の現地適用性の評価結果

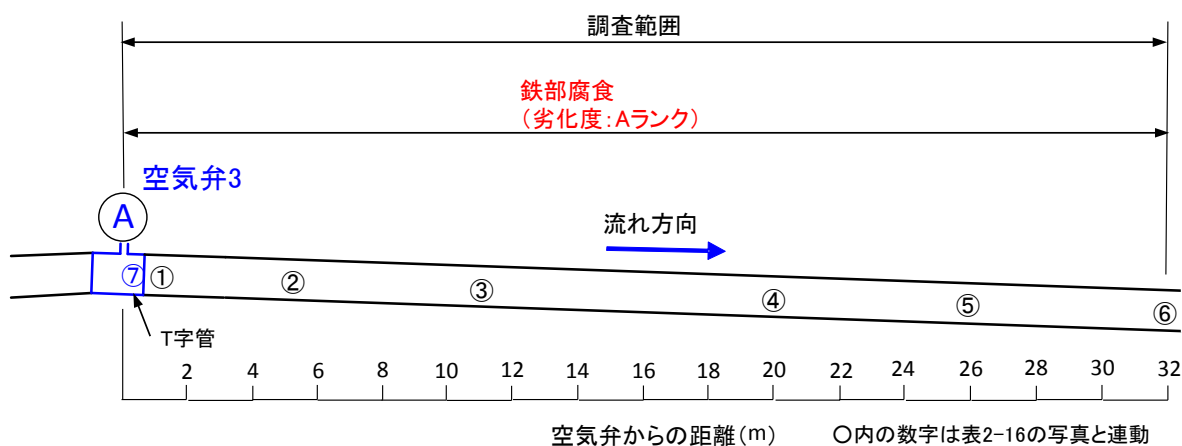
評価項目	目標	調査結果	備考
空気弁からの挿入	口径75mmから挿入可能	口径75mmの空気弁から挿入できた。	—
視覚調査時間	1.5時間以内	1.0時間で視覚調査できた。	—
管径	200mm～1000mm	管径350mmで視覚調査実施。	
撮影された画像のレベル	管内の劣化度を診断可能	管頂側約180°の範囲を撮影でき、画像は鮮明で、管内面の劣化度を問題なく診断できた。	—
調査範囲	空気弁から30mの範囲を調査可能	備考に示す状況下で、空気弁3から下流側32mまで本調査機器を押し込み視覚調査できた。また、本調査機器が水没した一部区間を除き劣化度を問題なく診断できた。	<ul style="list-style-type: none"> <li>管内の下水の流れを完全に止めることができず、管底部を下水が流れた状態で視覚調査を行った。下水の水深は約30mm～40mmであった。</li> <li>調査を行った全区間で、管内に堆積物はほとんどなかった。</li> <li>調査範囲内に曲管は布設されていなかった。</li> </ul>



写真 2-4 視覚調査の状況

視覚調査で撮影された画像をもとに、圧送管路の劣化度の診断を行った。結果を図 2-12、表 2-15 及び表 2-16 に示す。

- ① 圧送管路の劣化度を表 2-15 に示すようにランク分けできた。
- ② 空気弁 3 の下流側は、視覚調査を行った 32m の全線にわたって鉄部が腐食しており、劣化度 A ランクであった。空気弁 3 からの距離による劣化度の違いは見られなかった。









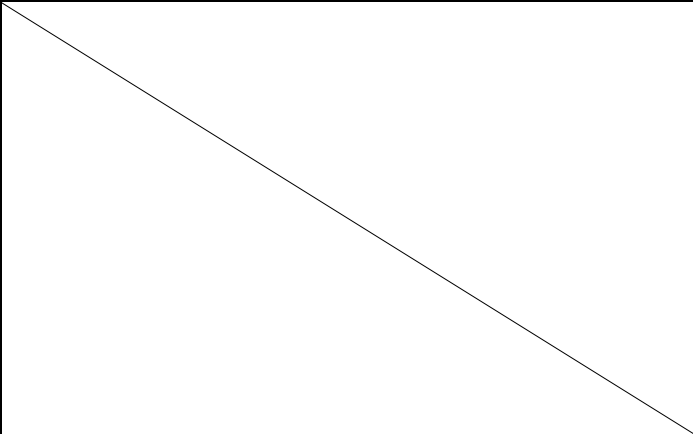
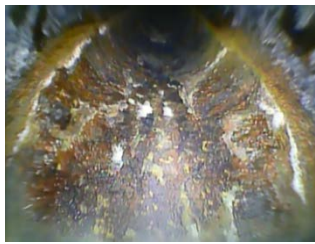
備考) 異形管(T字管)の管内面防食はタールエポキシ樹脂塗装

図 2-12 調査範囲と劣化度

表 2-15 劣化度の診断結果

空気弁からの距離	劣化度	管内面の腐食状況
0m～32m	Aランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直管(モルタルライニング)は、鉄部腐食が発生していた。</li> <li>・T字管(タールエポキシ樹脂塗装)が布設されていたが、鉄部腐食が発生していた。</li> <li>・空気弁からの距離による劣化度の違いは見られなかった。</li> </ul>

表 2-16 管内面状況 (管頂側約 180° を撮影)

管内面 防食方法	モルタルライニング(直管)		
調査箇所	空気弁から下流側 1m	空気弁から下流側 5m	空気弁から下流側 11m
番号	①	②	③
劣化度	Aランク	Aランク	Aランク
内面 状況			
管内面 防食方法	モルタルライニング(直管)		
調査箇所	空気弁から下流側 20m	空気弁から下流側 26m	空気弁から下流側 32m
番号	④	⑤	⑥
劣化度	Aランク	Aランク	Aランク
内面 状況			
管内面 防食方法	タールエポキシ樹脂塗装 (異形管:T字管)		
調査箇所	空気弁直下		
番号	⑦		
劣化度	Aランク		
内面 状況			

# 第3章 導入検討

## 第1節 導入時の確認事項

### 3.1.1 導入時の確認事項

圧送管路を効率的に維持管理することを目的として、腐食が進んでいると推測される路線を抽出する手法（机上スクリーニング）や実管路における硫酸腐食の調査技術を導入しようとする場合には、導入しようとする技術の適用範囲や性能が、導入しようとするフィールドに適しているかを確認するとともに、導入に必要なコストや調査期間が妥当であるかを確認する。

#### 【解説】

下水道管理者は、限られた経営資源で腐食の恐れのある圧送管路の管理を実施する必要があることから、調査等の効率化を図ることが求められている。また、効率化を図る一方で、腐食による漏水や道路陥没といった圧送管路が抱える事故リスクは、既存技術等を用いた場合と同等以下に抑える必要がある。このため、本調査技術の適用範囲や性能が、対象とする調査フィールドに適しているか、また、類似の技術と比較してコストや調査期間等が妥当であるかを予め確認することが望ましい。

なお、対象とする調査フィールドへの本調査技術の導入は、当該技術の適用範囲や性能、及び腐食のメカニズム等を踏まえて設定した、表3-1の確認項目を全て満足する必要がある。

表3-1 本調査技術を導入する際の確認項目

確認項目		確認内容
机上スクリーニング	管路縦断	管路縦断図（竣工図）があること。
硫酸腐食の調査	管種	ダクタイル鋳鉄管であること。
	管径	φ200～φ1000 mmの範囲内であること。
	下水の種類	汚水（汚泥は対象外）
	機材挿入可否	空気弁（口径75mm以上）または吐出し先マンホールがあること。
	ポンプ停止可否	調査中にポンプを停止（1.5時間以上）できること。
	管路の屈曲	屈曲角が22.5°以内であること。

## 第2節 技術の導入効果

### 3.2.1 技術の導入効果

導入検討においては、導入により得られる効果と、調査に必要なコストを対比した上で導入可否を決定することが望ましい。なお、調査コストについては、現地の調査条件を十分考慮するとともに、類似技術との比較を行うことが望ましい。

本技術の導入により得られる効果としては、調査困難箇所の解消が図られるとともに適正な維持管理が可能となることから、ライフサイクルコストの最小化及び施設延命化、事故の未然防止及び下水道サービスの安定的な提供などが想定され、可能な限りこれらの効果についても把握することが望ましい。

#### 【解説】

本技術の導入を検討する際には、導入により得られる効果の大きさを事前に確認し、効果に見合った調査コストとなっているかを事前に確認したうえで導入可否を決定することが望ましい。

本技術の導入により得られる効果としては、調査困難箇所の解消が図られるとともに適正な維持管理が可能となることから、ライフサイクルコストの最小化及び施設延命化が図られる他、事故の未然防止及び下水道サービスの安定的な提供などが期待できる。導入検討時には、これらの効果について、可能な限り把握することが望ましい。

ここでは、実証研究結果に基づく、既存調査技術等を用いた場合とのコスト比較例を示す。比較対象とした調査技術を表3-2に示す。

表3-2 比較対象とした調査技術

技術の種類	技術の内容	
	スクリーニング	調査
本技術	机上スクリーニング	硫酸腐食の調査
既存調査技術1	—	超音波による管外面からの調査 (調査用立坑築造)
既存調査技術2	自律型管内漏水検知システム*1)	超音波による管外面からの調査 (調査用立坑築造)

\*1) (3) 既存調査技術2の概要及びコスト算定の範囲を参照。

#### (1) 本技術のコスト算定の範囲

本技術を活用した維持管理の全体フローのうち、ここでのコスト算定の範囲は、図3-1で示す机上スクリーニング及び硫酸腐食の調査の作業費とする。また、算定する各作業費については、調査現場によって条件が異なるため、共通仮設費や現場管理費等の間接作業費や一般管理費を含めない直接作業費のみとした(図3-2参照)。

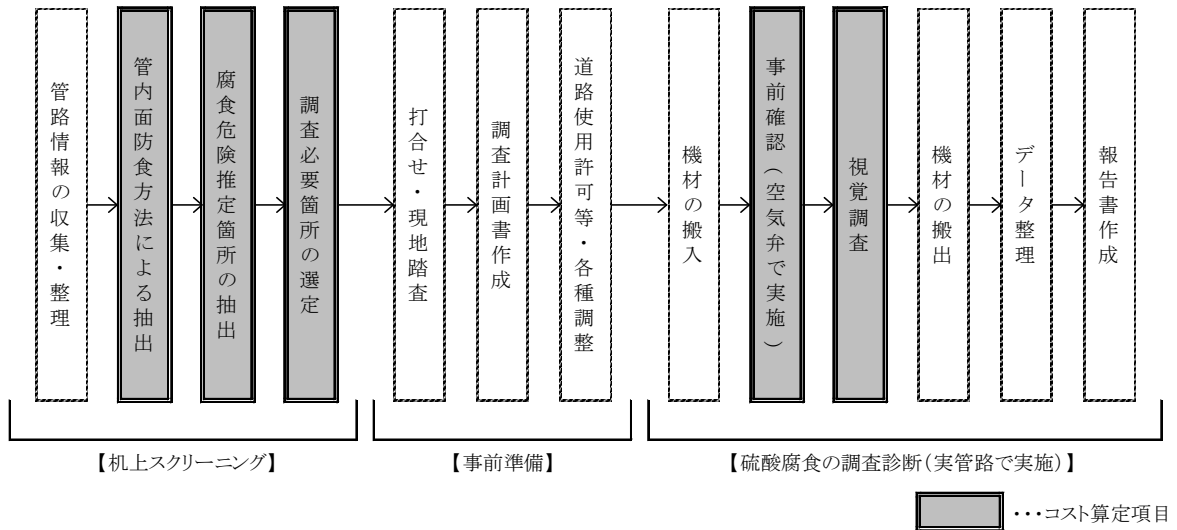


図 3-1 本技術のコスト算定の範囲

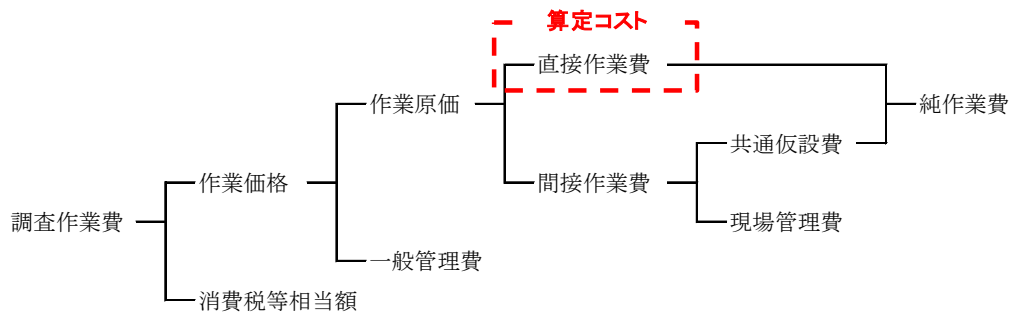


図 3-2 調査作業費の算定範囲

## (2) 既存調査技術 1 の概要及びコスト算定の範囲

圧送管路は、調査に使用する機材を入れるための開口部が存在しない、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施設に導入されている調査技術での対応が困難であり、今までは調査はほとんど行われてこなかった。ここでは、圧送管路において実績がある調査方法として、超音波による管外面からの調査<sup>8)</sup>を既存調査技術 1 として比較する。既存調査技術 1 の概要及び特徴は以下の通りである。

### 1) 既存調査技術 1 の概要

- ① 調査対象箇所において調査用立坑を設けて管外面を露出させる。
- ② 管外面から超音波厚さ計により、管厚測定を行い、管内面の腐食の有無を判断する。ただし、以下の点について留意する必要がある。
  - ・管内面の鉄部が腐食している場合は、超音波の反射波が散乱するため、管厚が正しく測定できない可能性がある（表 3-3 参照）。
  - ・管内面の腐食の進行速度は一樣ではなく、場所による管厚のバラつきが大きい。腐食による貫通穴が生じている場合でも、貫通穴から数 cm 離れた箇所では管厚が十分に保たれていることもある（写真 3-1 参照）。

表 3-3 管内面の腐食有無による超音波管厚測定と比較

	鉄部腐食なし	鉄部腐食あり
超音波の反射イメージ	<p>トランスデューサー(探触子)</p> <p>外面側</p> <p>鉄部</p> <p>境界面での反射波</p> <p>マルチライニング</p>	<p>トランスデューサー(探触子)</p> <p>外面側</p> <p>鉄部</p> <p>腐食生成物</p>
超音波の波形(例)		

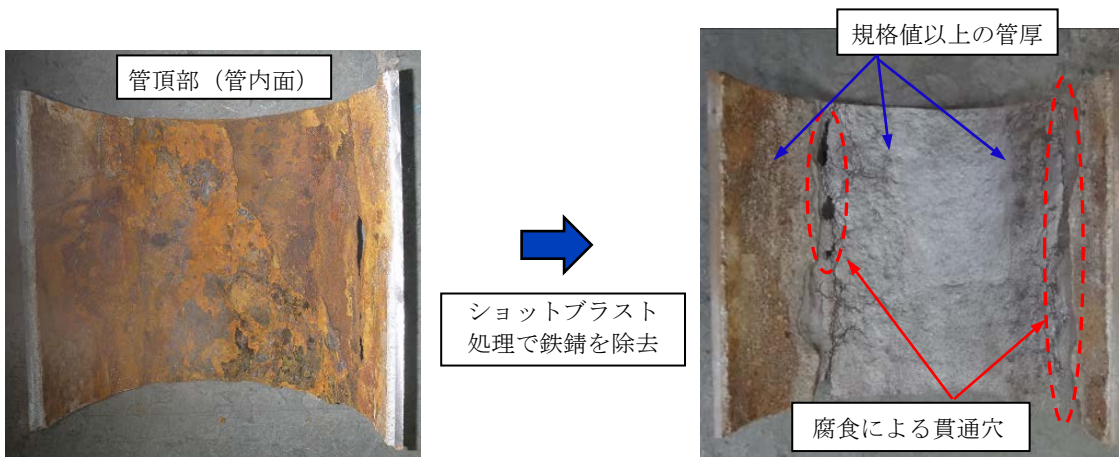


写真 3-1 局所的な管内面の腐食進行

(腐食管の掘上げ調査事例：写真は管頂側約 180° の管片)

2) 既存調査技術 1 の特徴

- ①調査時に送水ポンプの停止が伴わない。
- ②土木工事を伴うため、調査対象管路の布設場所によっては調査可能箇所が制限される。
- ③調査対象管路の管径が大きくなるに従い、調査用立坑が大きくなる。
- ④超音波厚さ計を当てた箇所のスポット的な調査であるため、管路全体の診断が難しい。



### 3) コスト算定の範囲

既存調査技術 1 のコストの算定範囲は、図 3-3 で示した調査用立坑築造・復旧及び管厚測定  
の作業費とする。また、算定する各作業費については、図 3-2 で示した直接作業費のみとする。

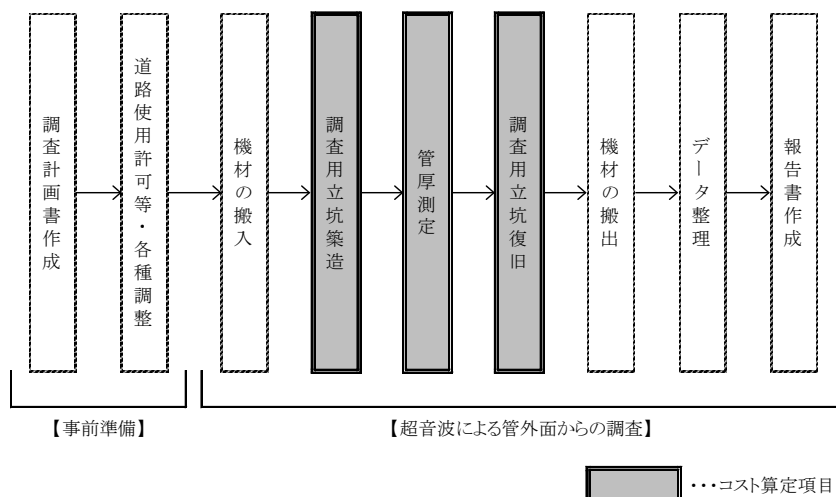


図 3-3 既存調査技術 1 のコスト算定の範囲

### (3) 既存調査技術 2 の概要及びコスト算定の範囲

圧送管路において腐食危険推定箇所を選別する一般的な既存スクリーニング技術は存在しない。圧送管路における漏水や空気溜まり箇所を検知する技術として、「自律型管内漏水検知システム」がある。ここでは、自律型管内漏水検知システムをスクリーニングとして使用した後、超音波による管外面からの調査を実施することを既存調査技術 2 として扱う。自律型管内漏水検知システムの概要及び特徴は以下の通りである。

#### 1) 自律型管内漏水検知システムの概要

- ①音響センサーやデータ記録装置を内蔵した球体状の漏水検知機器を調査対象管路にポンプ場内の開口部等から投入し、調査区間を移動させ回収する。
- ②回収した漏水探知機器からデータを収集・解析し、空気溜まり箇所の位置を特定する。

#### 2) 自律型管内漏水検知システムの特徴

- ①調査時に送水ポンプの停止が伴わない。
- ②一度の調査で複数箇所の検知が可能であり、最大 20km まで調査可能。
- ③管内でデータを収集することで、地上や管外のノイズに影響されにくい。

#### 3) コスト算定の範囲

既存調査技術 2 のコストの算定範囲は、図 3-4 で示した作業費とする。また、算定する各作業費については、図 3-2 で示した直接作業費のみとする。ただし、自律型管内漏水検知システム調査の作業費にはライセンス料も含まれているものとする。

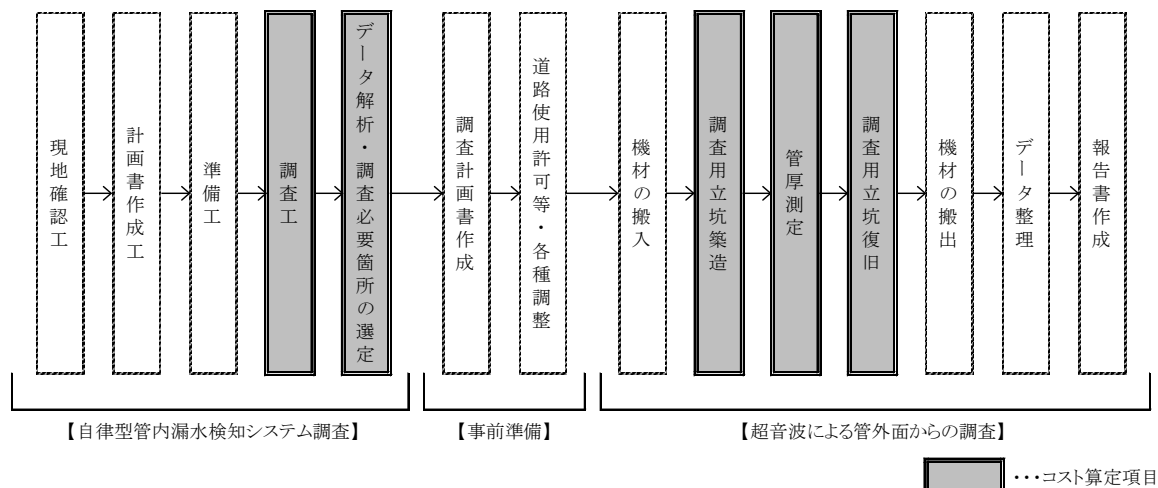


図 3-4 既存調査技術 2 のコスト算定の範囲

#### (4) コスト比較結果

表 3-4 に 1 調査当りのコストの算定条件を、図 3-5 に本技術と既存調査技術とのコスト比較結果を示す。ここでの 1 調査とは、調査対象となる圧送管路 1 管路（1,000m）において調査を実施することを想定している。なお、本技術は調査対象管路の管径によって調査コストは変わらないが、既存調査技術は管径によって調査用立坑の大きさが異なるため、管径 300mm, 500mm, 800mm を代表管径として調査コストを算定した。

表 3-4 1 調査当りのコスト算定条件

項目	本技術	既存調査技術 1	既存調査技術 2	備考
調査対象箇所数	2 箇所 (空気弁周辺)	6 箇所 (空気弁周辺)	2 箇所 (空気弁周辺)	1 圧送管路に空気弁が 6 箇所あり、スクリーニングで 1/3 になったと想定。
調査実施箇所数	2 箇所	12 箇所 (空気弁 6 箇所× 上流側・下流側 2 箇所)	2 箇所 (空気弁 2 箇所× 下流側 1 箇所)	既存調査技術 1 については、1 つの空気弁に対し、上流側・下流側の 2 箇所で調査を実施する。
調査用立坑築造数	なし	12 箇所 (空気弁 6 箇所× 上流側・下流側 2 箇所)	2 箇所 (空気弁 2 箇所× 下流側 1 箇所)	立坑には土留め(軽量鋼矢板)を行い、復旧は路盤の本復旧まで行うものとする。
想定調査日数	4 日間 (事前調査:2 日間, 視覚調査:2 日間)	4 日間 (1 日当り調査箇所数: 3 箇所)	1 日間 (1 日当り調査箇所数: 2 箇所)	—

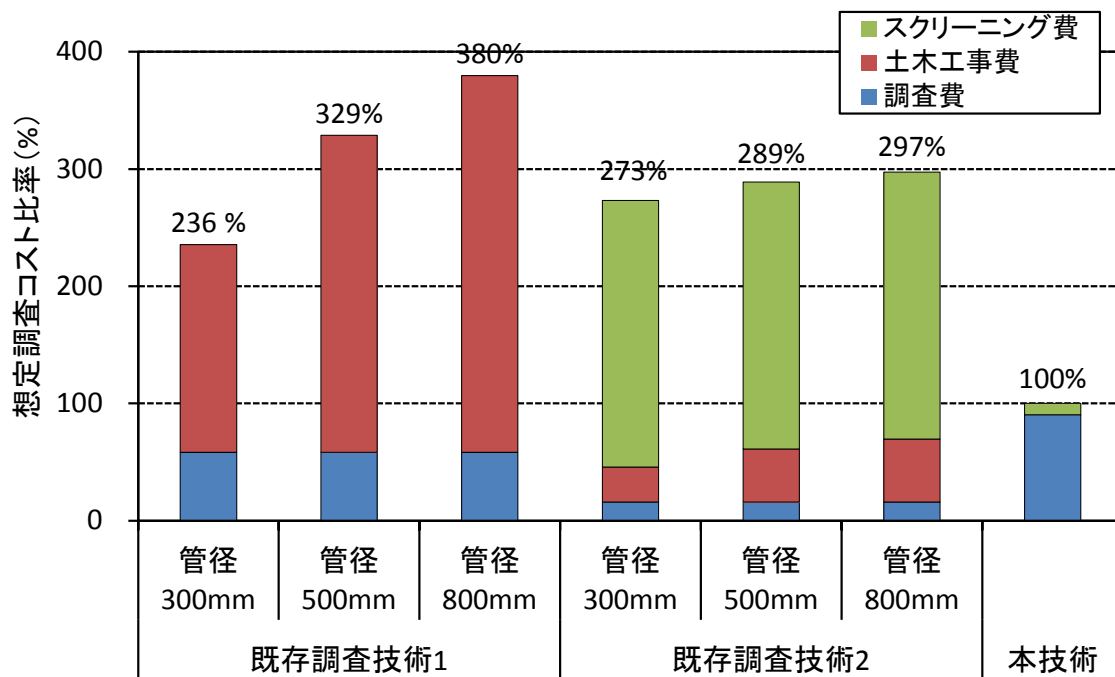


図 3-5 1 調査当りのコスト比較

コスト比較の結果、本技術のコストは既存調査技術（管径 300mm，500mm，800mm）に対して約 1/2～1/4 と大幅なコスト削減効果があり、また、対象管路の管径が大きくなるほどその効果は高くなった。

#### (5) 導入効果の把握

本技術の導入により得られる効果としては、調査困難箇所の解消が図られるとともに適正な維持管理が可能となることから、ライフサイクルコストの最小化及び施設延命化、事故の未然防止及び下水道サービスの安定的な提供などが挙げられる。

導入時には、前述の調査に要するコストに見合った効果が得られるかを、可能な限り把握することが望ましい。簡単な方法としては、本技術の導入有無による効果の大きさを費用換算し比較する方法があり、表 3-5 に示す算定の対象となる主な項目（例）毎の費用（1生涯当たり）を算出する。なお、現地において想定される硫化水素濃度や管径、周辺状況等に応じ、調査頻度や被害額が異なることに留意する必要がある。

表 3-5 導入効果の算定対象項目の例（○：計上する，－：計上しない）

項目	細目	本技術導入あり	本技術導入なし
維持管理費	調査費	○（頻度を考慮）	－
	補修費	○	－
事故時被害額	応急対応費	－	○
	施設復旧費	－	○
	損害補償費	－	○
その他	下水道使用制限		○

# 第4章 腐食危険推定箇所抽出(机上スクリーニング)

## 第1節 机上スクリーニングの手順

### 4.1.1 机上スクリーニングの手順

机上スクリーニングは、腐食のメカニズムを踏まえ、圧送区間の中において硫酸腐食の発生が危惧される箇所を絞り込むことを目的とし、下の手順で行う。

- (1) 管路情報の収集・整理
- (2) 管内面防食方法による抽出
- (3) 腐食危険推定箇所の抽出

#### 【解説】

圧送管路特有の構造や腐食メカニズムにより、圧送管路で硫酸腐食の恐れのある箇所は限定的であることから、机上スクリーニングを導入することで維持管理の効率性を高めることができる。机上スクリーニングは、図4-1に示す手順で実施される。各項目の内容については、次節以降に詳述する。

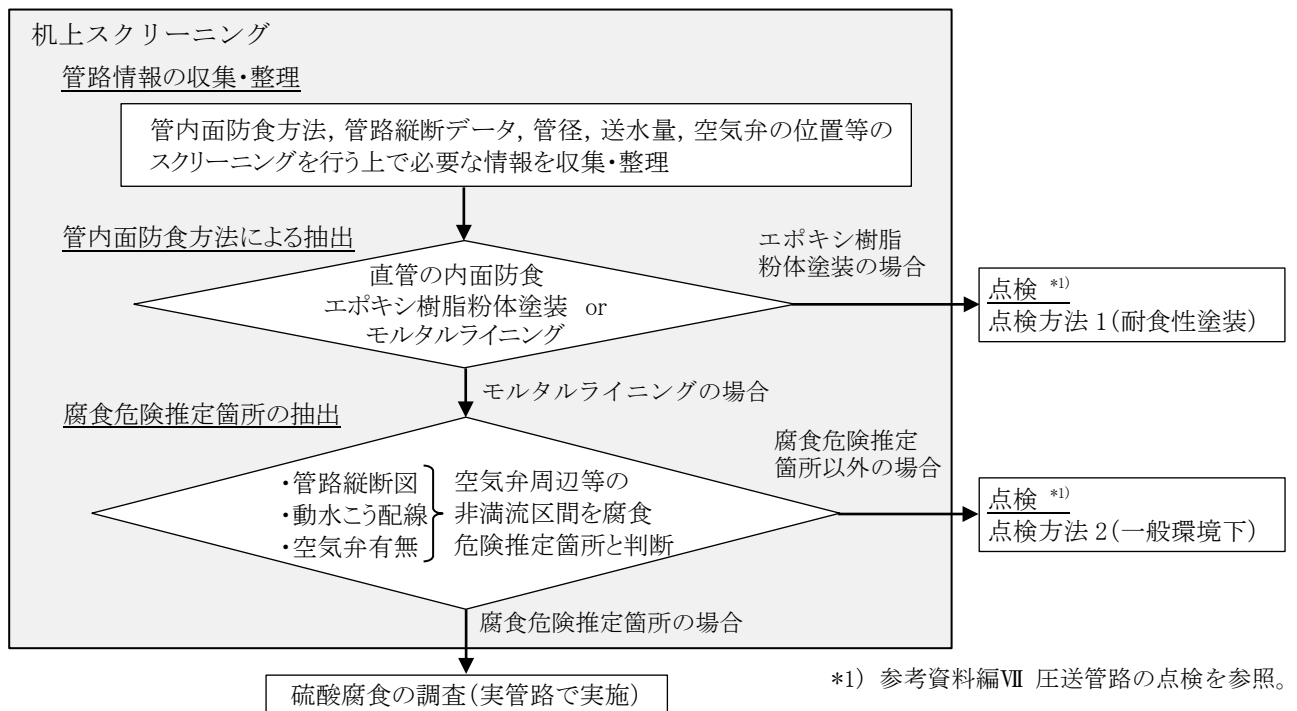


図4-1 机上スクリーニングの手順

## 第2節 机上スクリーニング

### 4.2.1 管路情報の収集・整理

机上スクリーニングを正確にかつ効率的に行うため、以下の管路情報を収集し整理する。

- (1) 管内面防食方法
- (2) 管路縦断データ（竣工図）
- (3) 管径，条数
- (4) 送水量（ポンプが稼働している時の送水量）
- (5) 空気弁の位置
- (6) 吐出し先の状況（マンホールまたは着水槽）
- (7) 供用開始年
- (8) 過去の事故事例

#### 【解説】

机上スクリーニングを正確にかつ効率的に行うため、管路情報を収集し整理する。必要な管路情報を表4-1に示す。

表4-1 必要な管路情報

必要な管路情報	情報収集の目的	備考
管内面防食方法	管内面防食方法による抽出	製品規格は表4-2参照
管路縦断データ(竣工図)	管路縦断図を作成	—
管径, 条数	管径 1条当たりの流量 } 動水こう配を計算	—
送水量		ポンプが稼働している時の送水量
空気弁の位置	腐食危険推定箇所の判断	硫酸腐食の調査にも利用
吐出し先の状況		マンホールまたは着水槽
供用開始年	参考情報	—
過去の事故事例		—

#### (1) 管内面防食方法

ダクタイル鋳鉄管の管内面防食方法の製品規格を表4-2に示す。通常、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。管内面防食方法により耐食性が大きく異なることから、腐食危険性の判断に重要な情報である。

なお、直管がエポキシ樹脂粉体塗装の管路では、異形管も含めてエポキシ樹脂粉体塗装が使用されており、直管の内面防食方法を確認することで硫酸腐食の可能性の有無を判断できるため、特に直管の内面防食方法を確認することが重要である。

表4-2 管内面防食方法の製品規格

管内面防食方法	管の種類	規格名	規格制定年	現在の規格の状況
エポキシ樹脂粉体塗装	直管 異形管	JSWAS G-1 (下水道用 ダクタイル鋳鉄管)	1984年	2017年現在継続中
モルタルライニング	直管			2017年現在継続中
タールエポキシ樹脂塗装	異形管			1997年規格から削除

## (2) 管路縦断データ（竣工図）

圧送管路で非満流となる箇所を推定するために、管路縦断データを収集する。正確な推定を行うため、竣工図を用いることが望ましい。

## (3) 管径，条数

腐食危険性の判断（動水こう配の計算）のために、下水道台帳や竣工図より管径を確認する。また、腐食危険性の判断の参考（管路の使用実態）、調査の現地作業計画作成の参考とするため、二条化の有無及び管径についても確認する。

## (4) 送水量（ポンプが稼働している時の送水量）

腐食危険性の判断（動水こう配の計算）のために、ポンプ場の送水量（実績もしくは規定ポンプ能力）を確認する。

## (5) 空気弁の位置

腐食危険性の判断（新鮮な空気の出入り有無）のために、空気弁の位置を確認する。また、調査の現地作業計画作成の参考とするため、空気弁の構造（構造図）や常時の開閉状態も確認する。

## (6) 吐出し先の状況（マンホールまたは着水槽）

腐食危険性の判断（動水こう配の計算）のため、圧送管路下流端の構造を確認する。吐出し先の構造としては、マンホールになっているケースがほとんどであるが、ポンプ場等の着水槽となっているケースもある。圧送管路と吐出し先の水位に差がある場合には、吐出し先の水位を確認する（図4-2参照）。

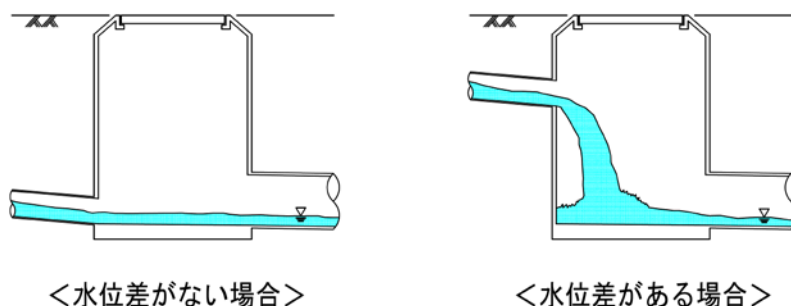


図4-2 マンホール内の水位差

## (7) 供用開始年

腐食危険性の判断の参考（腐食進行速度）にするため、供用開始年（経過年数）を確認する。

## (8) 過去の事故事例

腐食危険性の判断の参考にするため、他の圧送管路の事例も含めて、過去に硫酸腐食に関する事故実績がなかったどうかを確認する。

#### 4.2.2 管内面防食方法による抽出

ダクタイル鋳鉄管の硫酸腐食に対する耐食性は、管内面防食方法に大きく依存する。そこで、対象となる圧送管路の管内面防食方法を調査することで、硫酸腐食の可能性のある管路を効率的に抽出する。

#### 【解説】

ダクタイル鋳鉄管の硫酸腐食に対する耐食性は、管内面防食方法に大きく依存するため、対象となる圧送管路の管内面防食方法を確認することで、硫酸腐食の可能性のある管路を効率的に抽出できる。

3.2.2 実証研究に基づく腐食危険推定箇所の抽出手法の評価結果で示したように、エポキシ樹脂粉体塗装は、下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル<sup>7)</sup>の塗布型ライニング工法の品質規格 D 種規格と同等以上の性能を有し、また実管路での調査からも優れた耐食性が確認されている。このため、直管及び異形管がともにエポキシ樹脂粉体塗装の場合、空気溜りが存在したとしても、硫酸腐食が起こる危険性は低いと判断されることから、腐食危険推定箇所から除外するものとする（表 4-3 参照）。

表 4-3 ダクタイル鋳鉄管の管内面防食方法

直管	異形管	評価
エポキシ樹脂粉体塗装	エポキシ樹脂粉体塗装	耐食性塗装 ⇒ 点検実施
モルタルライニング	エポキシ樹脂粉体塗装	耐食性塗装 ⇒ 腐食危険推定箇所の抽出実施 ではない
	タールエポキシ樹脂塗装	

備考) 直管がエポキシ樹脂粉体塗装の場合は異形管も同じ塗装仕様のものが採用されているため、直管の内面防食方法だけで評価可能。

### 4.2.3 腐食危険推定箇所の抽出

腐食危険推定箇所は、圧送管路における腐食のメカニズムを踏まえて、管路縦断面図にポンプ稼働時の動水こう配線を引くことで、満流か非満流かを判断し抽出する。

#### 【解説】

##### (1) 動水こう配の計算

ポンプ稼働時の動水こう配を、(4-1)式のヘーゼン-ウィリアムズ公式を用いて計算する。

$$I = 10.666 \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85} \quad (4-1)$$

ここに

I : 動水こう配 (m/m)

C : 流速係数 (安全を考慮して150を使用<sup>\*1)</sup>)

D : 管径 (m)

Q : 流量 (m<sup>3</sup>/sec) (ポンプが稼働している時の送水量を用いる)

\*1) 管路縦断面データと実管路の配管状況には若干の齟齬がある。そこで、流速係数Cについては安全を考慮して、下水道施設計画・設計指針と解説<sup>3)</sup>で規定されている130(直線のみを使用)に10%以上の安全率を考慮して150を用いる。

##### (2) 腐食危険推定箇所の抽出手順

ここではモデル管路を事例として、基本的な腐食危険推定箇所の抽出手順を以下に示す。ただし、管径が大きい場合には検討の際にその大きさを考慮する必要があるため、腐食危険推定箇所を見落とす恐れがあるので、留意事項を(3)に示す。

- ① 吐出し先がマンホールの場合、マンホール接続部の管底高さから動水こう配線を引く。吐出し先の上流側については、動水こう配線と管頂部とが交差するまでの範囲(図中のピンクで示す範囲)を腐食危険推定箇所と判断する。そのまま動水こう配線を伸ばし、動水こう配線と管路縦断面図とが交わった点をA点とする(図4-3参照)。

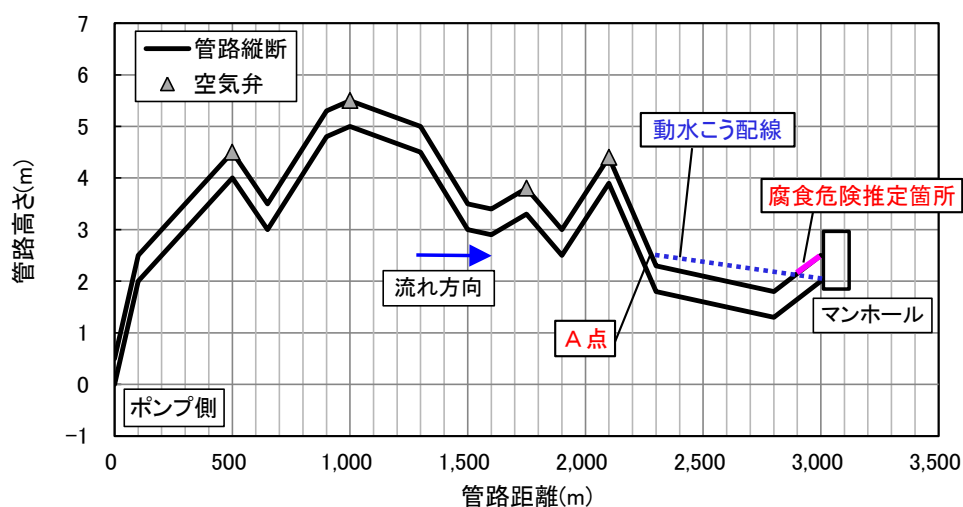


図4-3 腐食危険推定箇所の抽出①(吐出し先マンホールの場合)



また、吐出し先が着水槽の場合は、着水槽の計画水位（安全を考慮して L.W.L）から動水こう配線を引く。動水こう配線と管路縦断面図とが交わった点を A 点とする（図 4-4 参照）。なお、着水槽の上流側は満流となっており、腐食危険推定箇所と相当しない。

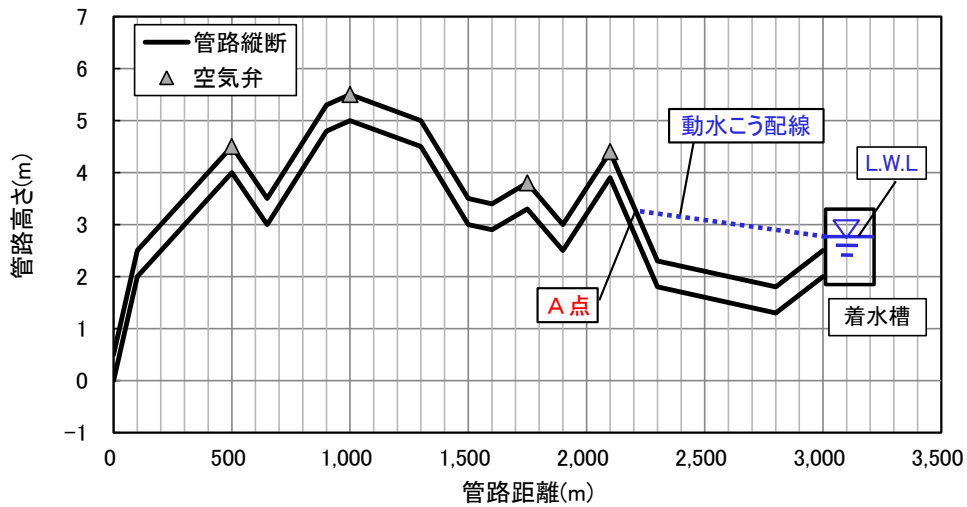


図 4-4 腐食危険推定箇所の抽出①（吐出し先着水槽の場合）

②以下、吐出し先がマンホールの場合について示す。

A 点から上流側に向かい、下りこう配の始点を B 点とする。A 点～B 点の区間は動水こう配線より管路縦断面の方が高い位置にあるため、管路が非満流（自然流下状態）になっている可能性が高い。従って、図中のピンクで示す範囲を腐食危険推定箇所と判断する（図 4-5 参照）。

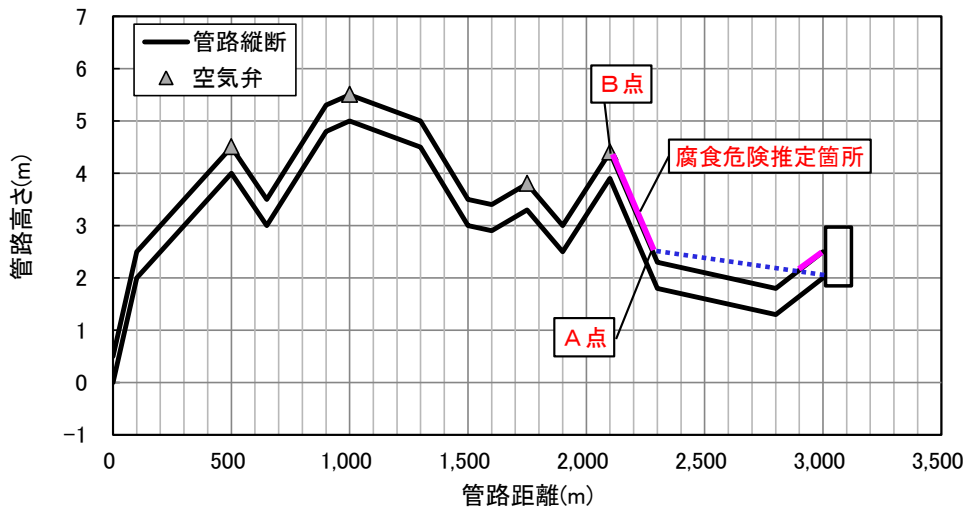


図 4-5 腐食危険推定箇所の抽出②

③B 点の管底部から、新たに動水こう配線を引く。動水こう配線と管頂部とが交差するまでの範囲（図中のピンクで示す範囲）は腐食危険推定箇所と判断する。そのまま動水こう配線を伸ばし、動水こう配線と管路縦断面図とが交わった点をC点とする（図 4-6 参照）。

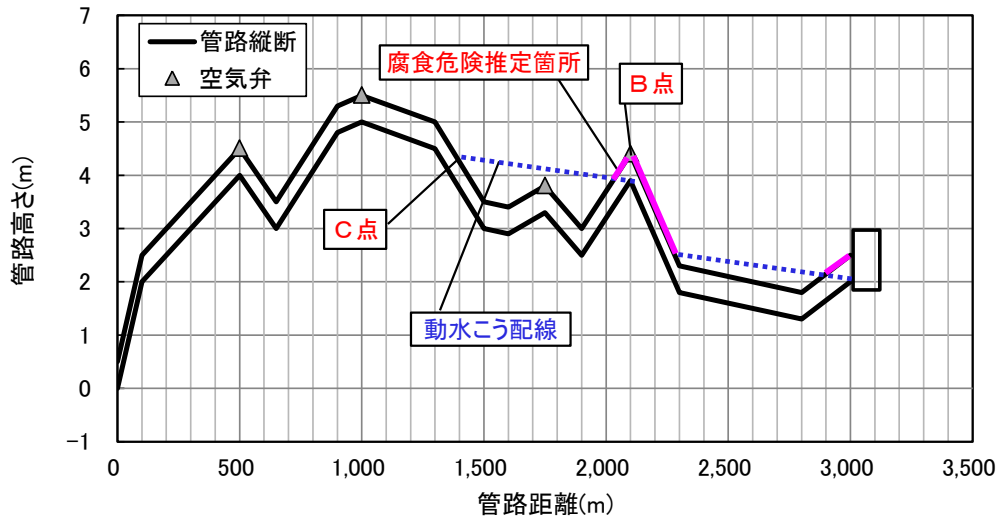


図 4-6 腐食危険推定箇所の抽出③

④C 点から上流側に向かい、下りこう配の始点を D 点とする。C 点～D 点の区間は動水こう配線より管路縦断面の方が高い位置にあるため、管路が非満流（自然流下状態）になっている可能性が高い。従って、図中のピンクで示す範囲を腐食危険推定箇所と判断する（図 4-7 参照）。

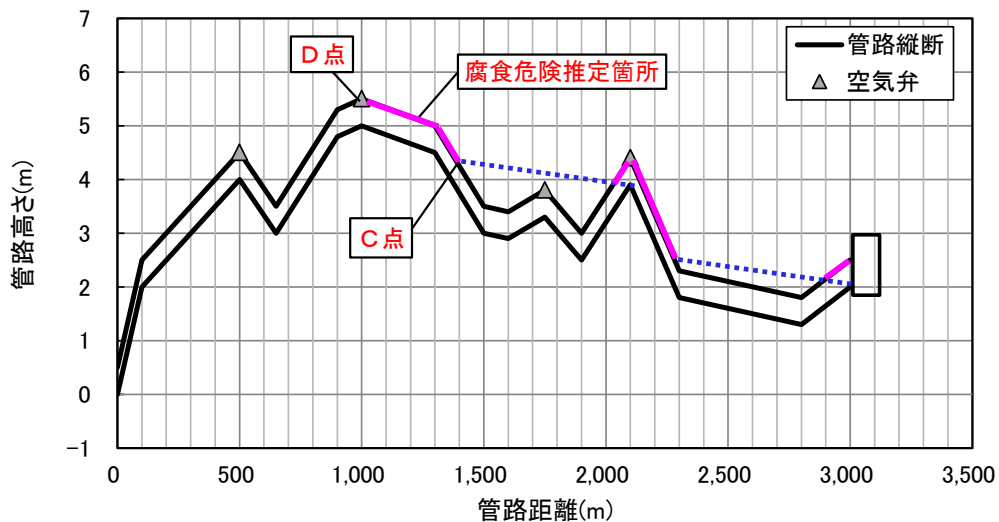


図 4-7 腐食危険推定箇所の抽出④

⑤D点の管底部から動水こう配線を引く。動水こう配線と管頂部とが交差するまでの範囲(図中のピンクで示す範囲)は腐食危険推定箇所と判断する。そのまま動水こう配線を伸ばし、動水こう配線がポンプ場に達するまで繰り返し行う(図4-8参照)。

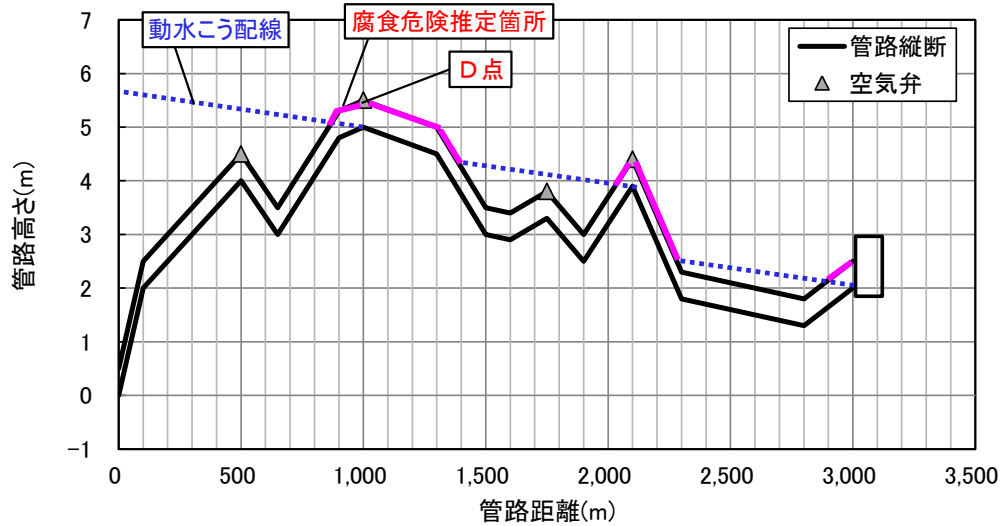


図 4-8 腐食危険推定箇所の抽出⑤

⑥腐食危険推定箇所の範囲内に空気弁が設置されているか確認する。空気弁が設置されている箇所を、最終的に腐食危険推定箇所と判断する。また、吐出し先マンホールの上流側も、非満流となるため腐食危険推定箇所と判断する。

参考として、ポンプ稼働時の下水の流れのイメージを図4-9に示す。

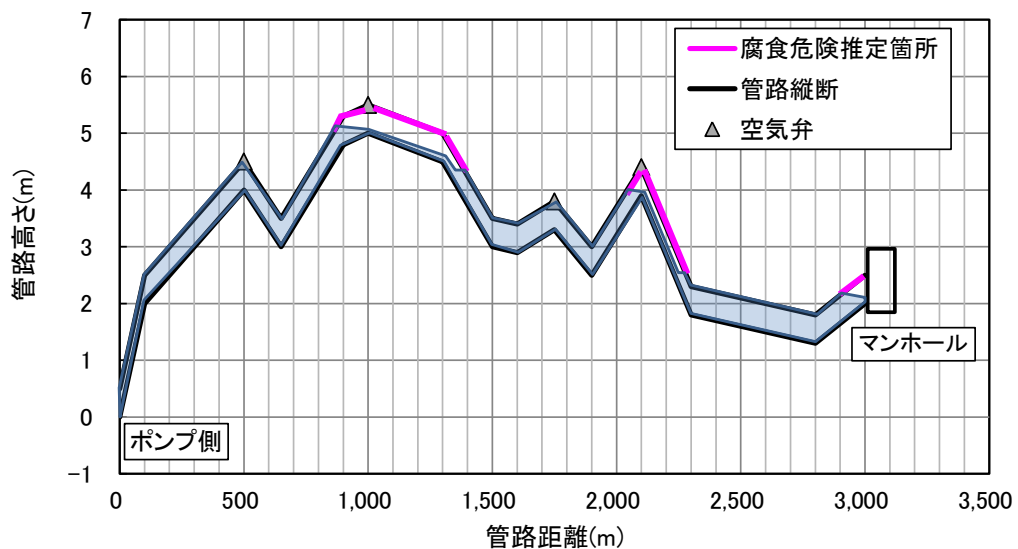


図 4-9 管内の下水の流れのイメージ (ポンプ稼働時)

### (3) 留意事項

管径が大きい場合は管内に空気溜りができやすく、管径を考慮した検討が必要となる。その場合の留意事項を以下に示す（図 4-10 参照）。

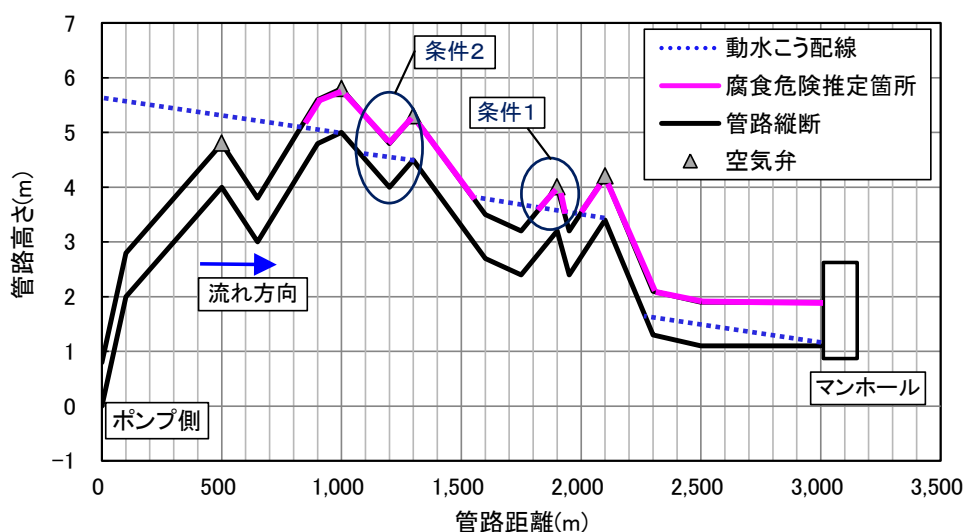


図 4-10 管径が大きい場合の検討事例（管径 800mm の事例）

#### 1) 条件 1

図 4-10 の条件 1 のように、管路縦断的に下流側の方がより高くなっている区間でも、管径が大きいとポンプ稼働時にも局所的に常に非満流になる可能性がある。管径も考慮して管頂側が動水こう配線より高い箇所については、腐食危険推定箇所と判断する。

#### 2) 条件 2

図 4-10 の条件 2 のように小さな上りこう配があっても、管径を考慮すると上りこう配部も含めて非満流になる場合があり、この場合上りこう配も含めた連続した範囲を腐食危険推定箇所と判断する。

参考として、ポンプ稼働時の下水の流れのイメージを図 4-11 に示す。

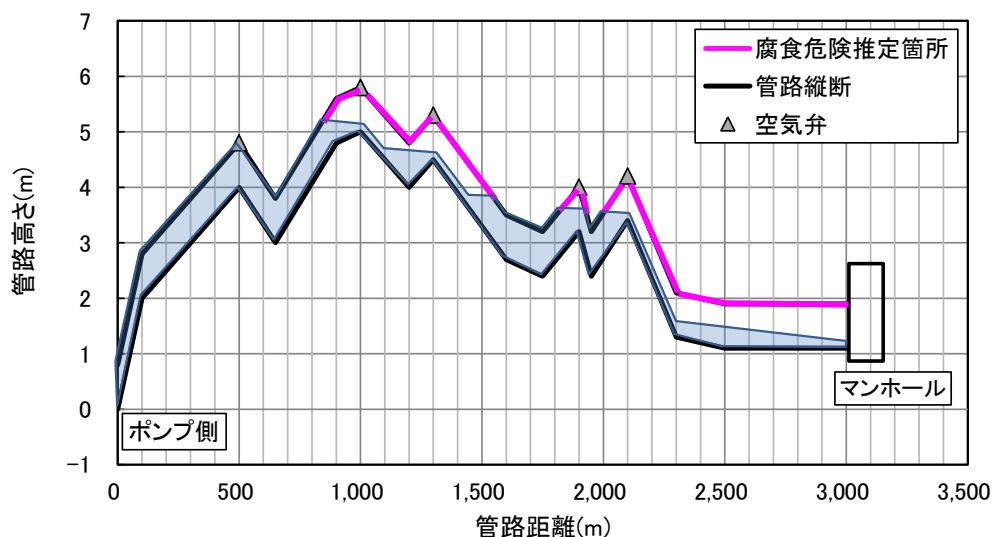


図 4-11 管内の下水の流れのイメージ（ポンプ稼働時）

# 第5章 硫酸腐食の調査手法

## 第1節 硫酸腐食の調査手順

### 5.1.1 硫酸腐食の調査手順

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て、実管路で硫酸腐食の視覚調査を行い、管内面の腐食状況を直接確認し劣化度を診断・評価する。調査は以下の手順で実施する。

- (1) 現地踏査
- (2) 事前確認
- (3) 視覚調査
- (4) 診断・評価

#### 【解説】

本調査技術は、机上スクリーニングで抽出された腐食危険推定箇所を対象に、空気弁(口径75mm)または吐出し先マンホールから本調査機器を挿入して視覚調査し、管内面の腐食状況をビデオカメラで直接確認することで、劣化度を診断・評価する。

本調査の手順を図5-1に示す。各項目の内容については、次節以降に詳述する。

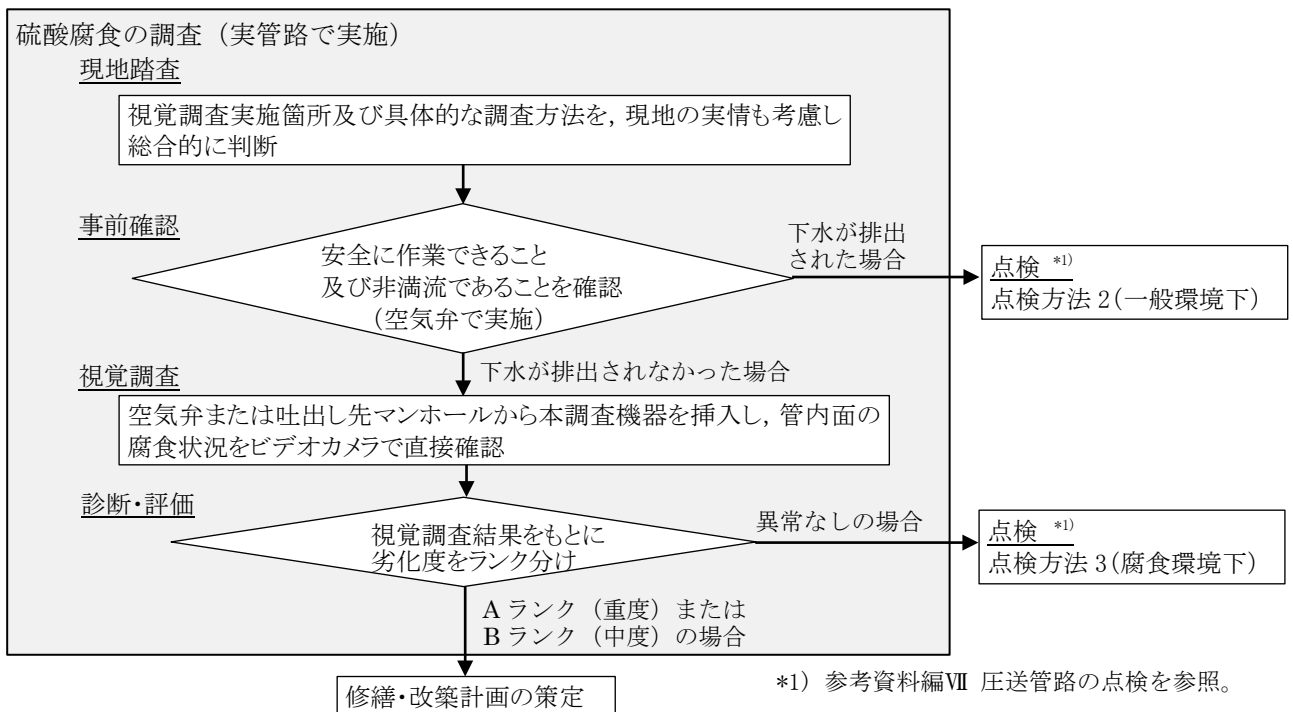


図5-1 硫酸腐食の調査手順

## 第2節 現地踏査

### 5.2.1 現地踏査

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については、基本的には全ての箇所を対象に管内面の腐食状況を視覚調査することが望ましい。しかしながら、道路交通状況や周辺環境等を考慮すると視覚調査が非常に困難な場合もあるため、視覚調査の前に現地踏査を行い、視覚調査実施箇所及び具体的な調査方法については、現地の実情も考慮し総合的に判断した上で決定する。

#### 【解説】

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については、基本的には全てを対象に管内面の腐食状況の視覚調査を行うことが望ましい。しかしながら、道路交通状況や周辺環境等を考慮すると、空気弁室やマンホールの蓋を開放して作業を行うことが非常に困難な場合もある。また、空気弁が水管橋の上に設置されており、空気弁に容易に近づけないこともある。

このため、視覚調査実施箇所及び具体的な調査方法については、表 5-1 に示す事項に留意し、現地の実情も考慮し総合的に判断した上で決定する。

表 5-1 視覚調査箇所及び調査方法を検討する上での留意事項

留意点	内容
視覚調査業務を行うことによる周辺への影響の大きさ	<ul style="list-style-type: none"><li>・渋滞発生等の道路交通への影響</li><li>・周辺住民の生活への影響</li><li>・周辺の学校、医療機関や企業活動に対する影響等</li></ul>
視覚調査実施のための仮設の要否とその費用	<ul style="list-style-type: none"><li>・空気弁(水管橋)までの作業道が設置されていないとき等に検討が必要</li></ul>
他の調査結果からの類推の可否	周辺への影響や仮設を考慮して視覚調査実施が困難と判断した場合には、以下に示す他の調査結果から、腐食状況を類推することを検討する。 <ul style="list-style-type: none"><li>・同じ圧送管路の他の箇所での調査結果</li><li>・同じ下水道事業体内の他の圧送管路での調査結果</li></ul>

### 第3節 事前確認

#### 5.3.1 事前確認

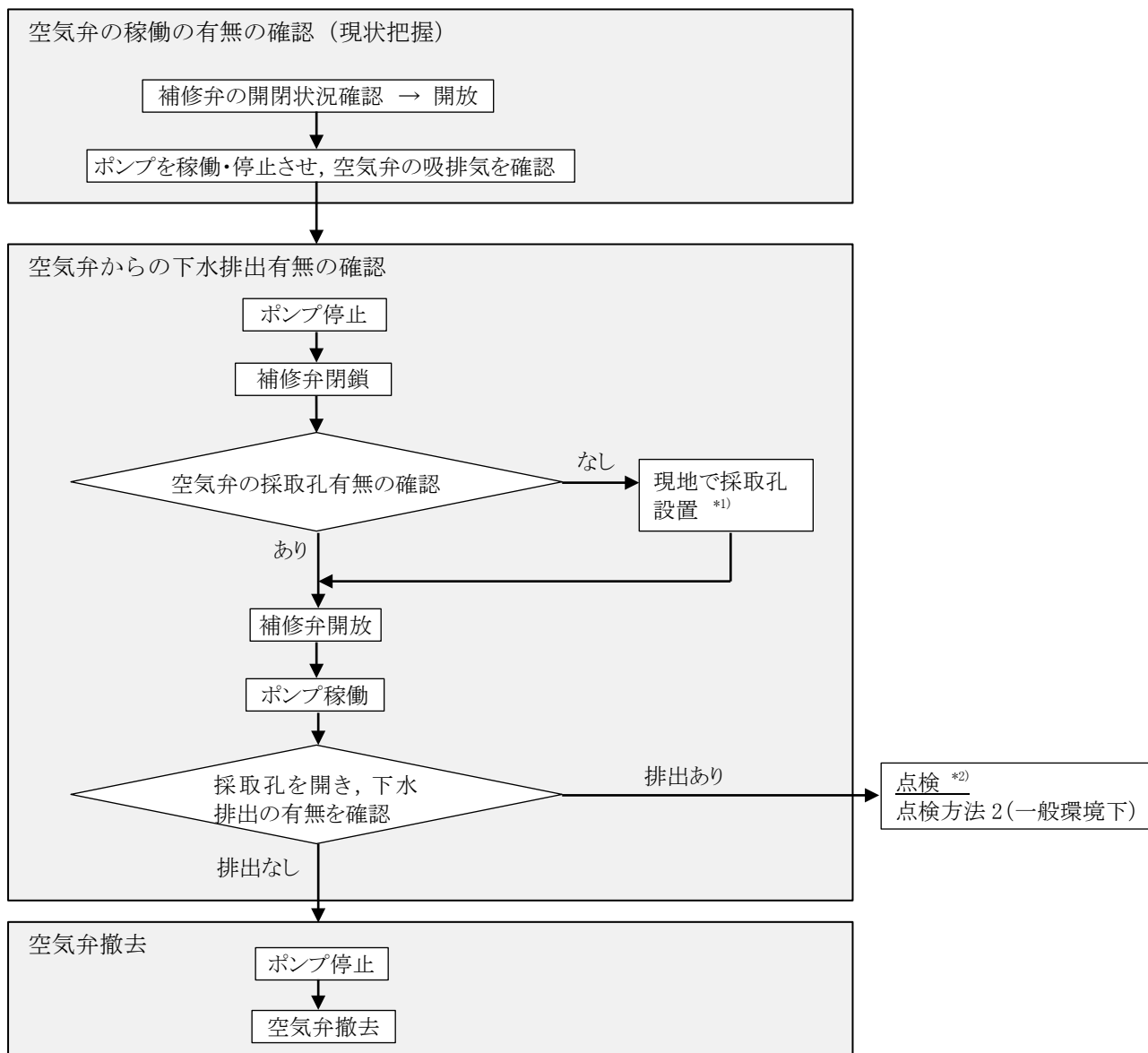
視覚調査実施の直前に、空気弁を安全に撤去できること、また、空気弁から下水が溢水しないことを必ず確認する。

#### 【解説】

視覚調査は、ポンプ停止状態で空気弁から本調査機器を挿入し、管内面の腐食状況をビデオカメラで直接確認する。そのため、視覚調査前に空気弁を撤去する必要があるが、満流状態の管路から空気弁を撤去すると、下水が溢れ止まらなくなる可能性がある。また、空気弁撤去により管内から高濃度の硫化水素が排出され、人命に関わるような重大事故につながる危険性もある。

そこで、視覚調査実施の直前に、空気弁を安全に撤去できること、また、空気弁から下水が溢水しないことの確認を事前確認として必ず行う。事前確認時には、空気弁室内の空気中の酸素濃度及び硫化水素濃度を常に測定し、酸素濃度を18%以上、かつ、硫化水素濃度を10ppm以下に保つように換気を行う。なお、事前確認で空気弁から下水が排出された場合は、管内は満流状態になっており、硫酸腐食が発生している可能性は低いと判断できる。

事前確認の手順（図5-2参照）及び留意事項を以下に示す。



\*1) 下水の漏れや硫化水素濃度に細心の注意が必要。

\*2) 参考資料編VII 圧送管路の点検を参照。

図 5-2 事前確認の手順



## (1) 空気弁稼働の有無の確認（現状把握）

### 1) 補修弁の開閉状態の確認

空気弁の下に設置されている補修弁（図 5-3 参照）が開放状態になっていることを確認する。補修弁が閉鎖された状態になっている場合は、開放する。なお、補修弁が老朽化等により固着している場合は、注意しながら開閉作業を行う。また、補修弁の開閉の方向が分からない場合は、補修弁を半分程度開いた状態にする。

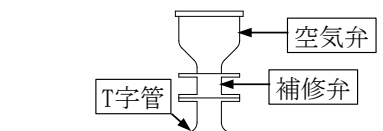


図 5-3 補修弁の設置例

### 2) 空気弁の吸排気の確認

空気弁が正常に稼働していると、負圧になれば空気弁から吸気することで管内に新鮮な空気を取り込み、その後正圧になれば空気弁から管内の空気を排出する。したがって、圧送管路が非満流になる箇所に空気弁が設置されていれば、空気弁が吸排気し硫酸腐食が発生する環境になると考えられる。

ただし、空気弁または補修弁が長期間にわたって閉鎖された状態になっていると、空気弁から新鮮な空気が供給されず、硫酸腐食が進行していない可能性がある。またこの場合、管内の空気の入れ替わりがないために、気相中に放散された硫化水素がほぼ飽和状態（気液平衡濃度）になり、非常に高濃度の硫化水素が管内に滞留している可能性が高い。このように空気弁の吸排気の確認は、硫酸腐食の進行の可能性や安全上の課題等を把握する上で重要である。

そこで、ポンプ稼働・停止時に少なくとも 1 回ずつ、空気弁の吸排気の状態を確認し、表 5-2 のように判断する。

表 5-2 空気弁の吸排気の確認と判断方法

空気弁の吸排気	硫酸腐食の可能性	管内の状況
あり	新鮮な空気が供給されており、硫酸腐食の可能性が高い。	ポンプ停止時には非満流になっている可能性が高い。そのため、ポンプ停止時に空気弁を撤去しても下水が溢れる可能性は低い。
なし	空気の入れ替わりがなく、硫酸腐食が進んでいない可能性がある。ただし、過去には吸排気が行われていた可能性もあり、硫酸腐食の有無を明確に判断できない。	吸排気が行われていない原因として、空気弁自体の故障、補修弁の閉鎖、管路が常に満流状態になっている、のいずれかが考えられる。下水の溢れや高濃度の硫化水素排出の可能性があり、慎重な対応が必要。

## (2) 空気弁からの下水排出の有無の確認

### 1) 空気弁の採取孔有無の確認

空気弁の採取孔の有無を確認する。写真 5-1 に採取孔の設置事例を、写真 5-2 に採取孔の未設置の事例を示す。採取孔が設置されていないときは、ポンプが停止していることを確認した上で、蓋を取り外し、採取孔付きの蓋と取り替える（写真 5-2 参照）。



写真 5-1 空気弁の採取孔設置状況の一例



写真 5-2 空気弁に設置された蓋と採取孔設置の一例

#### <留意事項>

蓋を取り外すと、下水の溢れや高濃度の硫化水素の排出の可能性がある。蓋を取り付けているボルトを少し緩め、少し隙間を作り、下水及び空気の排出が止まったことを確認した上で蓋を取り外す。下水の排出が止まらない時は、満流状態であると判断し、それ以降の視覚調査は実施しない。

## 2) 下水排出有無の確認

空気弁の設置箇所がポンプ稼働時に満流か非満流かを確認する。採取孔を開き、ポンプ稼働開始からポンプが停止するまでの間に下水が排出されるかどうかを確認し、表 5-3 のように判断する。

表 5-3 空気弁からの下水排出の有無と判断方法

採取孔からの下水排出	評価
なし	空気弁設置位置の管内は常に非満流。 ⇒ 硫酸腐食の可能性が高いと判断し、視覚調査を実施する。
あり	空気弁設置位置の管内は、ポンプ稼働時には満流状態。 ⇒ 硫酸腐食の可能性は低いと判断し、視覚調査は実施しない。 点検(一般環境下)を実施する。

## (3) 空気弁撤去

採取孔からの下水排出がなかった場合にのみ、視覚調査実施に向けて空気弁を撤去する。空気弁撤去はポンプ停止を確認した上で行う。

### <留意事項>

管内に圧力が残った状態で空気弁と補修弁とを接合しているフランジボルトを取り外すと、圧力により空気弁が上方方向に飛び、人身事故につながる可能性がある。フランジボルトを少し緩め、隙間から空気が排出されていないことを確認した後、空気弁を撤去する。

## 第4節 視覚調査

### 5.4.1 視覚調査の概要

視覚調査は、空気弁（口径 75mm）または吐出し先マンホールから挿入可能な本調査機器を圧送管路内に押し込んで、管頂側約 180° の範囲をビデオカメラで連続的に撮影した画像をパソコンに記録するものである。

#### 【解説】

視覚調査は、空気弁（口径 75mm）または吐出し先マンホールから挿入可能な本調査機器を圧送管路内に 30m程度押し込み、リールによりガイドを引き戻す際に管頂側約 180° の範囲をビデオカメラで連続的に撮影するものである。撮影した画像は、パソコンモニターでリアルタイムに確認することが可能であり、また、パソコンに記録し、事務所等で劣化度の診断を行う。本調査機器のイメージを図 5-4 に示す。

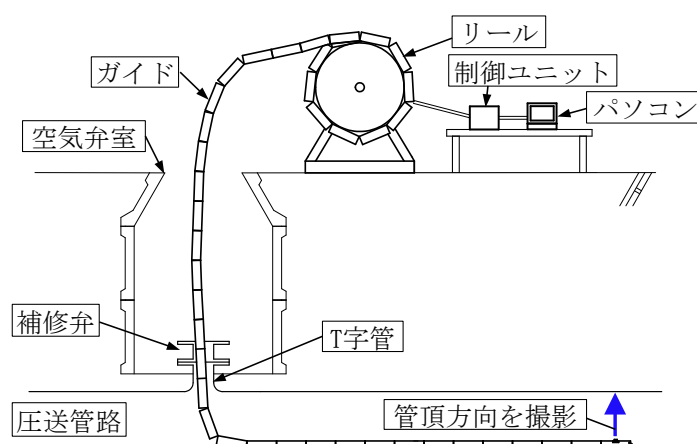


図 5-4 本調査機器のイメージ

#### 5.4.2 視覚調査の適用条件

視覚調査の適用条件を以下に示す。

(1) 本調査機器の挿入可能箇所

空気弁（口径 75mm 以上）または吐出し先マンホール

(2) ポンプ停止時間

連続して 1.5 時間以上ポンプを停止できること

(3) 管内の状況

管内に滞留する下水水深が 30mm 以下の場合に視覚調査可能で、また、高さ 50mm 以下の堆積物があっても本調査機器を押し込み可能

(4) 曲線配管部への対応

22.5° 以内の曲管が配管されていても本調査機器を押し込み可能

(5) 対象管径

200mm～1000mm

(6) 視覚調査可能範囲

空気弁及び吐出し先マンホールから 30m の範囲

(7) 輸送する流体

汚水

#### 【解 説】

視覚調査の適用条件を以下に示す。

##### (1) 本調査機器の挿入可能箇所

本調査機器は、空気弁または吐出し先マンホールから管内に挿入する。圧送管路では、通常口径 75mm の空気弁が用いられていることが多く、本調査機器は口径 75mm 以上の空気弁に対応することができる構造とした。空気弁の口径が 75mm より小さい場合は、本調査機器を挿入することはできない。

##### (2) ポンプ停止時間

視覚調査は、原則、ポンプが停止した状態で行う。ポンプ停止時間は 1.5 時間以上を確保できることが望ましい。

##### (3) 管内の状況

管内に滞留している下水の水深が大きくなると、本調査機器のビデオカメラが水没し撮影できなくなる。よって、視覚調査時の管内水位は、ビデオカメラが水没しない水深 30mm 以下とする。ただし、部分的に水深 30mm 以上の箇所があっても本調査機器の耐水性に問題はなく、それ以外の範囲は視覚調査可能である。

また、管内に若干の堆積物（高さ 50mm 以下）が存在しても、本調査機器は堆積物を乗り越えながら押し込むことができる。

#### (4) 曲線配管部への対応

本調査機器は金属製のガイドを用いて押し込むが、直進性を高めるため、左右に屈曲しにくい構造となっている。ただし、ガイド間の結合部に若干の余裕を持たせているため、曲線配管部（22.5° 以内の曲管）程度であれば押し込み可能である。

#### (5) 対象管径

圧送方式が広く用いられている幹線管きょへの対応、本調査機器の構造上の制約から、対象管径は 200mm～1000mm である。

#### (6) 視覚調査可能範囲

##### 1) 空気弁からの視覚調査

空気弁から本調査機器を挿入する場合、空気弁から 30m の範囲を視覚調査することができる。ただし、調査区間が急激な下りこう配（角度 20° 以上）になっている場合は、本調査機器を回収できなくなる可能性があるため、実際の配管状況を確認した上で、視覚調査距離を短くする等の対応を図る。

##### 2) 吐出し先マンホールからの視覚調査

吐出し先マンホールから本調査機器を挿入する場合は、マンホールから上流側 30m の範囲を視覚調査できる。ただし、マンホール上流側が急激な下りこう配（下流側に向かって角度 5° 以上）になっている場合は、本調査機器を長距離押し込むことが難しくなるため、実際の配管状況を確認した上で、視覚調査距離を短くする等の対応を図る。

#### (7) 輸送する流体

汚水を対象とする。

流体が汚泥の場合、黒色の汚泥が本調査機器のカメラレンズに付着し、視覚調査を行うことが困難となるため、対象外とした。

### 5.4.3 調査機器

視覚調査は、以下の機器より構成される本調査機器を用いて行う。

- (1) 先頭ユニット
- (2) ガイド
- (3) リール
- (4) 制御ユニット
- (5) パソコン

#### 【解説】

本調査機器のシステムの概要を図 5-5 に、仕様を表 5-4 に示す。

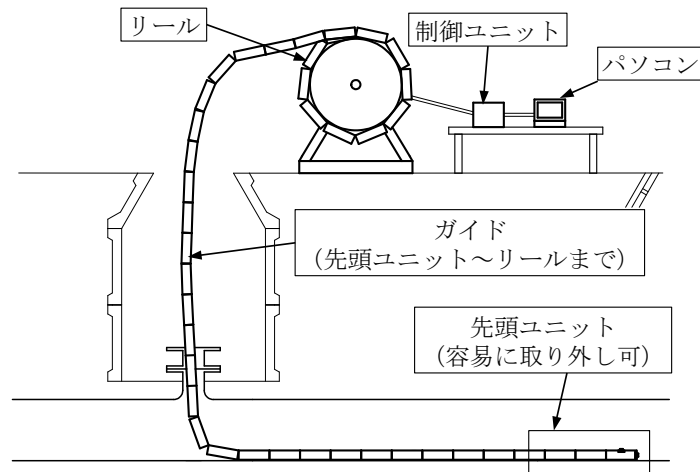


図 5-5 本調査機器のシステムの概要

表 5-4 本調査機器の仕様

部位	項目	仕様
ビデオカメラ	解像度	640×480ドット以上
	防水性能	水深1mクラス
	撮影範囲	管頂カメラ: 管頂側 約180° 前方カメラ(補助カメラ): 管底側 約180°
	フォーカス	自動
ガイド	寸法(ヘッド部)	58mm×48mm: 空気弁(口径75mm)から挿入可能
	延長	約30m
	屈曲	22.5° 曲管に対応
その他	適用管径	200mm～1000mm
	全重量	150kg(調査距離30m)
	照明	LED照明: 100 lm相当以上

本調査機器の特徴を表 5-5 に示す。既存の押し込み式カメラは、空気弁から挿入できるが、管径が大きい管路 (250mm 以上) ではケーブルが曲がり 5m 程度しか押し込むことができない。また、自走式カメラは、最も小さいものでも管径 100mm 以上しか通過できず、口径 75mm の空気弁から挿入できない。

本調査機器は、こうした課題を解決するため、金属製のガイドを空気弁から圧送管路内に押し込み、その先頭部に設置した小型のビデオカメラで視覚調査を行う構造とした。

表 5-5 本調査機器の特徴

必要性能	本調査機器	既存技術	
		押し込み式カメラ	自走式カメラ
① 空気弁 (口径75mm) から挿入可能	①, ②, ③, ④ ガイドを利用して対応	① 空気弁から挿入可能	②, ③, ④ 管内を自走するため対応可能
② 若干の堆積物 (高さ 50mm 以下) にも対応		②, ③, ④ 管径が大きくなるとケーブルが曲がって押し込み不可	① 口径75mmの空気弁から挿入不可
③ 対象管径 200mm~1000mm		管内堆積物にも対応	
④ 空気弁から30mの範囲を調査可能		① 小型カメラを採用	困難

### (1) 先頭ユニット

本調査機器の先頭部に設置した先頭ユニットで管内面の調査を行う (写真 5-3 参照)。先頭ユニットには小型ビデオカメラが 2 個設置されており、管頂方向と前方方向とを撮影する。各カメラの周辺にはライトが設置されており、照度を調整しながら管内面の状況を撮影できる。また、先頭ユニットは防水性のコネクタでガイド内部のケーブルと接続する。各カメラの目的と性能を表 5-6 に示す。



写真 5-3 先頭ユニット

表 5-6 カメラの目的と性能

		管頂カメラ	前方カメラ
目的		主カメラとして使用 ・管内面の腐食状況の視覚調査実施	補助カメラとして使用 ・管内の堆積物や下水の有無を確認 ・管頂カメラで十分に確認できない場合*1)は、前方カメラで視覚調査実施
性能	撮影範囲	管頂側 約180°	管底側 約180°
	解像度	640×480ドット以上	
	フォーカス	自動 (管径200mm~1000mmに対応可能)	
	防水性能	水深1mクラス	

\*1) 管側部より下側で激しい腐食が起こっている場合、等を想定。



## (2) ガイド

管内に先頭ユニットを押し込んでいくために、金属製のピース(縦58mm×横48mm×長さ100mm)を組み合わせたガイドを用いる。ピース間を蝶番で結合することで1方向にのみ屈曲でき、各ピースにウレタン製のタイヤを1箇所ずつ取り付けることでガイド押し込み時の摩擦抵抗を低減している。また、ガイドの内側にはカメラ用及びライト用のケーブルを通し、先頭ユニット及び制御ユニットとコネクタで接続する。ガイドの構造を写真5-4に、ガイドの特徴を表5-7に示す。

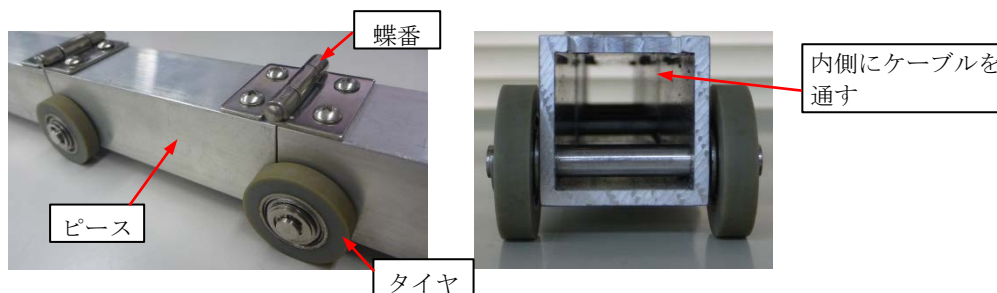


写真5-4 ガイドの構造

表5-7 ガイドの特徴

要求事項	必要性能	具体的対策
空気弁から挿入可能 (口径75mm)	空気弁から挿入した後、90°屈曲して管軸方向に推進できること。	ピースの大きさ:58mm×48mm×100mm ガイドは1方向のみ屈曲可能。
空気弁から30mの距離を押し込み可能	押し込み時にガイドが容易に座屈しないこと(左右,上下とも)。	ガイド間の結合部は、左右方向及び下方向には屈曲しにくい構造。
管路の曲線への追従 (22.5°以下の曲管)	管路の曲線に添って左右に若干屈曲すること。	ガイド間の結合部に若干の余裕を持たせることで、管路の曲線に追従。
カメラ, ライトの配線	ガイド内にカメラ, ライト用のケーブルを配線できること。	ガイドの内側に空洞を設けることで、ケーブルを配線可能。

## (3) リール

ガイドを収納し、また管内への押し込みを容易にするため、写真5-5のようなリールにガイドを巻きつける。また、リールにはエンコーダが設置されており、視覚調査箇所と空気弁との距離を測定することができる。

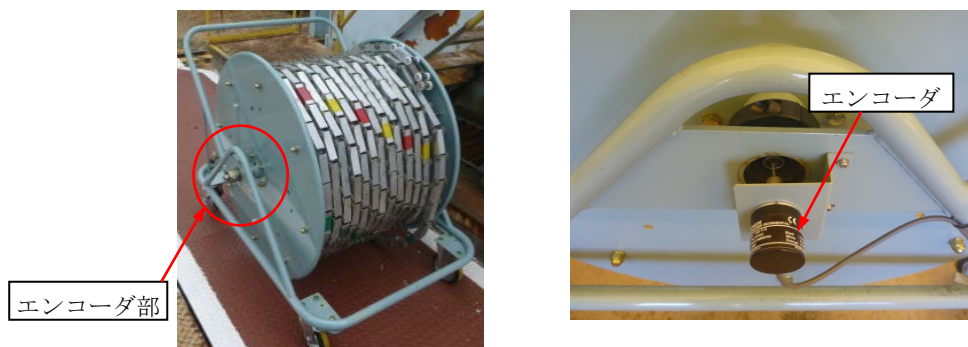


写真5-5 リール

#### (4) 制御ユニット

管頂カメラ及び前方カメラの出力をパソコンに取り込めるよう画像データを変換する。また、エンコーダで測定した空気弁からの距離データも、画像データと連動してパソコンに取り込めるようにする（写真 5-6 参照）。

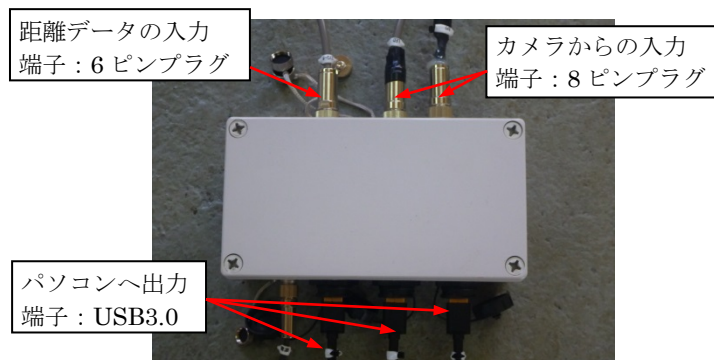


写真 5-6 制御ユニット

#### (5) パソコン

管頂カメラ及び前方カメラの画像データと距離データとをモニタリングしつつ、同時に連続的に記録する。また、画像データを見ながらライトの照度を調整する（写真 5-7 参照）。なお、上記の操作は本調査機器用の専用ソフトで行う。



写真 5-7 パソコン（撮影画面）

#### 5.4.4 視覚調査の手順と留意事項

視覚調査は、本調査機器の構造や特徴に留意しつつ、現地の管内状況に応じた適切かつ慎重な手順で実施するものとする。また、視覚調査終了後は、空気弁の再設置及びポンプ稼働後の漏水有無等の確認を行い、適切に現状復旧するものとする。

#### 【解説】

視覚調査は、図 5-6 の手順で実施する。

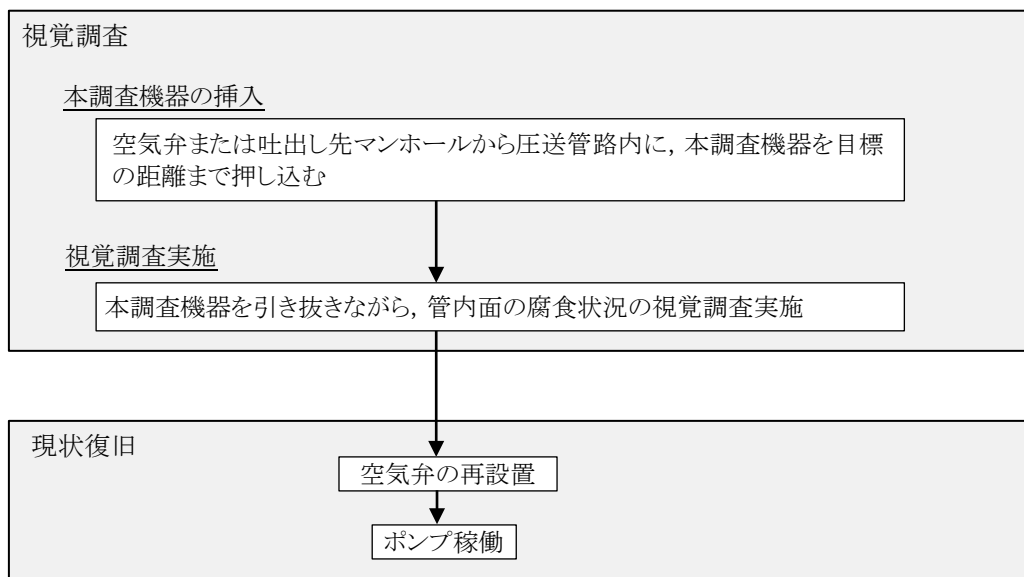


図 5-6 視覚調査の手順

視覚調査の各手順の内容と留意点を以下に示す。

#### (1) 視覚調査

- ①本調査機器を空気弁から管内に挿入し、目標の距離まで管内に押し込む。押し込みは、前方カメラで管内の状況を確認しながら行う（写真 5-8 参照）。



写真 5-8 本調査機器挿入の状況

②その後、3～6 m/min の速度を目安に本調査機器を引き抜きながら、管内面の腐食状況をビデオカメラで連続的に撮影し、画像データをパソコンに記録する。また、エンコーダによる距離データも同時に記録する。

腐食が激しい箇所等については、引き抜きを一旦止めて、静止した状態で撮影を行う。なお、カメラレンズ表面に水滴が付着する等の理由で画像が不鮮明な場合は、鮮明な画像を取得できるよう調整を行った後、本調査機器を必要な距離まで再度押し込んで調査し直す。

<留意事項>

- ・管径が大きくなると、空気弁の直下でガイドが推進方向と逆方向に屈曲し、本調査機器をそれ以上押し込めなくなる可能性がある(写真 5-9 参照)。そこで、管径 600mm 以上については、**図 5-7** に示す挿入補助治具を用い、ガイドの屈曲を抑制しながら本調査機器を押し込む。また、管径が 600mm 未満の場合も、本調査機器を管内に押し込みにくい場合は、挿入補助治具を用いることができる。
- ・管内堆積物等の影響で本調査機器を押し込みにくくなったときは、ガイドを 20cm 程度引き抜き、再度押し込むことで対応できる。

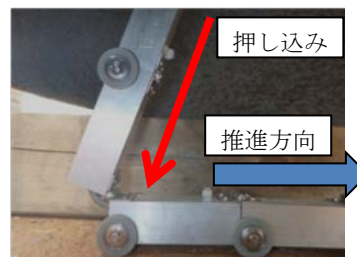


写真 5-9 逆方向屈曲状況

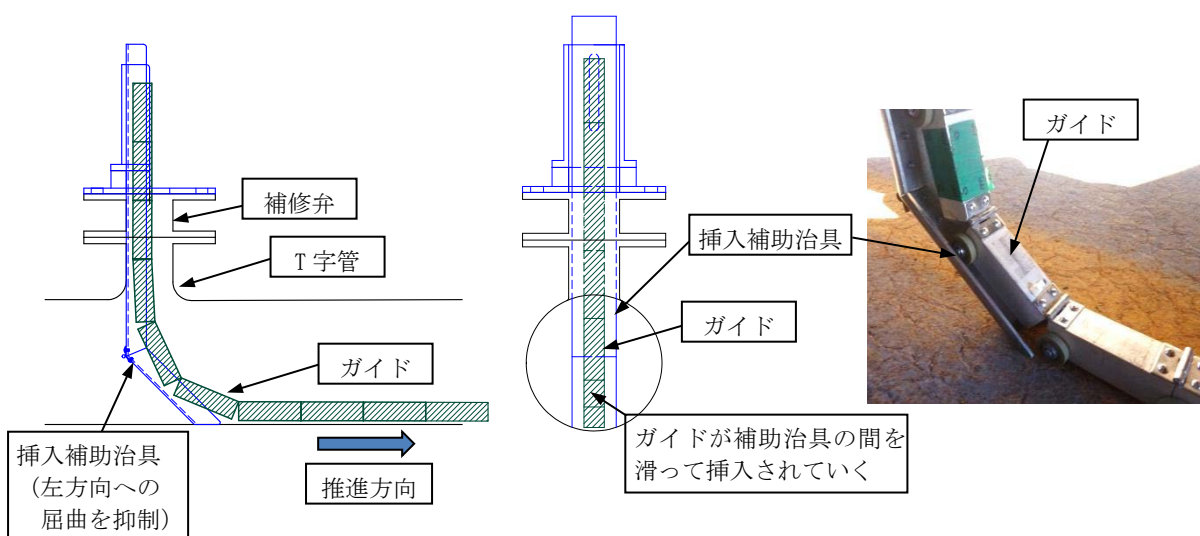


図 5-7 挿入補助治具

## (2) 現状復旧

空気弁を再設置し、視覚調査前の状況に戻す。ただし、フランジガスケットやボルト・ナットについては、腐食や劣化が見られる場合は新しいものと取り換えることが望ましい。

その後、ポンプを稼働し空気弁から漏水がないことを確認し、空気弁室の蓋を閉じて視覚調査を終了する。

## 第5節 診断・評価

### 5.5.1 診断・評価方法

ビデオカメラで撮影した画像をもとに、圧送管路の管内面の劣化度を以下のようにランク分けし、必要な対策や今後の点検方法を検討する。

- ・Aランク（重度）：鉄部腐食あり
- ・Bランク（中度）：モルタルライニング表面が部分的に変色，腐食発生
- ・Cランク（軽度）：実証研究でCランクに相当する状況が確認されず，設定しない
- ・異常なし：モルタルライニング表面が全面均一

#### 【解説】

ビデオカメラで撮影した画像をもとに、圧送管路の管内面の劣化度を以下のようにランク分けし、必要な対策や今後の点検方法を検討する。

#### (1) 劣化度ランク分け

2.1.2 圧送管路の硫酸腐食のメカニズムで示したように、圧送管路で硫酸腐食が発生するのは管内に気相部が存在する限定された条件下であるが、こうした箇所では短期間で管材腐食が進行する可能性が高い。一方、満流状態になっている箇所では、腐食が進行する可能性は低い。このように、圧送管路では自然流下管きよと比較して、より明確に劣化度をランク分けできると考えられる。

B-DASH プロジェクトの実証研究で、6 管路の計 8 箇所の空気弁から視覚調査を行ったが、管内面の劣化度は、概ね表 5-8 に示すようにランク分けできることが確認されている。参考に劣化度毎の調査事例を表 5-9 に示す。

なお、実証研究でCランクに相当する状況が確認されなかったこと、また、モルタルライニングの軽微な変色と汚れとの見分けが困難なことから、Cランクは設定していない。

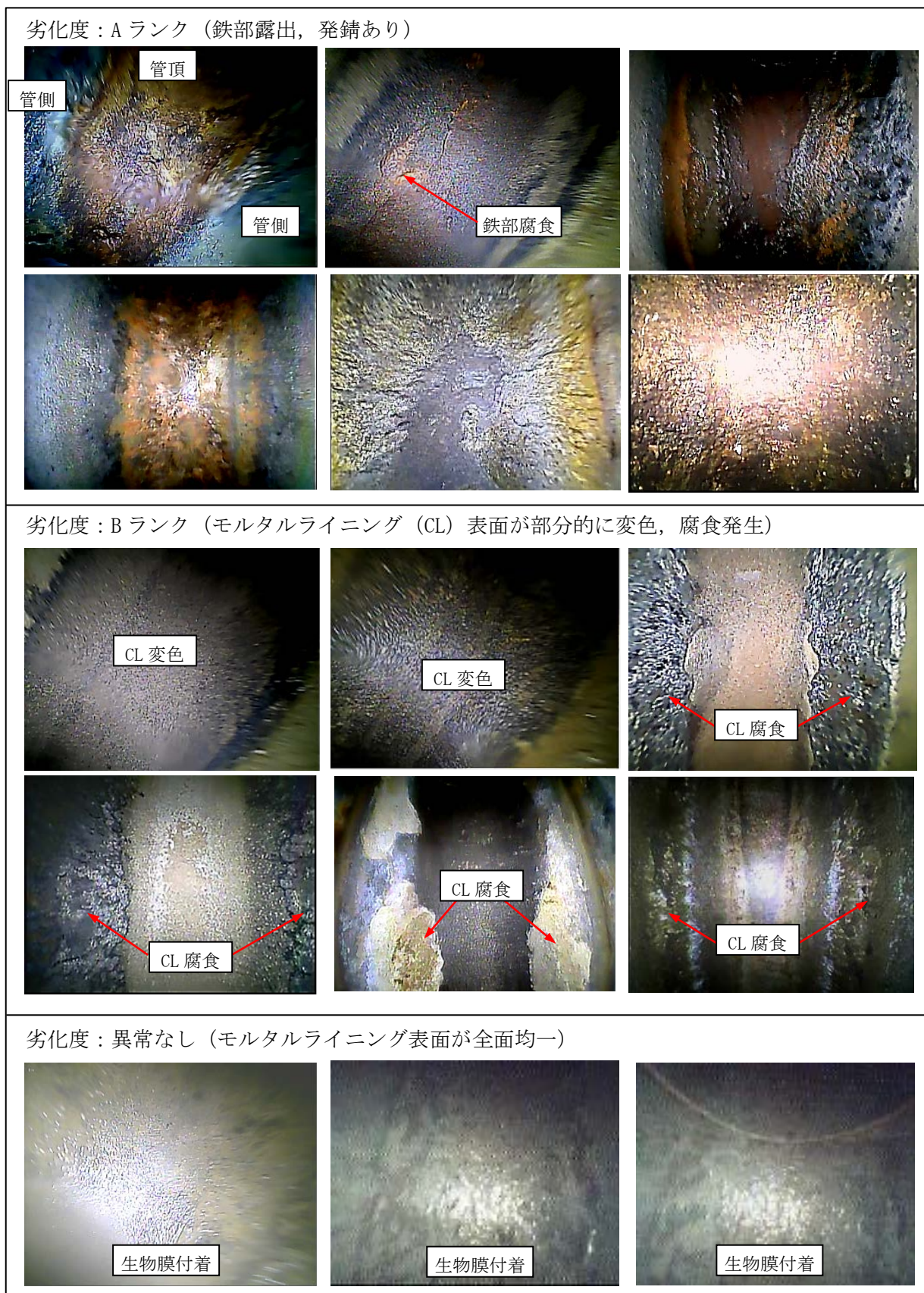
表 5-8 圧送管路の劣化度のランク分け

劣化度	管内面状況
Aランク（重度）	鉄部腐食あり
Bランク（中度）	モルタルライニング表面が部分的に変色，腐食発生
Cランク（軽度）	— *1)
異常なし	モルタルライニング表面が全面均一 *2)

\*1) Cランクは、実証研究で確認されなかったこと、また、モルタルライニングの軽微な変色と汚れとの見分けが困難なため、設定せず。

\*2) モルタルライニング表面に生物膜が付着していることが多い。

表 5-9 劣化度毎の調査事例 (管頂側約 180° を撮影)



## (2) 劣化度毎の対応例

### 1) A ランク (重度)

硫酸腐食が発生する腐食環境下では、硫化水素から生成された硫酸によりモルタルライニングが腐食し、その後鉄部の腐食が進行する。また、硫酸腐食により激しく腐食したコンクリート表面の pH は、1~3 と強酸になることも報告されている<sup>9)</sup>。

参考資料編V 劣化度ランク分けの根拠に示すように、pH1 の硫酸溶液にダクタイル鋳鉄を浸漬すると、16mm/年以上のハイペースで腐食が進行する。このように、腐食環境下では鉄部腐食が始まると極短期間に鉄部管厚がほぼゼロになり、管に穴が開く可能性がある。

そこで、鉄部が腐食している場合は、速やかに修繕・改築計画を策定し、早急に修繕または改築を実施する。

### 2) B ランク (中度)

モルタルライニングが変色し腐食は見られるが、鉄部腐食が始まっていないBランクは、将来的に対策が必要な箇所と位置付けられる。仮に今すぐ鉄部腐食が始まっても、直ちに事故(漏水や道路陥没)が起こる状態ではないと考えられる。

そこで、モルタルライニングの変色、腐食が検出された場合は、速やかに修繕・改築計画を策定し、5年以内に修繕または改築を実施する。

### 3) 異常なし

モルタルライニング表面に変色、腐食が見られず全面均一の場合は、異常なしと判断できる。ただし、調査箇所は空気弁から下水が排出されていない非満流箇所であり、「腐食の恐れの大い箇所」に相当するため、5年に1回以上の適切な頻度で点検(腐食環境下)を行う必要があると判断する。

劣化度毎の対応例を表 5-10 に示す。

表 5-10 劣化度毎の対応例

劣化度	対応例
Aランク (重度)	速やかに修繕・改築計画を策定, 実施
Bランク (中度)	速やかに修繕・改築計画を策定し, 5年以内に実施
異常なし	5年に1回以上の適切な頻度で点検(腐食環境下)を実施 <sup>*1)</sup>

\*1) 参考資料編VII 圧送管路の点検を参照。



## 第6節 代替手法

### 5.6.1 デジタルカメラを用いた調査

水管橋に設置されている空気弁から視覚調査を行う場合に、本調査機器を用いると非常に大掛かりな仮設設備が必要となる箇所や、非満流ではあるが管底側に常に下水が滞留しており、本調査機器が水没して視覚調査が困難な箇所では、便宜的にデジタルカメラを用いた管内調査で代替する。

#### 【解説】

圧送管路の場合、河川等を横断する場合に水管橋が用いられることが多い。水管橋は、一般的に管路縦断がその周辺より高くなり、空気弁も設置されていることから、腐食危険推定箇所に相当することが多い。しかしながら、水管橋に設置されている空気弁から本調査機器を用いて視覚調査を行うと、非常に大掛かりな仮設設備が必要となることがある。

また、管路縦断条件によっては、ポンプ稼働時・停止時ともに非満流になっているが、管底側には常に下水が滞留している箇所がある。こうした箇所は腐食危険推定箇所となるが、滞留している下水のため本調査機器が水没し視覚調査が困難となる。

こうした場合には、視覚調査範囲は空気弁の近傍に限定されるが、以下に示すデジタルカメラを用いた管内調査で代替する。

#### (1) デジタルカメラを用いた視覚調査方法

図 5-8 に示すような方法で空気弁から市販のデジタルカメラを挿入し、タブレット端末等で Wi-Fi を利用してリモート操作し、管内面の状況を撮影する。デジタルカメラ調査機器の構成を表 5-11 に、デジタルカメラ調査状況を写真 5-10 及び写真 5-11 にそれぞれ示す。この方法で空気弁から 5m 程度の管内面の腐食状況を確認することができる。

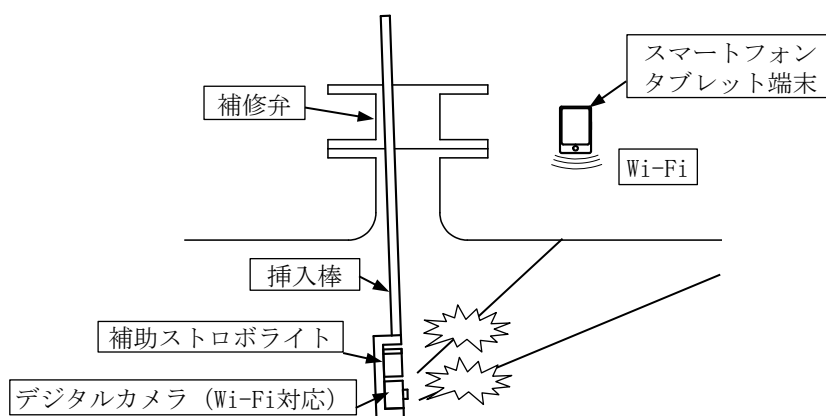


図 5-8 デジタルカメラを用いた視覚調査

表 5-11 デジタルカメラ調査機器の構成

調査機器	必要な性能	仕様
デジタルカメラ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空気弁から挿入可能</li> <li>・管径200mm～1000mmに対応可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大きさ:縦100mm, 横60mm, 高さ25mm以下</li> <li>・Wi-Fiでリモート操作可能</li> <li>・挿入棒に取り付け可能</li> </ul>
ストロボライト*1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空気弁から5mの範囲を視覚調査可能</li> <li>・地上から操作可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大きさ:縦100mm, 横60mm, 高さ25mm以下</li> <li>・ガイドナンバー:18以上</li> <li>・バッテリーで稼働</li> <li>・スレーブ機能付き</li> <li>・挿入棒に取り付け可能</li> </ul>

\*1) ストロボライトを用いなくても管内面の腐食調査は可能であるが、視覚調査範囲は空気弁から2m程度となる。



写真 5-10 デジタルカメラ調査状況（空気弁室での調査）



写真 5-11 デジタルカメラ調査状況（水管橋での調査）

(2) 劣化度ランク分け

5.5.1 診断・評価方法と同様に、管内面の劣化度を表 5-12 に示すようにランク分けする。参考に劣化度毎の調査事例を表 5-13 に示す。

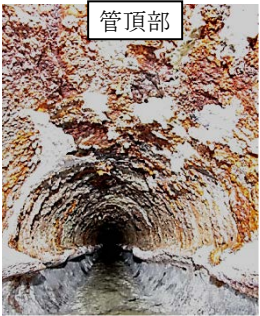
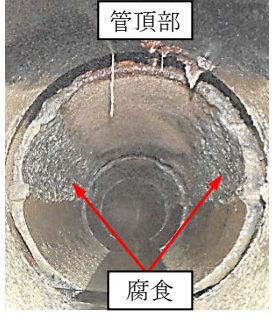

表 5-12 圧送管路の劣化度のランク分け（デジタルカメラ調査）

劣化度	管内面状況
Aランク（重度）	鉄部腐食あり
Bランク（中度）	モルタルライニング表面が部分的に変色，腐食発生
Cランク（軽度）	— *1)
異常なし	モルタルライニング表面が全面均一 *2)

\*1) Cランクは、実証研究で確認されなかったこと、また、モルタルライニングの軽微な変色と汚れとの見分けが困難なため、設定せず。

\*2) モルタルライニング表面に生物膜が付着していることが多い。

表 5-13 劣化度毎の調査事例（デジタルカメラ調査）

劣化度	Aランク(重度)	Bランク(中度)	異常なし
内面 状況			

備考) 画素数5,152×3,864のデジタルカメラを用い、ストロボライトで照射して撮影した事例を示す。

## 第7節 安全衛生管理

### 5.7.1 安全衛生管理

調査に係る安全衛生管理は、関連法令や当該自治体が定める基準等を遵守し、適切に行わなければならない。

#### 【解説】

調査に係る安全衛生管理は、関連法令や当該自治体が定める基準等を遵守し、以下のように適切に行わなければならない。

#### (1) 道路使用許可

調査を行う場合は、事前に、所轄警察署長に道路使用許可を申請し許可を得なければならない。

#### (2) 保安施設の設置

調査時には、適切な保安施設の設置や交通誘導員の配置等を行うことで、交通の危険や渋滞等を防止し、歩行者や車両の安全な通行を図らなければならない。調査時の保安施設の一例を図5-9及び写真5-12に示す。

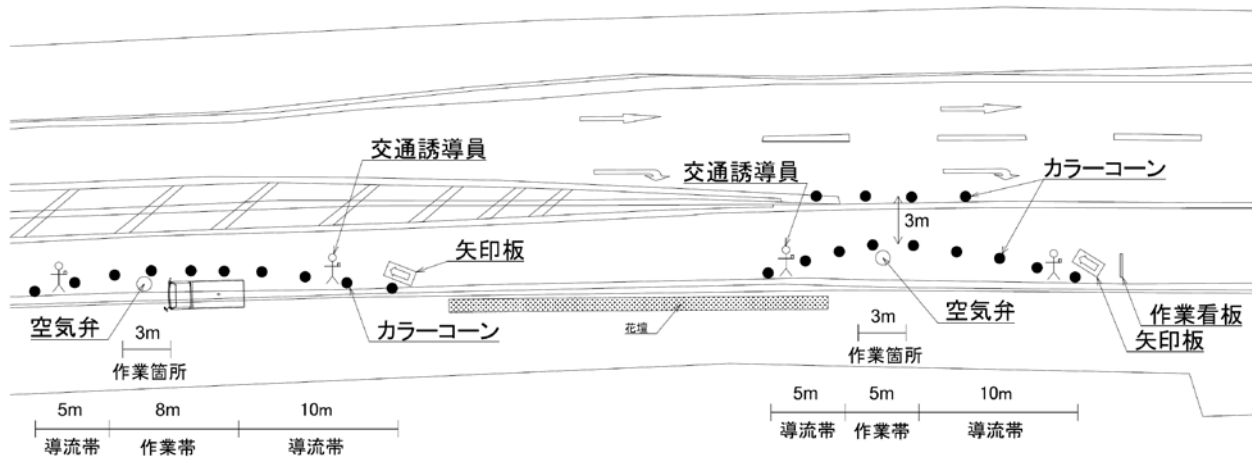


図5-9 保安施設の一例



写真5-12 保安施設の一例

### (3) 硫化水素中毒及び酸素欠乏症対策

下水道管路施設では、過去においても幾たびか、硫化水素中毒や酸素欠乏症を原因とする人命に関わる重大な事故が発生している。圧送管路の維持管理を行っていく上でも、酸素欠乏症等防止規則を遵守し、下水道維持管理指針<sup>4)</sup>及び下水道管路施設ストックマネジメントの手引き<sup>2)</sup>(旧下水道管路施設腐食対策の手引き(案))(公益社団法人 日本下水道協会)や下水道管路施設維持管理マニュアル<sup>10)</sup>(公益社団法人 日本下水道管路管理業協会)等に基づいた対策を講じなければならない。作業手順を以下に示す。

#### 1) 作業主任者の選定 (労働安全衛生法第14条, 労働安全衛生法施行令別表第6)

調査業務を行うための作業主任者を選定する。作業主任者は、酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者技能講習を修了した者の中から選任されなければならない。

#### 2) 安全教育

作業主任者は、調査業務の作業開始前に、全ての作業員に対して硫化水素中毒と酸素欠乏症についての安全教育を行わなくてはならない。

#### 3) 蓋の開放, 換気, 安全確認

空気弁室またはマンホールの蓋を開放した後、空気弁室またはマンホール内の空気中の酸素濃度及び硫化水素濃度を測定する。空気弁室またはマンホール内に入る時は、酸素濃度を18%以上、かつ、硫化水素濃度を10ppm以下に保つように換気を行う。作業中に酸素濃度が18%未満になるか、または、硫化水素濃度が10ppmを超えた場合は直ちに作業を中止し、空気弁室またはマンホールから退避しなければならない。空気弁室内での調査では空気弁とほぼ同じ高さに、マンホール内での調査では接続する圧送管路の高さに酸素・硫化水素濃度計(センサー部)を吊り下げ、空気弁室・マンホールの外で濃度計の出力値を常にモニタリングする。空気弁室での酸素・硫化水素濃度の測定及び換気作業の一例を写真5-13に示す。

また、5.3.1 事前確認では、補修弁の開閉、採取孔設置、空気弁撤去等の作業を行うが、非常に高濃度の硫化水素を含む管内空気が一気に放出される可能性がある。そこで、事前確認を空気弁室で行う場合は、適切な防毒マスク(硫化水素用)を装着して作業を行わなければならない。

空気中の硫化水素の毒作用を表5-14に、酸素濃度と酸素欠乏症の症状等との関係を表5-15にそれぞれ示す。



写真5-13 空気弁室での酸素・硫化水素濃度測定及び換気作業の一例

表 5-14 硫化水素の毒作用

濃度 (ppm)	部位別作用・反応	
	嗅覚	
0.025	鋭敏な人は特有の臭気を感じできる(嗅覚の限界)	
0.3	誰でも臭気を感じできる	
3~5	不快に感じる中程度の強さの臭気	
10	許容濃度(眼の粘膜の刺激下限界)	
20~30	耐えられるが臭気の慣れ(嗅覚疲労)で、それ以上の濃度にその強さを感じなくなる	呼吸器 肺を刺激する最低限界
50		眼
100~300	2~15分で臭覚神経麻痺で、かえって不快臭は減少したと感じるようになる	8~48時間連続ばく露で気管支炎、肺炎、肺水腫による窒息死
170~300		気道粘膜の灼熱的な痛み、1時間以内のばく露ならば重篤症状に至らない限界
350~400		1時間のばく露で生命の危険
600		30分のばく露で生命の危険
700	脳神経 短時間過度の呼吸出現後直ちに呼吸麻痺	
800~900	意識喪失、呼吸停止、死亡	
1,000	昏倒、呼吸停止、死亡	
5,000	即死	

(中央労働災害防止協会:新酸素欠乏危険作業主任者テキストより)

表 5-15 酸素濃度と酸素欠乏症の症状等との関係

段階 (ベンダーソンの分類による)	空気中酸素		動脈血中酸素		酸素欠乏症の症状等
	濃度 (%)	分圧 (mmHg)	飽和度 (%)	分圧 (mmHg)	
	18	137	96	78	安全下限界だが、作業環境内の連続換気、酸素濃度測定、安全带等、呼吸用保護具の用意が必要
1	16~12	122~91	93~77	67~42	脈拍・呼吸数増加、精神集中力低下、単純計算まちがいがい、精密筋作業拙劣化、筋力低下、頭痛、耳鳴、悪心、吐気、動脈血中酸素飽和度85~80%(酸素分圧50~45mmHg)でチアノーゼが現れる
2	14~9	106~68	87~57	54~30	判断力低下、発揚状態、不安定な精神状態(怒りっぽくなる)、ため息頻発、異常な疲労感、酩酊状態、頭痛、耳鳴、吐気、嘔吐、当時の記憶なし、傷の痛み感じない、全身脱力、体温上昇、チアノーゼ、意識もうろう、階段・梯子から墜落死・溺死の危険性
3	10~6	76~46	65~30	34~18	吐気、嘔吐、行動の自由を失う、危険を感じても動けず叫べず、虚脱、チアノーゼ、幻覚、意識喪失、昏倒、中枢神経障害、チェンストークス型の呼吸出現、全身けいれん、死の危機
4	6以下	46以下	30以下	18以下	数回のあえぎ呼吸で失神・昏倒、呼吸緩徐・停止、けいれん、心臓停止、死

(中央労働災害防止協会:新酸素欠乏危険作業主任者テキストより)

## [参考文献]

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部：下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン -2015年版-，（2015年11月）
- 2) 公益社団法人日本下水道協会：下水道管路施設ストックマネジメントの手引き 2016年，（2017年1月）
- 3) 公益社団法人日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説，（2009年10月）
- 4) 公益社団法人日本下水道協会：下水道維持管理指針-2014年版-，（2014年9月）
- 5) 公益社団法人日本下水道協会：下水道用語集，（2000年1月）
- 6) EPA Design Manual : Odor and Corrosion Control in Sanitary Sewerage System and Treatment Plants, EPA/625/1-85/018, (1985年10月) (日本語訳 下水道事業団業務普及協会：EPA 設計マニュアル 下水道施設の臭気と腐食対策, (1988年))
- 7) 地方共同法人日本下水道事業団：下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル，（2012年4月）
- 8) ライフサポート研究会：腐食対策講座第18回：経済的な送泥管劣化診断手法，月刊下水道，Vol.24 No.2 p.76-80, (2001年2月)
- 9) ライフサポート研究会：腐食対策講座第2回：微生物腐食の4段階メカニズム，月刊下水道，Vol.22 No.13 p.61-64, (1999年10月)
- 10) 公益社団法人日本下水道管路管理業協会：下水道管路施設 維持管理マニュアル，（2007年）

## 参考資料編 I 机上スクリーニングの妥当性の検討事例

### 目 次

1. 目的	I-2
2. 机上スクリーニングの評価結果のまとめ	I-2
3. 各管路での検討事例	I-3
3.1 A流域下水道	I-3
3.2 B流域下水道	I-4
3.3 C市	I-5
3.4 D市（管路1）	I-6
3.5 D市（管路2）	I-8
3.6 D市（管路3）	I-9
3.7 E市	I-10
3.8 F流域下水道	I-11
3.9 G市	I-13
3.10 H流域下水道（管路1）	I-14
3.11 H流域下水道（管路2）	I-15



## 1. 目的

本編第2章に示す通り、机上スクリーニングは、腐食の進んでいる箇所を抽出して優先的に調査を行うために極めて重要であるが、技術の精度が不十分な場合は腐食が進行している箇所が見落とされ、将来的に漏水や道路陥没等の事故につながる可能性がある。

このため、机上スクリーニングによって腐食が進んでいる箇所を確実に抽出できていることを確認することが重要となる。そこで、圧送管路を保有する下水道事業者から、過去に硫化水素に起因する硫酸腐食に伴う事故（漏水、道路陥没等）が発生した圧送管路の情報を収集し、事故事例と机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所が一致するか検討することで、技術の妥当性の評価を行った。

## 2. 机上スクリーニングの評価結果のまとめ

過去の事故事例と机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所との照合結果を表 2-1 に示す。机上スクリーニングに必要な情報が揃っている 8 事業者の 11 管路を対象に検討を行い、以下のことが確認された。

- ①全ての腐食事故（漏水、道路陥没）は、机上スクリーニングで抽出された腐食危険推定箇所  
で発生していた。
- ②D 市の圧送管路（管径 600mm×管路長 970m）では、道路陥没発生後に約 300m の範囲で管路  
を掘り上げて管内面の腐食状況を確認しているが、机上スクリーニングにより抽出された腐  
食危険推定範囲全線（管内面防食方法はモルタルライニング）で実際に腐食が発生していた。
- ③腐食事故が発生した圧送管路の直管の管内面防食方法は、全てモルタルライニングであった。

次節に、各管路での検討事例を詳細に示す。

表 2-1 事故事例と腐食危険推定箇所との照合結果

事業者	管径 (mm)	管路長 (m)	管内面防食 方法(直管)	供用 開始年	事故 発生年	事故形態	検討結果
A 流域下水道	250	4,410	モルタル ライニング	1996	2015	漏水	事故発生箇所と 腐食危険推定箇所 とが一致
B 流域下水道	250	3,670		1991	2010	漏水	
C 市	350	4,730 <sup>*1)</sup>		1994	2015	漏水	
D 市	600	970		1989	1999	道路陥没	
	600	2,490		1993	2014	道路陥没	
	450	1,480		1991	2015	道路陥没	
E 市	350	約4,080		1994	2013	漏水	
F 流域下水道	300	1,990		1993	2013	漏水	
G 市	300	約1,400		1990	2014	漏水	
H 流域下水道	300	2,690		1994	2017	漏水	
	450	330		2003	2015	漏水	

\*1) C市の管路長は、管路縦断頂上部から下流側吐出し先までの距離を示す。

### 3. 各管路での検討事例

#### 3.1 A 流域下水道

##### (1) 管路条件

検討を行った管路の条件を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 管路条件

管路条件	事故発生の状況
①管径：250mm ②管路長：4,410m ③管種：ダクタイル鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング ⑤送水量：2.0m <sup>3</sup> /min(流速0.68m/sec) ⑥ポンプ運転状況：間欠運転 ⑦吐出し先：マンホール ⑧供用開始：1996年 ⑨事故発生：2015年 ⑩事故形態：漏水	

##### (2) 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

検討結果を図 3.1-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所の管路縦断頂上部には空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③漏水は、腐食危険推定箇所で発生していた。

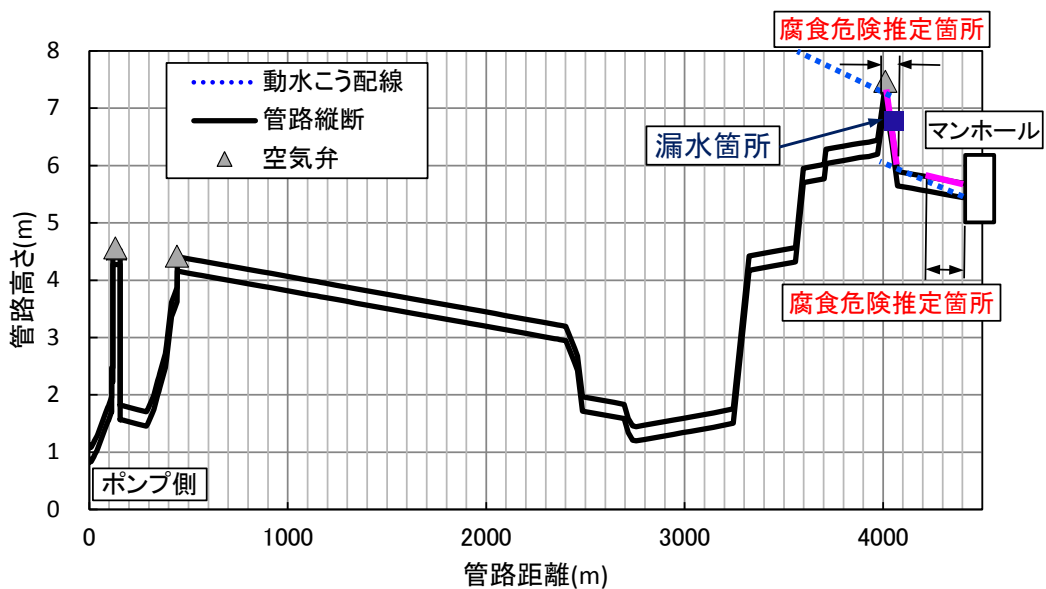



図 3.1-1 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

### 3.2 B 流域下水道

#### (1) 管路条件

検討を行った管路の条件を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 管路条件

管路条件	事故発生の状況
①管径：250mm ②管路長：3,670m ③管種：ダクタイル鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング ⑤送水量：1.45m <sup>3</sup> /min(流速0.49m/sec) ⑥ポンプ運転状況：間欠運転 ⑦吐出し先：マンホール ⑧管路布設：1991年 ⑨事故発生：2010年 ⑩事故形態：漏水	

#### (2) 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

検討結果を図 3.2-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所では、管路縦断頂上部を含めて空気弁が 4 個設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③漏水は、腐食危険推定箇所で発生していた。

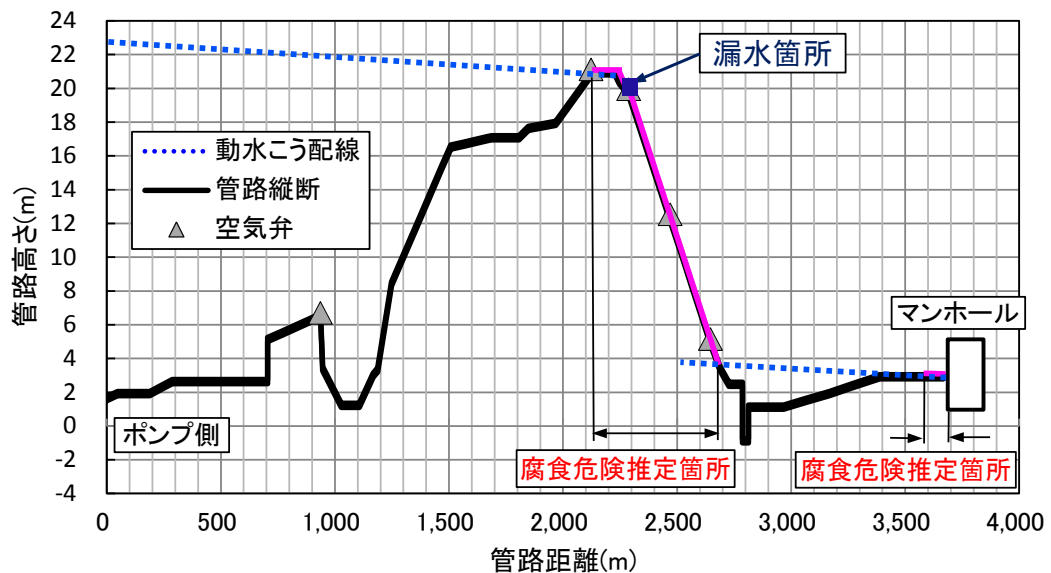


図 3.2-1 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

### 3.3 C市

#### (1) 管路条件

検討を行った管路の条件を表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 管路条件

管路条件	事故発生の状況
①管径：350mm ②管路長：4,730m (管路縦断頂上部から下流側吐出し先までの距離) ③管種：ダクタイル鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング ⑤送水量：4.1m <sup>3</sup> /min(流速0.71m/sec) ⑥ポンプ運転状況：間欠運転 ⑦吐出し先：マンホール ⑧供用開始：1994年 ⑨事故発生：2015年 ⑩事故形態：漏水	—

#### (2) 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

検討結果を図 3.3-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所は吐出し先も含めて 5 箇所あるが、その全ての箇所に空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③2 箇所の漏水は、いずれも腐食危険推定箇所が発生していた。

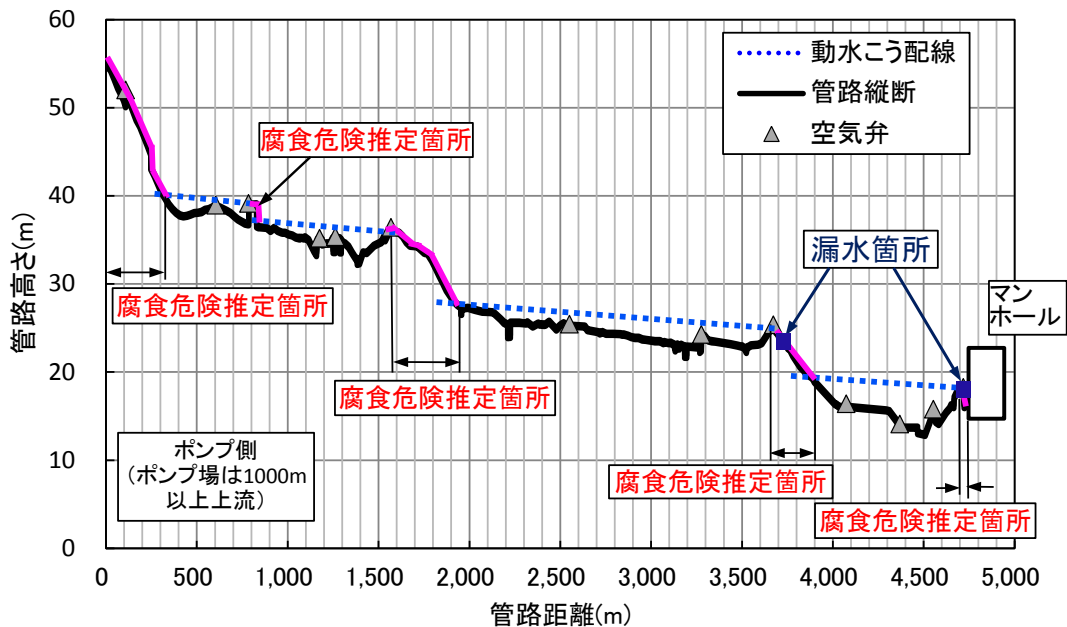


図 3.3-1 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

### 3.4 D市（管路1）

#### (1) 管路条件

検討を行った管路の条件を表 3.4-1 に示す。

表 3.4-1 管路条件

管路条件	事故発生の状況
①管径：600mm ②管路長：970m ③管種：ダクタイル鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング ⑤送水量：15m <sup>3</sup> /min(流速0.88m/sec) ⑥ポンプ運転状況：間欠運転 ⑦吐出し先：マンホール ⑧管路布設：1989年 ⑨事故発生：1999年 ⑩事故形態：道路陥没	

#### (2) 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

検討結果を図 3.4-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所の管路縦断頂上部には空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③道路陥没は、腐食危険推定箇所で発生していた。

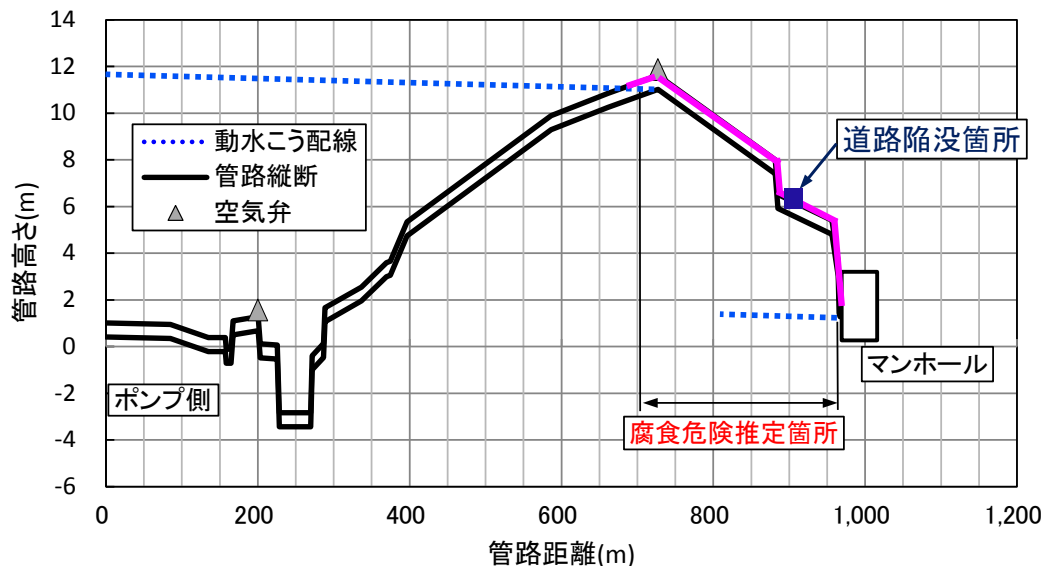


図 3.4-1 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

### (3) 掘り上げ調査結果

D市では、道路陥没事故発生後に約300mの区間の管路を掘り上げて、管内面の腐食状況を確  
認している。調査結果の概要を図3.4-2に示す。

- ①空気弁の上流30m～吐出し先マンホールの区間については、全線にわたって鉄部腐食が  
発生しており、管頂側に穴が開いているものも多々あった（写真3.4-1参照）。
- ②一方、空気弁から30m以上上流の区間についてはモルタルライニング、鉄部とも腐食は見  
られず健全であった。
- ③図3.4-2に示すように、机上スクリーニングでは空気弁上流30mから下流側の全線を腐食  
危険推定箇所と抽出しており、腐食危険推定箇所と実際の腐食発生箇所とはほぼ一致して  
いた。

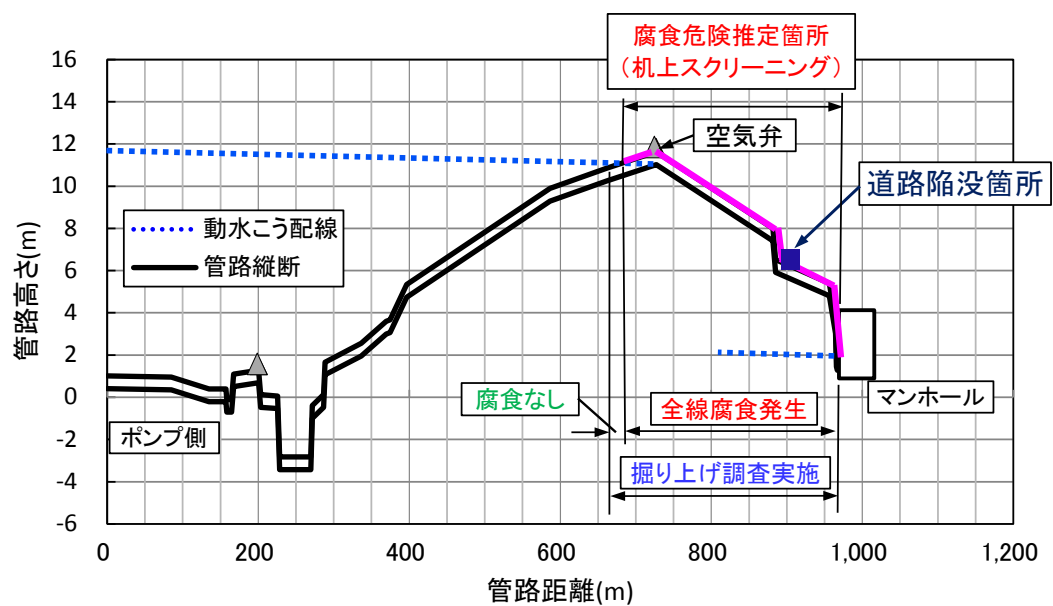


図3.4-2 掘り上げ管の腐食状況と腐食危険推定箇所との照合



写真3.4-1 掘り上げ管の腐食状況

### 3.5 D市（管路2）

#### (1) 管路条件

検討を行った管路の条件を表 3.5-1 に示す。

表 3.5-1 管路条件

管路条件	事故発生の状況
①管径：600mm ②管路長：2,490m ③管種：ダクタイル 鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング ⑤送水量：13.3m <sup>3</sup> /min(流速0.79m/sec) ⑥ポンプ運転状況：間欠運転 ⑦吐出し先：マンホール ⑧管路布設：1993年 ⑨事故発生：2014年 ⑩事故形態：道路陥没	—

#### (2) 事件事例と腐食危険推定箇所との照合

検討結果を図 3.5-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所が吐出し先も含めて 5 箇所あるが、吐出し先を除く 4 箇所に空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③本管路は管径が 600mm と比較的大きく、吐出し先マンホールの上流側は 200m 以上の区間で非満流になり、腐食危険推定箇所として抽出される。
- ④道路陥没が発生したのは吐出し先の周辺であり、腐食危険推定箇所と一致していた。

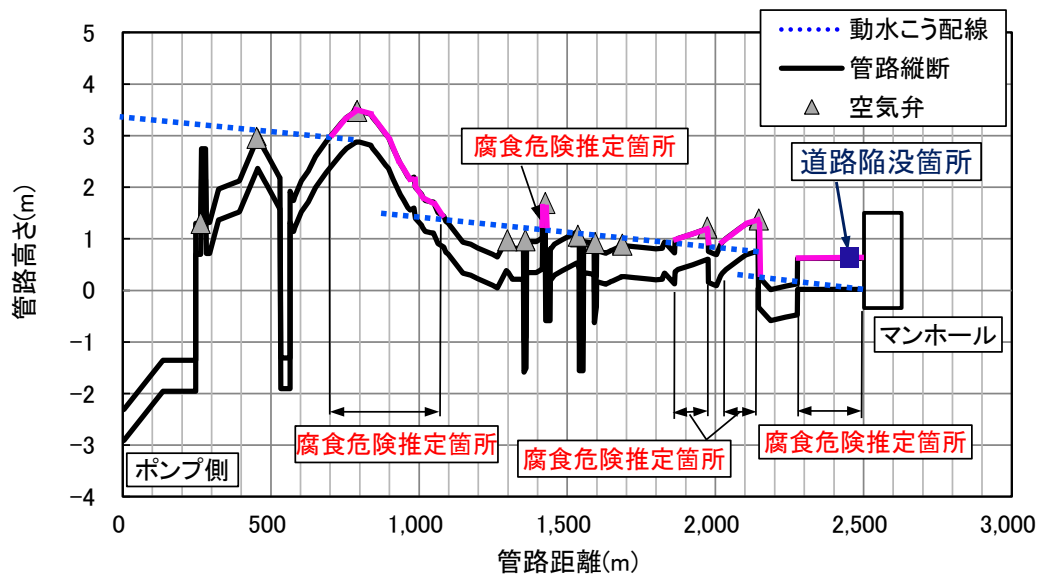



図 3.5-1 事件事例と腐食危険推定箇所との照合

### 3.6 D市（管路3）

#### (1) 管路条件

検討を行った管路の条件を表 3.6-1 に示す。

表 3.6-1 管路条件

管路条件	事故発生の状況
①管径：450mm ②管路長：1,480m ③管種：ダクタイル鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング ⑤送水量：12.3m <sup>3</sup> /min(流速1.29m/sec) ⑥ポンプ運転状況：間欠運転 ⑦吐出し先：マンホール ⑧管路布設：1991年 ⑨事故発生：2015年 ⑩事故形態：道路陥没	

#### (2) 事件事例と腐食危険推定箇所との照合

検討結果を図 3.6-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所は吐出し先も含めて 5 箇所あるが、その全ての箇所に空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③道路陥没は、腐食危険推定箇所で発生していた。

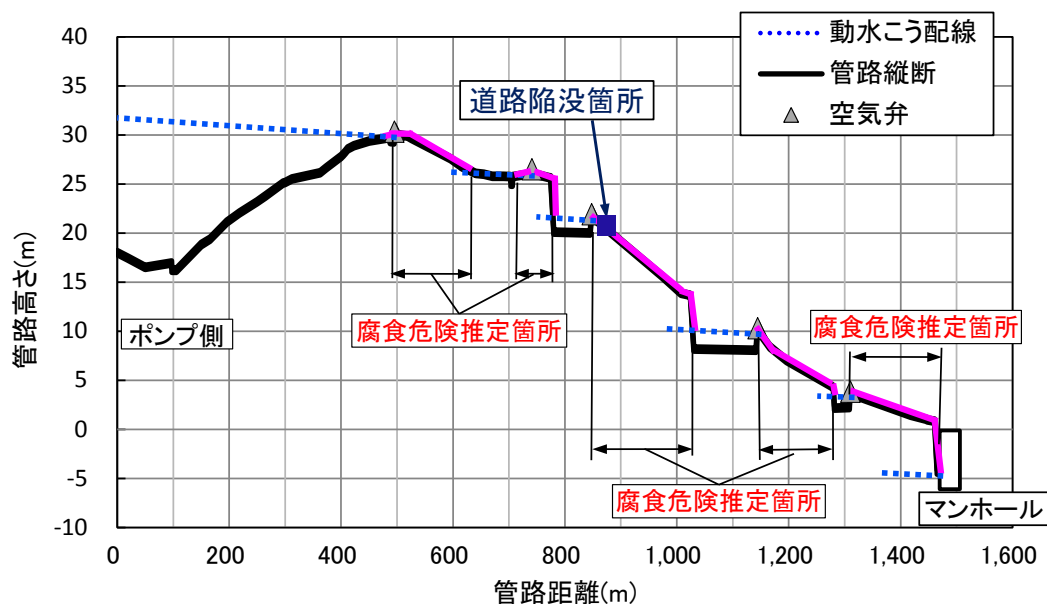


図 3.6-1 事件事例と腐食危険推定箇所との照合



### 3.7 E市

#### (1) 管路条件

検討を行った管路の条件を表 3.7-1 に示す。

表 3.7-1 管路条件

管路条件	事故発生の状況
①管径：350mm ②管路長：約4,080m ③管種：ダクタイル鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング ⑤送水量：4.8m <sup>3</sup> /min(流速0.83m/sec) ⑥ポンプ運転状況：間欠運転 ⑦吐出し先：着水槽 ⑧管路布設：1994年 ⑨事故発生：2013年 ⑩事故形態：漏水	

#### (2) 事件事例と腐食危険推定箇所との照合

検討結果を図 3.7-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②管路の位置(高さ)が動水こう配線より高い箇所が2箇所ある。その内の1箇所には空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境であった。
- ③他の1箇所(管路縦断頂上部周辺)には空気弁が設置されておらず、新鮮な空気が供給される環境にはない。そのため、硫酸腐食が進行している可能性は低いと判断した。
- ④漏水は、腐食危険推定箇所で発生していた。

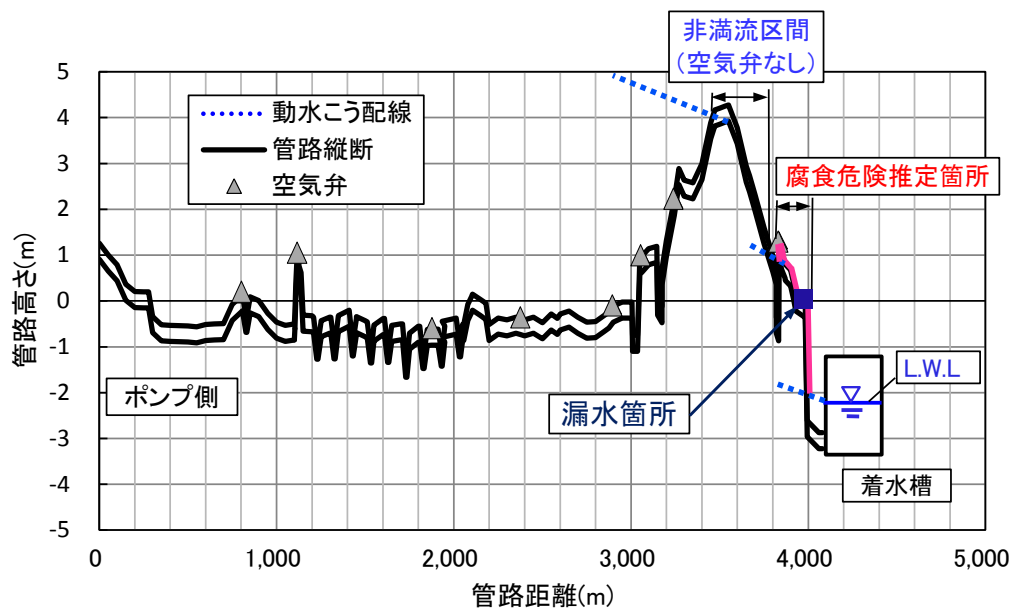



図 3.7-1 事件事例と腐食危険推定箇所との照合

### 3.8 F 流域下水道

#### (1) 管路条件

検討を行った管路の条件を表 3.8-1 に示す。

表 3.8-1 管路条件

管路条件	事故発生状況
①管径：300mm ②管路長：1,990m ③管種：ダクタイル鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング ⑤送水量：2.3m <sup>3</sup> /min(0.54m/sec) ⑥ポンプ運転状況：間欠運転 ⑦吐出し先：マンホール ⑧管路布設：1993年 ⑨事故発生：2013年 ⑩事故形態：漏水	

#### (2) 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

検討結果を図 3.8-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所の管路縦断頂上部には空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③漏水は、腐食危険推定箇所が発生していた。

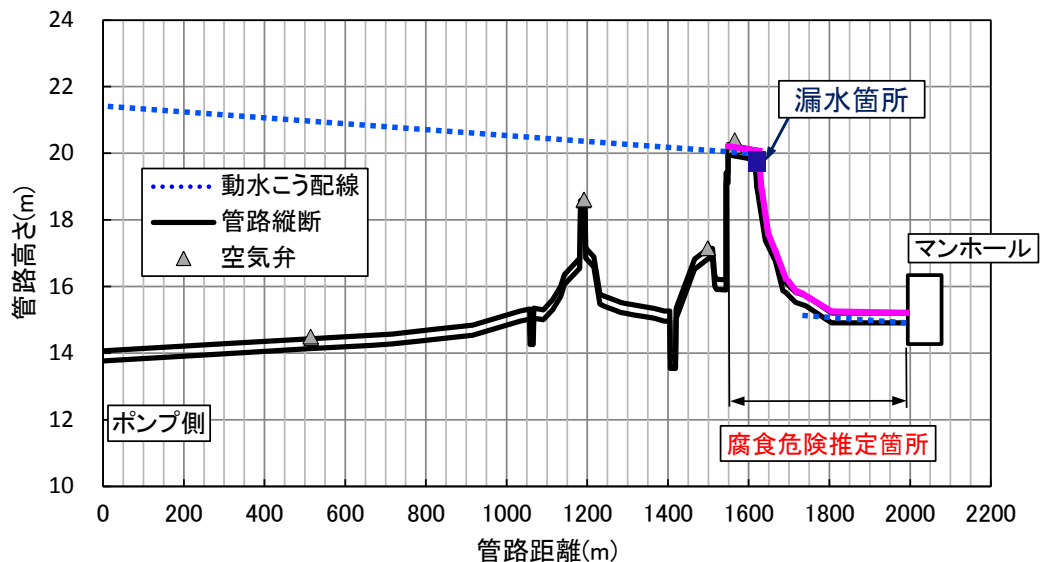


図 3.8-1 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

### (3) 管内カメラ調査結果

F 流域下水道では、漏水事故発生後とその近くに調査用立坑を設け、そこから自走式カメラを挿入して管内面腐食状況を確認している。調査は、漏水箇所～吐出し先マンホールの約 350m の区間について実施している。調査結果の概要を図 3.8-2 に示す。

- ①管内カメラ調査を行った 350m の区間で、ほぼ全線にわたって腐食が確認された。(写真 3.8-1 参照)。
- ②机上スクリーニングでは、管内カメラ調査を行った全ての区間を腐食危険推定箇所として抽出しており、腐食危険推定箇所と実際の腐食発生箇所とは一致していた。

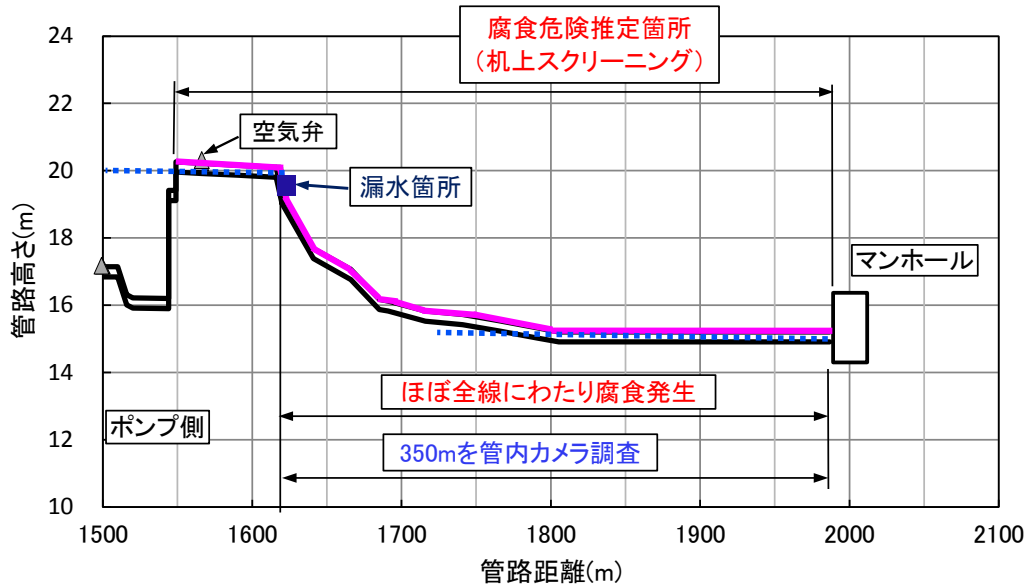


図 3.8-2 管内カメラ調査結果

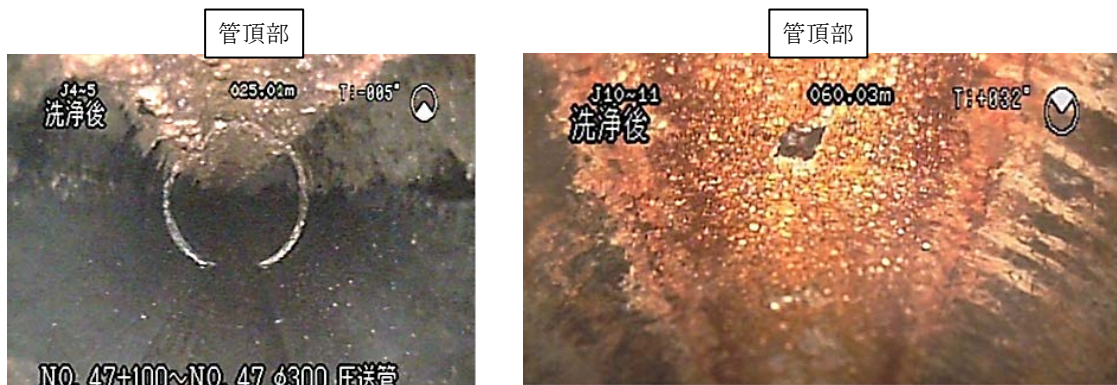



写真 3.8-1 管内カメラ調査の調査結果の一例

### 3.9 G市

#### (1) 管路条件

検討を行った管路の条件を表 3.9-1 に示す。

表 3.9-1 管路条件

管路条件	事故発生状況
①管径：300mm ②管路長：約1,400m ③管種：ダクタイル鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング ⑤送水量：1.9m <sup>3</sup> /min(流速0.45m/sec) ⑥ポンプ運転状況：間欠運転 ⑦吐出し先：マンホール ⑧管路布設：1990年 ⑨事故発生：2014年 ⑩事故形態：漏水	

#### (2) 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

検討結果を図 3.9-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所の管路縦断頂上部には空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③漏水は、腐食危険推定箇所で発生していた。
- ④吐出し先周辺でも腐食が確認されており、腐食危険推定箇所と一致していた。

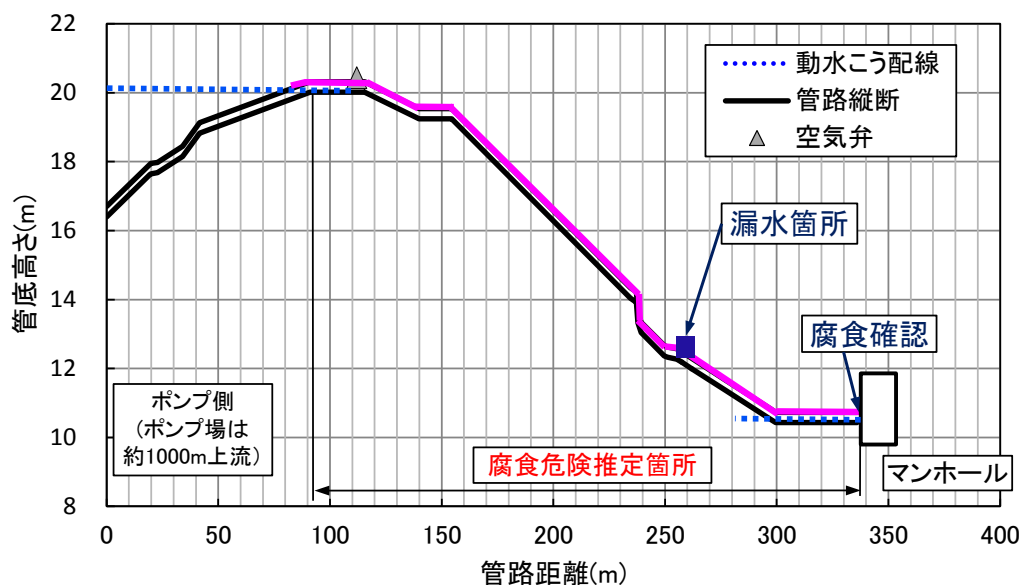


図 3.9-1 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

### 3.10 H 流域下水道（管路1）

#### (1) 管路条件

検討を行った管路の条件を表 3.10-1 に示す。

表 3.10-1 管路条件

管路条件	事故発生の状況
①管径：300mm ②管路長：2,690m ③管種：ダクタイル鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング ⑤送水量：2.3m <sup>3</sup> /min(流速0.54m/sec) ⑥ポンプ運転状況：間欠運転 ⑦吐出し先：マンホール ⑧管路布設：1994年 ⑨事故発生：2017年 ⑩事故形態：漏水	

#### (2) 事件事例と腐食危険推定箇所との照合

検討結果を図 3.10-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所の管路縦断頂上部には空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③漏水は、腐食危険推定箇所で発生していた。

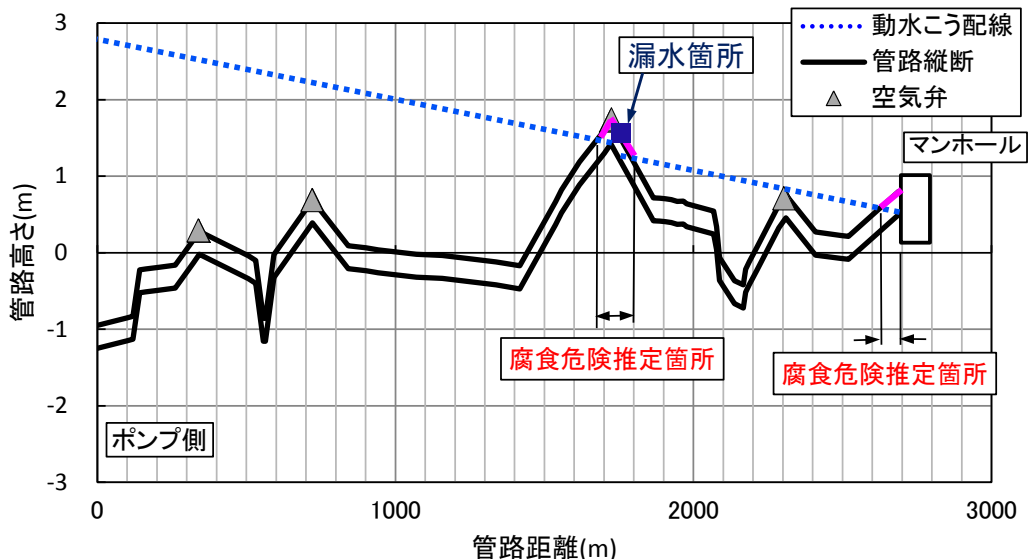


図 3.10-1 事件事例と腐食危険推定箇所との照合

### 3.11 H 流域下水道（管路 2）

#### (1) 管路条件

検討を行った管路の条件を表 3.11-1 に示す。

表 3.11-1 管路条件

管路条件	事故発生の状況
①管径：450mm ②管路長：330m ③管種：ダクタイル 鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング ⑤送水量：5.8m <sup>3</sup> /min(流速0.61m/sec) ⑥ポンプ運転状況：間欠運転 ⑦吐出し先：マンホール ⑧管路布設：2003年 ⑨事故発生：2015年 ⑩事故形態：漏水	

#### (2) 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

検討結果を図 3.11-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所は吐出し先も含めて 2 箇所あり、吐出し先を除く 1 箇所には空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③本管路は管径が 450mm と比較的大きく、吐出し先マンホールの上流側は 200m 以上の区間で非満流になり、腐食危険推定箇所として抽出される。
- ④漏水が発生したのは吐出し先の周辺であり、腐食危険推定箇所と一致していた。

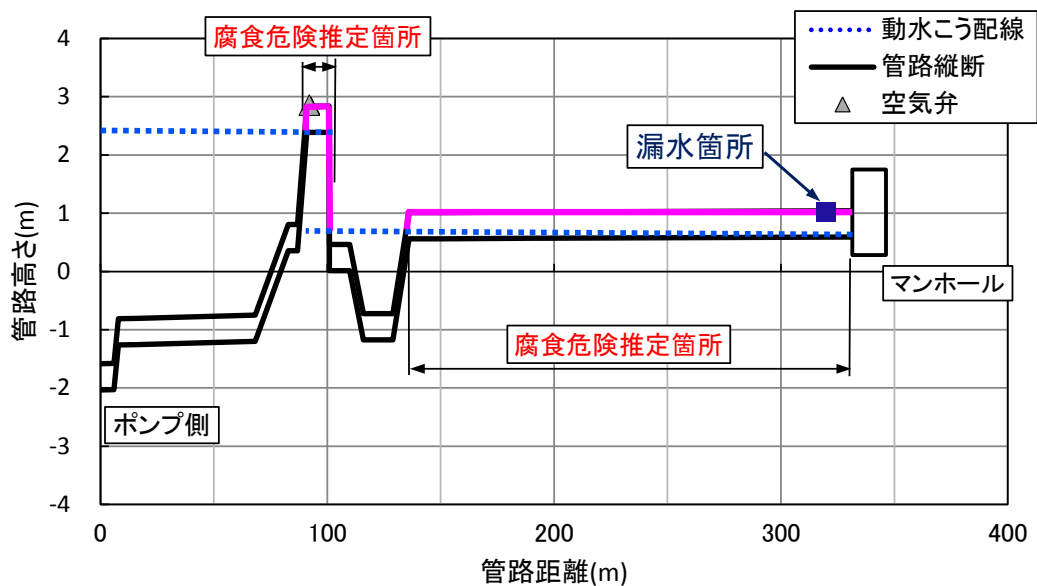


図 3.11-1 事故事例と腐食危険推定箇所との照合

## 参考資料編Ⅱ 硫酸腐食の調査の実施事例

### 目 次

1. 目的	Ⅱ-2
2. 調査技術の評価結果のまとめ	Ⅱ-2
3. 各管路での調査事例	Ⅱ-4
3.1 I 流域下水道	Ⅱ-4
3.2 J 市	Ⅱ-11
3.3 K 市	Ⅱ-18
3.4 L 市（管路1）	Ⅱ-24
3.5 L 市（管路2）	Ⅱ-34
3.6 M 流域下水道	Ⅱ-44

## 1. 目的

本編第2章に示す通り、机上スクリーニングで腐食危険推定箇所と判断された、管内が非満流となる空気弁の周辺と吐出し先マンホールの上流側については、実際に管内面の腐食状況を視覚調査し、劣化度を診断・評価する必要がある。圧送管路の場合、開口部（マンホール）が存在しない区間が長く、かつ、多くの場合はポンプ送水を長時間にわたり止めることが困難であるが、こうした制約条件の中にあっても技術的に可能な範囲で視覚調査を行う必要がある。

上記の制約条件等を踏まえた上で、本調査技術が実際の現地に適用できる技術であることを確認するため、机上スクリーニングで硫酸腐食の危険性があると判断した実証フィールド管路（2流域下水道，3市の計6管路）を対象に、空気弁から本調査機器を挿入し、管内面の腐食状況をビデオカメラで直接調査して、以下の項目について評価した。

### (1) 圧送管路特有の制約条件下における限界性能

- ①空気弁（口径 75mm）から挿入可能
- ②ポンプ停止時間内（1.5時間 程度以内）に視覚調査可能
- ③下水滞留や堆積物に対応可能
- ④曲線配管部も視覚調査可能
- ⑤管径 200mm～1000mm に対応可能

### (2) 管内面の腐食状況の確認精度

- ①撮影された画像は鮮明で管頂側の約 180° の範囲を診断可能
- ②空気弁から 30m の範囲を視覚調査，診断可能

## 2. 調査技術の評価結果のまとめ

実証研究で行った硫酸腐食の調査技術の現地適用性の評価結果を表 2-1 に示す。2流域下水道，3市の計6管路の実証フィールド管路で調査を行い，以下のことを確認した。

- ①全ての実証フィールド管路で，空気弁（口径 75mm）から本調査機器を挿入し，1.5時間以内に視覚調査できた。
- ②空気弁から 30m の範囲にわたって視覚調査を行い，撮影された画像は鮮明で管頂側の約 180° の範囲を撮影可能であり，管内面の劣化度を診断できた。
- ③全ての実証フィールド管路において，机上スクリーニングの腐食危険推定箇所ですべて実際に管内面に腐食が発生していた。



表 2-1 硫酸腐食の調査技術の現地適用性の評価結果

事業体	管径 (mm)	管路長 (m)	管内面防食 方法(直管)	供用 開始年	視覚調査時間 (時間)	撮影された画像	調査範囲 (m)	管内面 の状況
I流域 下水道	200 (2条)	886	モルタル ライニング	1996	1.5	管頂側約180°の 範囲を撮影でき、 画像は鮮明で腐食 のレベルを明確に 判別可能であり、管 内の劣化度を診断 できた。	32	腐食を 確認
J市	600	370		2003	1.0		10 <sup>*3)</sup>	
K市	350	4,730 <sup>*2)</sup>		1994	1.0		32	
L市 <sup>*1)</sup>	800	2,110		1973	1.0		30	
	450	1,480		1991	0.5		31	
M流域 下水道	300	2,690		1994	1.0		30	腐食なし <sup>*4)</sup>
目標	200～ 1000	-	-	-	1.5時間 以内	管内面の劣化度を 診断可能	30m	-

\*1) L市では、2管路を対象に、それぞれ2箇所から調査を行った。

\*2) K市の管路長は、管路縦断頂上部から吐出し先までの距離を示す。

\*3) 調査箇所には、本調査機器の適用条件の22.5°を越える45°曲管が布設されていたため、調査範囲は10mとした。

\*4) 非腐食危険推定箇所から調査を行った。

### 3. 各管路での調査事例

#### 3.1 I 流域下水道

##### (1) 管路条件

調査を行った管路条件を表 3.1-1 に示す。管内面防食方法は、直管がモルタルライニング、異形管がエポキシ樹脂粉体塗装であった。

表 3.1-1 管路条件

管路条件
①管径：200mm(2条:通常はどちらか1条を使用)
②管路長：886m
③管種：ダクタイル鋳鉄管
④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング
⑤管内面防食方法(異形管)：エポキシ樹脂粉体塗装
⑥送水量：2.5m <sup>3</sup> /min(流速1.33m/sec)
⑦ポンプ運転状況：間欠運転
⑧吐出し先：マンホール
⑨供用開始：1996年
⑩調査実施：2016年

##### (2) 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出

机上スクリーニングを行い、腐食危険推定箇所の抽出を行った。結果を図 3.1-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された2区間となる。
- ②腐食危険推定箇所①では、管路縦断頂上部付近に空気弁1が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③腐食危険推定箇所②は吐出し先で、マンホールから上流側の数 m の範囲で腐食の可能性がある。

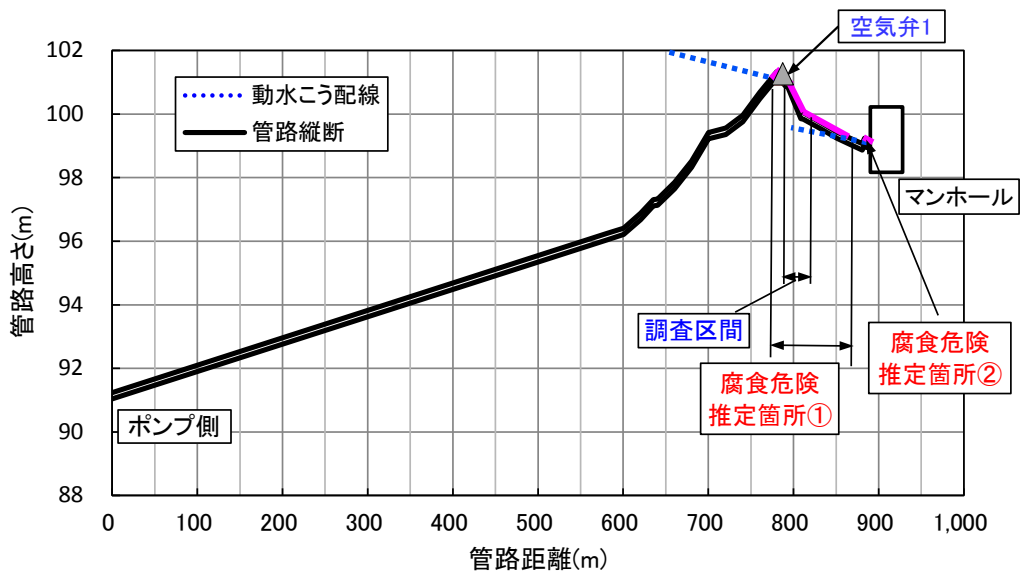


図 3.1-1 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出

### (3) 硫酸腐食の調査

#### 1) 現地踏査

道路交通状況や周辺環境等も勘案した上で、視覚調査箇所及び具体的な調査方法を以下のように決定した。

- ①空気弁 1 から本調査機器を挿入し、腐食危険推定箇所①を対象に視覚調査を行う。空気弁 1 の周辺の状況を写真 3.1-1 に示す。



写真 3.1-1 空気弁 1 の周辺の状況

#### 2) 事前確認

- ①ポンプを稼働・停止させ、空気弁 1 が吸排気していることを確認した。
- ②ポンプ稼働開始からポンプが停止するまでの 1 時間に、空気弁 1 に設置されている採取孔から下水が排出されないことを確認した。

以上より、空気弁 1 の設置箇所の管内は常に非満流であり、空気弁 1 を取り外しても下水が溢れる可能性は低く、かつ、硫酸腐食の可能性が高いと判断し、視覚調査を行うことにした。

### 3) 視覚調査

空気弁1を取り外した後、本調査機器を管内に挿入し、空気弁1の下流側を対象に視覚調査を行った。

#### i) 調査箇所状況 (図 3.1-2 参照)

- ①調査範囲内に、竣工図には記載されていない4個の曲管（水平配管された22.5°曲管2個を含む）が布設されていた。
- ②調査箇所は全線下りこう配になっていた。ただし、空気弁1から約20mの地点でこう配が緩やかになっていた。

#### ii) 本調査機器の現地適用性の評価

本調査機器の現地適用性の評価結果を表 3.1-2 に示す。本調査機器は、全ての評価項目で目標を満足していることを確認した。視覚調査の状況を写真 3.1-2 に示す。

表 3.1-2 本調査機器の現地適用性の評価結果

評価項目	目標	調査結果	備考
空気弁からの挿入	口径75mmから挿入可能	口径75mmの空気弁から挿入できた。	—
視覚調査時間	1.5時間以内	1.5時間で視覚調査できた。	—
管径	200mm～1000mm	管径200mmで視覚調査実施。	—
撮影された画像	*1) 管内の劣化度を診断可能	管頂側約180°の範囲を撮影でき、画像は鮮明で、管内面の劣化度を問題なく診断できた。	—
調査範囲	空気弁から30mの範囲を調査可能	備考に示す状況下で、空気弁1から下流側32mまで本調査機器を押し込み視覚調査できた。また、本調査機器が水没した1mの区間を除き劣化度を問題なく診断できた。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 空気弁1から約1mの区間で、深さ60mmの下水が滞留していた。その他の区間は下水滞留はほとんどなかった。</li> <li>• 調査を行った全区間で、管内に堆積物はほとんどなかった。</li> <li>• 調査範囲内に、4個の曲管(水平配管された22.5°曲管2個を含む)が布設されていた。</li> </ul>

\*1) 撮影された画像は、表3.1-4(1)～表3.1-4(4)に示す。



写真 3.1-2 視覚調査の状況

#### 4) 診断・評価

視覚調査で撮影された画像をもとに、圧送管路の劣化度の診断を行った。結果を図 3.1-2、表 3.1-3 及び表 3.1-4(1)～表 3.1-4(4)に示す。

- ① 圧送管路の劣化度を表 3.1-3 に示すように 3 つにランク分けできた。
- ② 20m 付近を境に劣化度が変わった理由として、この地点で管路こう配が緩くなっており、ポンプ運転状況（例えば 2 台運転時）によっては 20m から下流側は一時的に満流状態になることがあり、鉄部腐食には至らなかったと推測される。
- ③ 直管（モルタルライニング）に鉄部腐食が発生していた A ランクの区間に、曲管（エポキシ樹脂粉体塗装）が 4 個布設されていたが、いずれも管内面は腐食しておらず健全であった。

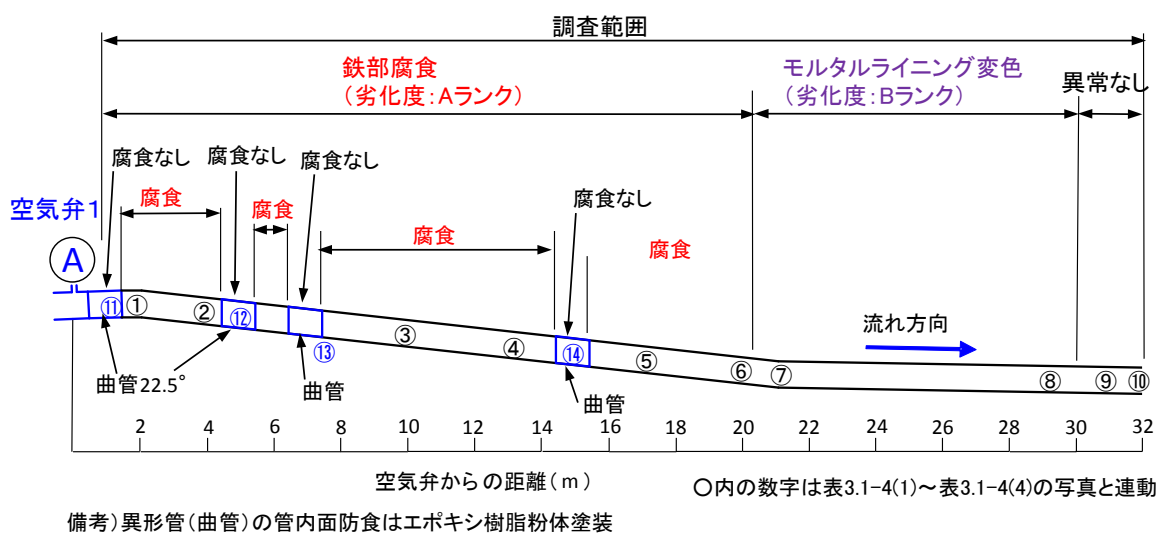


図 3.1-2 調査範囲と劣化度

表 3.1-3 劣化度の診断結果

空気弁からの距離	劣化度	管内面の状況
下流側 1m～20m	Aランク	・直管(モルタルライニング)は、鉄部腐食が発生していた。 ・曲管(エポキシ樹脂粉体塗装)が4個布設されていたが、腐食は見られず健全であった。
下流側 21m～30m	Bランク	・直管(モルタルライニング)に鉄部腐食は見られなかったが、管頂部でモルタルライニングが変色していた。
下流側 31m～32m	異常なし	・直管のモルタルライニング表面に変色は見られず、全面均一であった。

表 3.1-4(1) 管内面状況 (劣化度 : A ランク) (管頂側の約 180° を撮影)

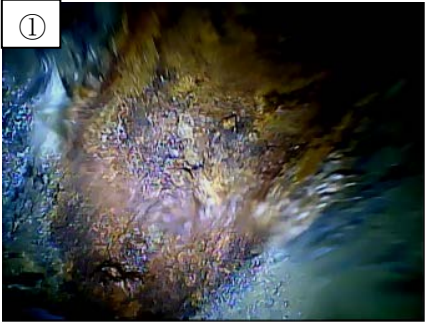
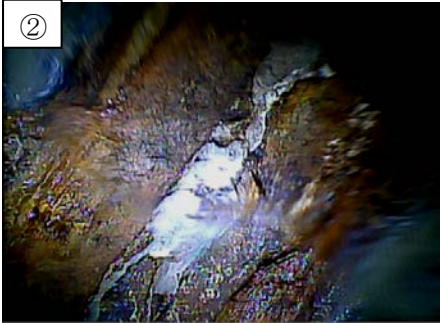
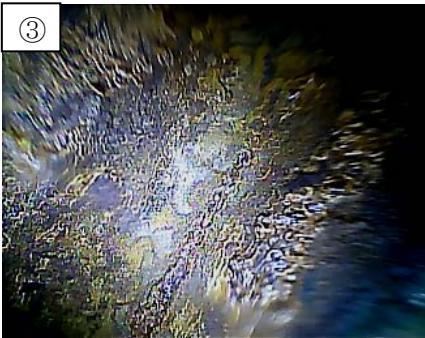
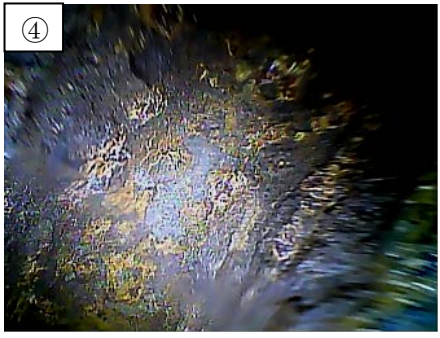
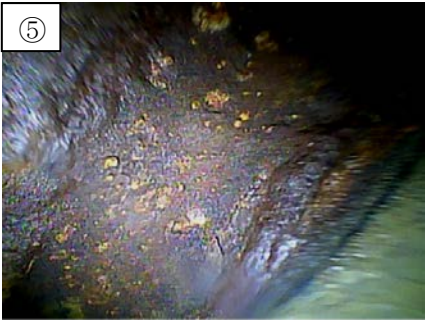
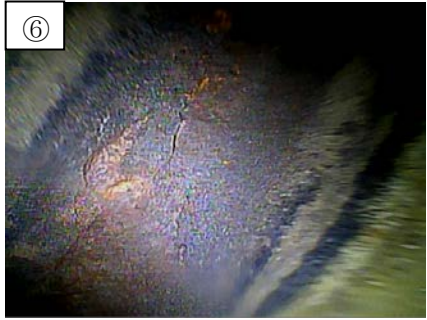
モルタルライニング (空気弁下流側 1m~20m) の事例	
<p>①</p>  <p>空気弁から下流側 2m</p>	<p>②</p>  <p>空気弁から下流側 4m</p>
<p>③</p>  <p>空気弁から下流側 10m</p>	<p>④</p>  <p>空気弁から下流側 13m</p>
<p>⑤</p>  <p>空気弁から下流側 17m</p>	<p>⑥</p>  <p>空気弁から下流側 20m</p>

表 3.1-4(2) 管内面状況 (劣化度 : B ランク) (管頂側の約 180° を撮影)


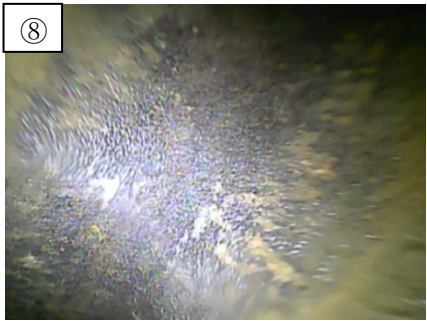
モルタルライニング (空気弁下流側 21m~30m) の事例	
<p>⑦</p>  <p>空気弁から下流側 21m</p>	<p>⑧</p>  <p>空気弁から下流側 29m</p>

表 3.1-4(3) 管内面状況 (劣化度: 異常なし) (管頂側の約 180° を撮影)





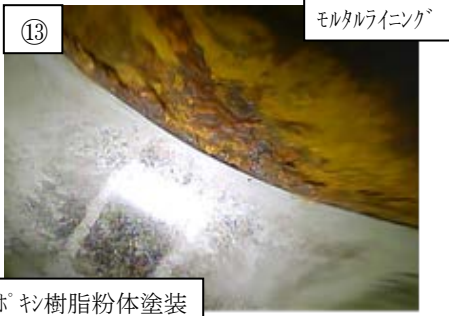

モルタルライニング (空気弁下流側 31m~32m) の事例	
 <p>⑨</p> <p>空気弁から下流側 31m</p>	 <p>⑩</p> <p>空気弁から下流側 32m</p>

表 3.1-4(4) エポキシ樹脂粉体塗装の管内面状況 (劣化度: 異常なし) (管頂側の約 180° を撮影)

エポキシ樹脂粉体塗装 (空気弁下流側 1m~15m) の事例	
 <p>⑪</p> <p>空気弁から下流側 1.5m (曲管)</p>	 <p>⑫</p> <p>空気弁から下流側 5m (曲管)</p>
 <p>⑬</p> <p>モルタルライニング</p> <p>エポキシ樹脂粉体塗装</p> <p>空気弁から下流側 7.5m (曲管)</p>	 <p>⑭</p> <p>空気弁から下流側 15m (曲管)</p>
<p>直管 (モルタルライニング) が鉄部腐食した A ランクの範囲でも腐食なし</p>	

#### (4) 机上スクリーニングと調査結果との比較

机上スクリーニングと調査結果との比較を行った。結果を図 3.1-3 に示す。

- ①机上スクリーニングで腐食危険推定箇所と判断した空気弁 1 の下流側で、実際に激しい鉄部腐食が確認された。
- ②机上スクリーニングでは空気弁 1 の下流側 80m を腐食危険推定箇所と判断したが、調査の結果 30m の範囲で実際に腐食（A ランク及び B ランク）が発生していた。
- ③机上スクリーニングでは、安全を考慮して広い範囲が腐食危険推定箇所として判断されるよう条件を設定しており、想定通りの結果であった。

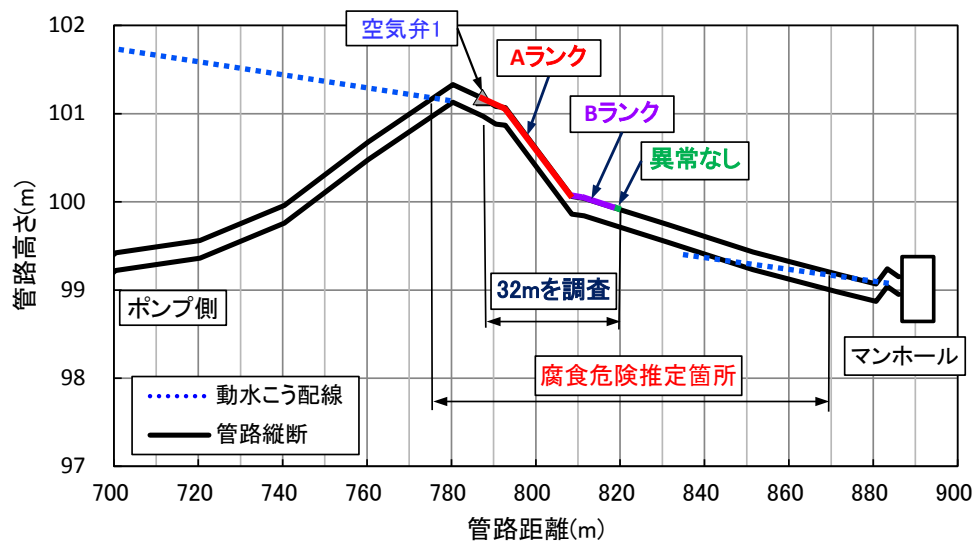


図 3.1-3 机上スクリーニングと調査結果との比較



### 3.2 J市

#### (1) 管路条件

調査を行った管路条件を表 3.2-1 に示す。管内面防食方法は、直管がモルタルライニング、異形管がエポキシ樹脂粉体塗装であった。

表 3.2-1 管路条件

管路条件
①管径:600mm
②管路長:370m
③管種:ダクタイル鋳鉄管
④管内面防食方法(直管):モルタルライニング
⑤管内面防食方法(異形管):エポキシ樹脂粉体塗装
⑥送水量:21.4m <sup>3</sup> /min(流速1.26m/sec)
⑦ポンプ運転状況:間欠運転
⑧吐出し先:マンホール
⑨供用開始:2003年
⑩調査実施:2017年

#### (2) 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所抽出

机上スクリーニングを行い、腐食危険推定箇所の抽出を行った。結果を図 3.2-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所には管路縦断頂上部付近に空気弁 1 が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③空気弁 1 の上流側 60m～吐出し先マンホールまでの約 100m の区間は、全線が腐食危険推定箇所になる。

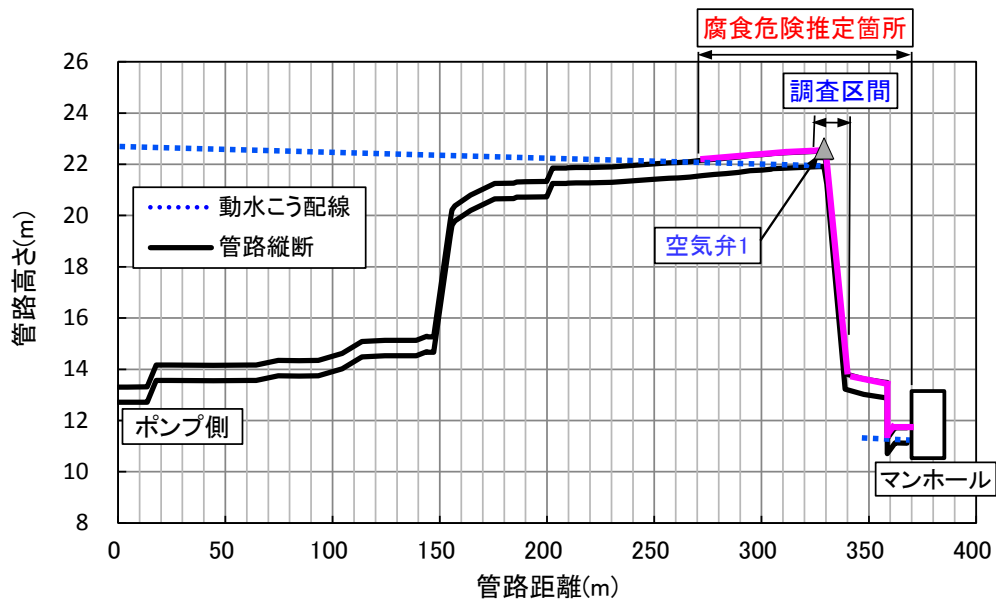


図 3.2-1 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出

### (3) 硫酸腐食の調査

#### 1) 現地踏査

道路交通状況や周辺環境等も勘案した上で、視覚調査箇所及び具体的な調査方法を以下のように決定した。

- ①空気弁 1 から本調査機器を挿入し、腐食危険推定箇所を対象に視覚調査を行う。空気弁 1 の周辺の状況を写真 3.2-1 に示す。

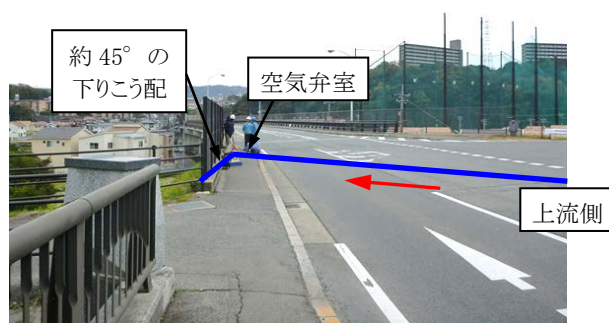


写真 3.2-1 空気弁 1 の周辺の状況

#### 2) 事前確認

- ①ポンプを稼働・停止させ、空気弁 1 が吸排気していることを確認した。
- ②ポンプ稼働開始からポンプが停止するまでの 1 時間に、空気弁 1 に設置されている採取孔から下水が排出されないことを確認した。

以上より、空気弁 1 の設置箇所の管内は常に非満流であり、空気弁 1 を取り外しても下水が溢れる可能性は低く、かつ、硫酸腐食の可能性が高いと判断し、視覚調査を行うことにした。

#### 3) 視覚調査

空気弁 1 を取り外した後、本調査機器を管内に挿入し、空気弁 1 の下流側の視覚調査を行った。空気弁 1 の上流側にも腐食が懸念されたため、上流側の視覚調査も併せて行った。

##### i) 調査箇所の状況と目標調査範囲 (図 3.2-2 参照)

- ①空気弁 1 の下流側には、本調査機器の適用条件の  $22.5^\circ$  を越える  $45^\circ$  曲管が布設されており、約  $45^\circ$  の急激な下りこう配になっていた。そのため、調査範囲は 10m に限定する。
- ②空気弁 1 の上流側は、下流に向かって緩やかな上りこう配になっており、上流に行く程滞留する下水水深が深くなっていくと推測されたため、本調査機器が水没する直前までの範囲を視覚調査する。

ii) 本調査機器の現地適用性の評価

本調査機器の現地適用性の評価結果を表 3. 2-2 に示す。本調査機器は、全ての評価項目で目標を満足していることを確認した。視覚調査の状況を写真 3. 2-2 に示す。

表 3. 2-2 本調査機器の現地適用性の評価結果

評価項目	目標	調査結果	備考
空気弁からの挿入	口径75mmから挿入可能	口径75mmの空気弁から挿入できた。	—
視覚調査時間	1.5時間以内	下流側は1.0時間で、上流側は0.5時間で視覚調査できた。	—
管径	200mm～1000mm	管径600mmで視覚調査実施。	
撮影された画像のレベル <sup>*1)</sup>	管内の劣化度を診断可能	管頂側約180°の範囲を撮影でき、画像は鮮明で、管内面の劣化度を問題なく診断できた。	—
調査範囲	空気弁下流側を10m <sup>*2)</sup>	備考に示す状況下で、空気弁1から下流側10mまで本調査機器を押し込み視覚調査できた。上流側については、本調査機器が水没した4mまで視覚調査を行った。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 空気弁1の下流側は45°曲管(水平、縦断のひねり配管)を含む曲管が3個布設され、高さ約10mの約45°の急激な下りこう配となっていた。</li> <li>• 空気弁1の上流側は管底部に下水が滞留し、上流に行く程水深が深くなっていた。</li> <li>• 調査を行った全区間で、管内に堆積物はほとんどなかった。</li> </ul>

\*1) 撮影された画像は、表3.2-4(1)～表3.2-4(3)に示す。

\*2) 本調査機器の適用条件の22.5°を越える45°曲管が布設されていたため、調査範囲は10mとした。



写真 3. 2-2 視覚調査の状況

4) 診断・評価

視覚調査で撮影された画像をもとに、圧送管路の劣化度の診断を行った。結果を図 3. 2-2、表 3. 2-3 及び表 3. 2-4 (1)～表 3. 2-4 (3) に示す。

- ① 圧送管路の劣化度を表 3. 2-3 に示すようにランク分けできた。
- ② 空気弁 1 の下流側は調査範囲の全線にわたって鉄部が腐食しており、劣化度 A ランクであった。一方上流側では、管側部でモルタルライニングが腐食していたが鉄部腐食は見られず、B ランクであった。

③直管（モルタルライニング）に鉄部腐食が発生していたAランクの区間に、異形管（エポキシ樹脂粉体塗装）が計4個（曲管3個，T字管1個）布設されていたが、いずれも管内面は腐食しておらず健全であった。

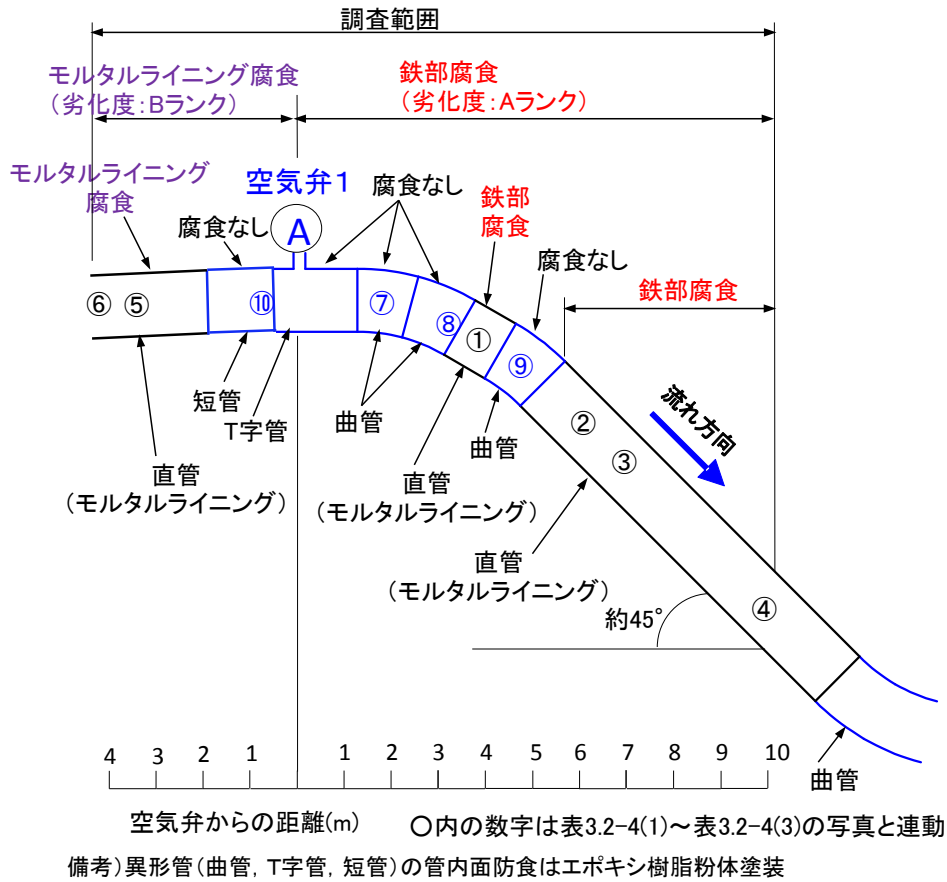


図 3.2-2 調査範囲と劣化度

表 3.2-3 劣化度の診断結果

空気弁からの距離	劣化度	管内面の腐食状況
下流側 0m～10m	Aランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>直管(モルタルライニング)は、鉄部腐食が発生していた。</li> <li>異形管(エポキシ樹脂粉体塗装)が計4個布設されていたが、腐食は見られず健全であった。</li> </ul>
上流側 1m～4m	Bランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>直管(モルタルライニング)は、管側部でモルタルライニングが腐食していた。</li> <li>短管(エポキシ樹脂粉体塗装)が1個布設されていたが、腐食は見られず健全であった。</li> </ul>

表 3.2-4(1) 管内面状況 (劣化度 : A ランク) (管頂側の約 180° を撮影)

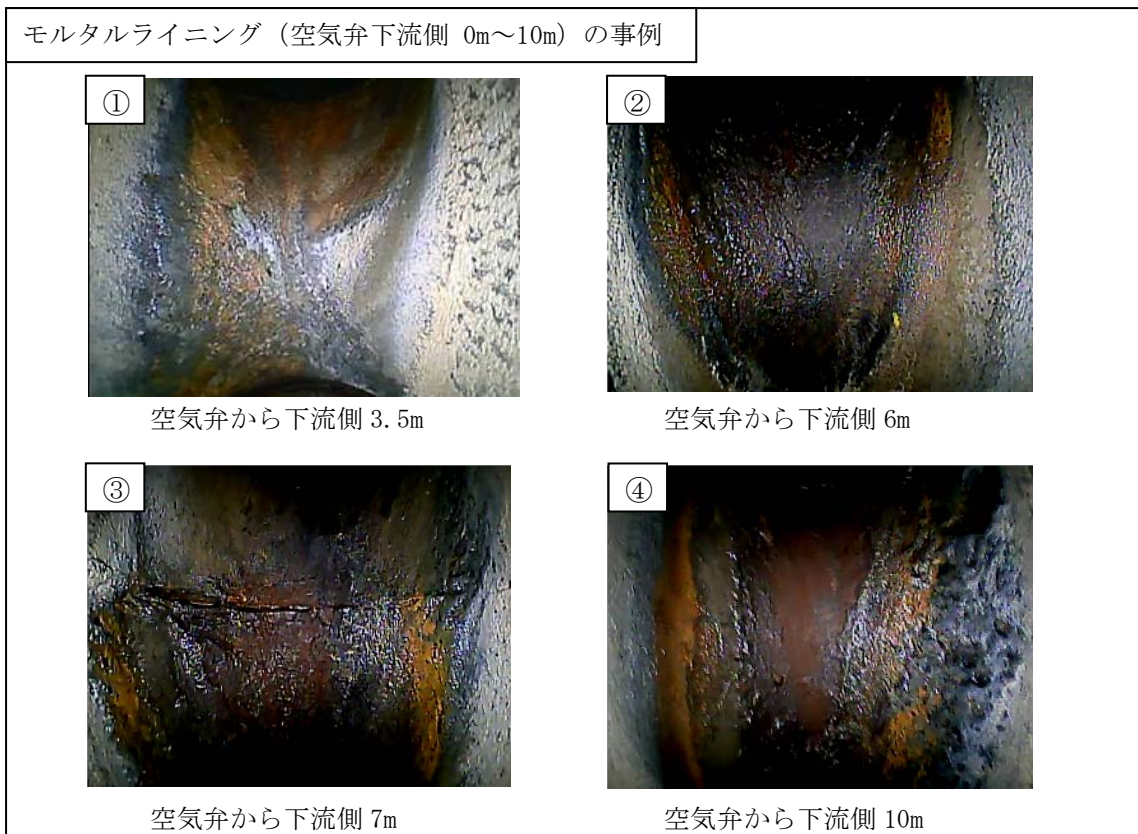


表 3.2-4(2) 管内面状況 (劣化度 : B ランク) (管頂側の約 180° を撮影)

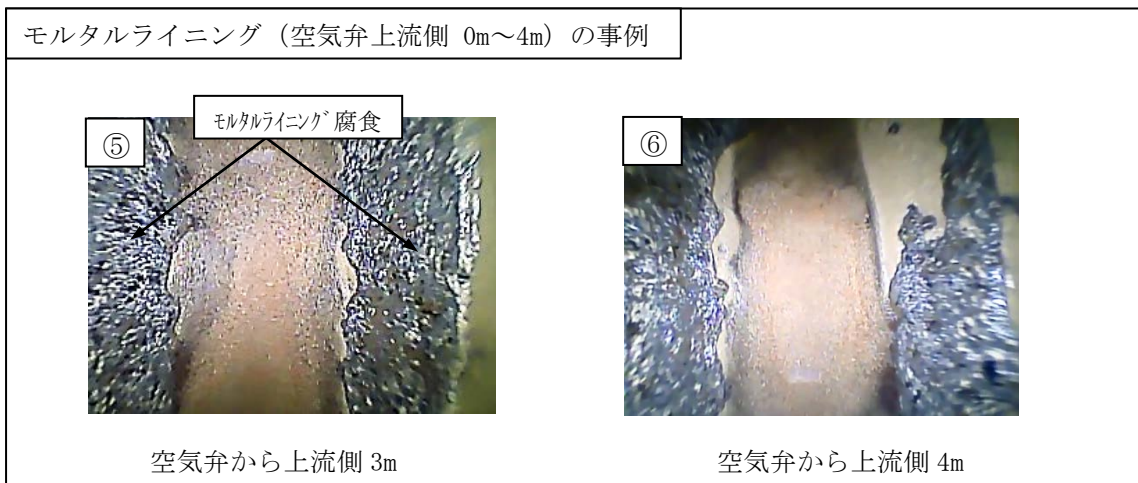


表 3.2-4(3) エポキシ樹脂粉体塗装の管内面状況（劣化度：異常なし）（管頂側の約180°を撮影）

エポキシ樹脂粉体塗装（空気弁上流側1m～下流側5m）の事例	
<p>⑦</p>	<p>⑧</p> <p>モルタルライニング</p> <p>継手部</p> <p>エポキシ樹脂粉体塗装</p> <p>生物膜</p>
<p>⑨</p>	<p>⑩</p>
<p>空気弁から下流側2m（曲管）</p>	<p>空気弁から下流側3m（曲管）</p>
<p>空気弁から下流側5m（曲管）</p>	<p>空気弁から上流側1m（短管，T字管）</p>
<p>直管（モルタルライニング）が鉄部腐食したAランクの範囲でも腐食なし</p>	

#### (4) 机上スクリーニングと調査結果との比較

机上スクリーニングと調査結果との比較を行った。結果を図 3.2-3 に示す。

- ①机上スクリーニングで腐食危険推定箇所と判断した空気弁 1 の周辺で、実際に管内面に腐食 (A ランク及び B ランク) が発生していた。
- ②空気弁の下流側では、調査範囲の全線にわたって鉄部が腐食しており、その下流側も同様に腐食している可能性が高いと推測される。

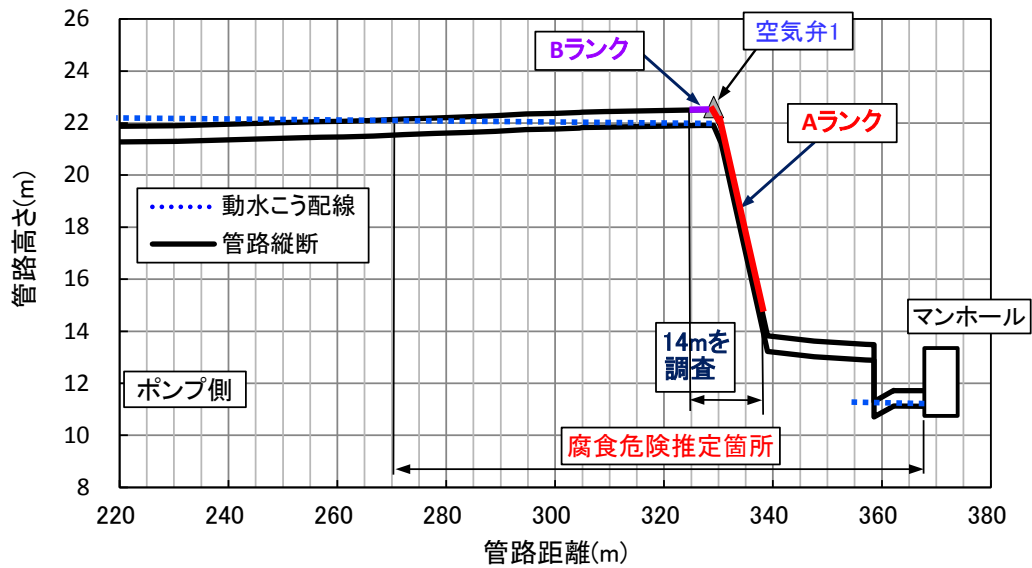


図 3.2-3 机上スクリーニングと調査結果との比較

### 3.3 K市

#### (1) 管路条件

調査を行った管路条件を表 3.3-1 に示す。管内面防食方法は、直管がモルタルライニング、異形管がタールエポキシ樹脂塗装であった。

表 3.3-1 管路条件

管路条件
①管径：350mm
②管路長：4,730m (管路縦断頂上部から下流側吐出し先までの距離)
③管種：ダクタイル鋳鉄管
④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング
⑤管内面防食方法(異形管)：タールエポキシ樹脂塗装
⑥送水量：4.1m <sup>3</sup> /min(流速0.71m/sec)
⑦ポンプ運転状況：間欠運転
⑧吐出し先：マンホール
⑨供用開始：1994年
⑩調査実施：2017年

#### (2) 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出

机上スクリーニングを行い、腐食危険推定箇所の抽出を行った。結果を図 3.3-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所は吐出し先も含めて 5 箇所あるが、その全ての箇所に空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③過去に発生した 2 箇所の漏水は、いずれも腐食危険推定箇所と一致していた。

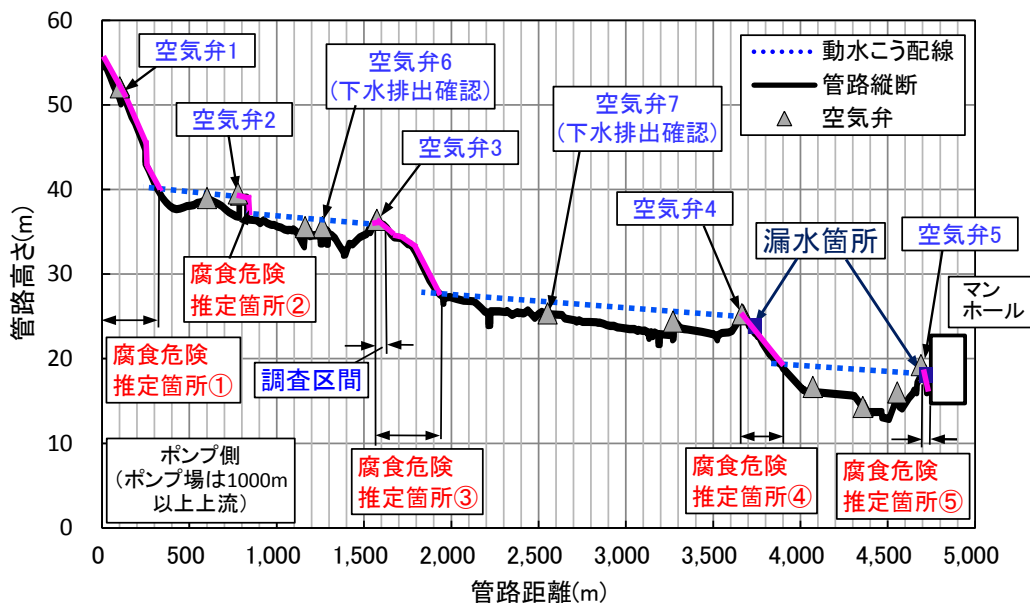


図 3.3-1 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出



### (3) 硫酸腐食の調査

#### 1) 現地踏査

道路交通状況や周辺環境等も勘案した上で、視覚調査箇所及び具体的な調査方法を以下のように決定した。

- ①空気弁 3 から本調査機器を挿入し、腐食危険推定箇所③を対象に視覚調査を行う。空気弁 3 の周辺の状況を写真 3.3-1 に示す。なお、腐食危険推定箇所④及び腐食危険推定箇所⑤で過去に漏水事故が発生しており、今回は異なる箇所を調査対象とした。
- ②本管路では、机上スクリーニングで満流状態になっていると判断した空気弁 6 及び空気弁 7 も対象に事前確認を行い、推定通り下水が排出されることも確認する。

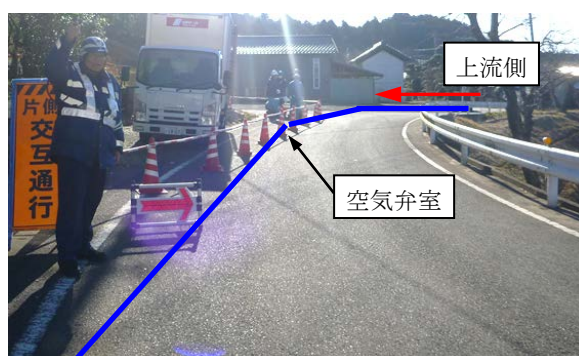


写真 3.3-1 空気弁 3 の周辺の状況

#### 2) 事前確認

##### <空気弁 3>

- ①ポンプを稼働・停止させ、空気弁 3 が吸排気していることを確認した。
- ②ポンプ稼働開始からポンプが停止するまでの 1 時間に、空気弁 3 に設置されている採取孔から下水が排出されないことを確認した。

以上より、空気弁 3 の設置箇所の管内は常に非満流であり、空気弁 3 を取り外しても下水が溢れる可能性は低く、かつ、硫酸腐食の可能性が高いと判断し、視覚調査を行うことにした。

### <空気弁 6 及び空気弁 7>

- ①ポンプを稼働・停止させたが、どちらの空気弁も吸排気していなかった。
- ②ポンプ停止時に採取孔を開くと、どちらの空気弁からも下水が排出され、机上スクリーニングの推定通り満流状態であることを確認した（写真 3.3-2 参照）。



写真 3.3-2 下水排出の確認

### 3) 視覚調査

空気弁 3 を取り外した後、本調査機器を管内に挿入し、空気弁 3 の下流側を対象に視覚調査を行った。

#### i) 調査箇所 の 状況（図 3.3-2 参照）

- ①調査範囲内には曲管は布設されておらず、直管の継手部を若干屈曲させて配管することで道路曲線に対応していた。
- ②調査箇所は、全線にわたって緩やかな下りこう配になっていた。

#### ii) 本調査機器の現地適用性の評価

本調査機器の現地適用性の評価結果を表 3.3-2 に示す。本調査機器は、全ての評価項目で目標を満足していることを確認した。視覚調査の状況を写真 3.3-3 に示す。

表 3.3-2 本調査機器の現地適用性の評価結果

評価項目	目標	調査結果	備考
空気弁からの挿入	口径75mmから挿入可能	口径75mmの空気弁から挿入できた。	—
視覚調査時間	1.5時間以内	1.0時間で視覚調査できた。	—
管径	200mm～1000mm	管径350mmで視覚調査実施。	
撮影された *1) 画像のレベル	管内の劣化度を診断可能	管頂側約180° の範囲を撮影でき、画像は鮮明で、管内面の劣化度を問題なく診断できた。	—
調査範囲	空気弁から30mの範囲を調査可能	備考に示す状況下で、空気弁3から下流側32mまで本調査機器を押し込み視覚調査できた。また、本調査機器が水没した一部区間を除き劣化度を問題なく診断できた。	<ul style="list-style-type: none"> <li>•管内の下水の流れを完全に止めることができず、管底部を下水が流れた状態で視覚調査を行った。下水の水深は約30mm～40mmであった。</li> <li>•調査を行った全区間で、管内に堆積物はほとんどなかった。</li> <li>•調査範囲内に曲管は布設されていなかった。</li> </ul>

\*1) 撮影された画像は、表3.3-4(1)～表3.3-4(2)に示す。

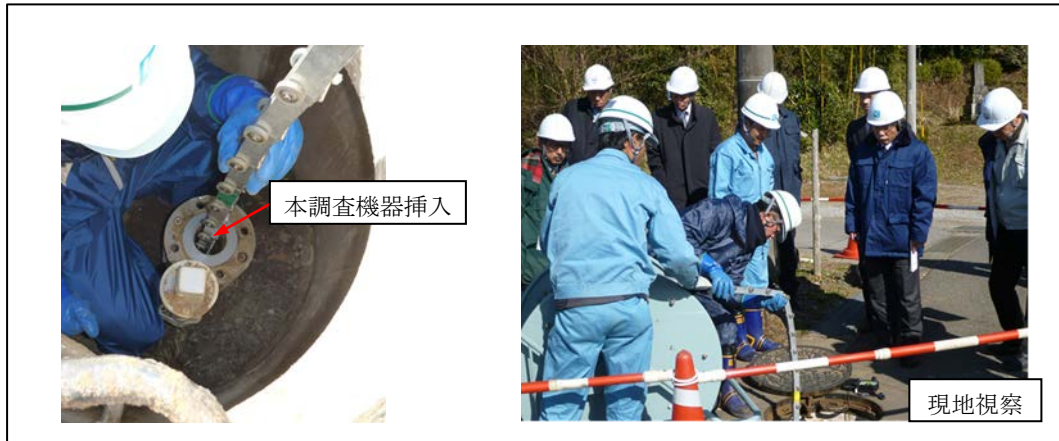


写真 3.3-3 視覚調査の状況

#### 4) 診断・評価

視覚調査で撮影された画像をもとに、圧送管路の劣化度の診断を行った。結果を図 3.3-2、表 3.3-3 及び表 3.3-4(1)～表 3.3-4(2)に示す。

- ① 圧送管路の劣化度を表 3.3-3 に示すようにランク分けできた。
- ② 空気弁 3 の下流側は、視覚調査を行った 32m の全線にわたって鉄部が腐食しており、劣化度 A ランクであった。空気弁 3 からの距離による劣化度の違いは見られなかった。
- ③ 調査範囲内に T 字管（タールエポキシ樹脂塗装）が 1 個布設されていたが、鉄部腐食が発生しており劣化度ランク A であった。

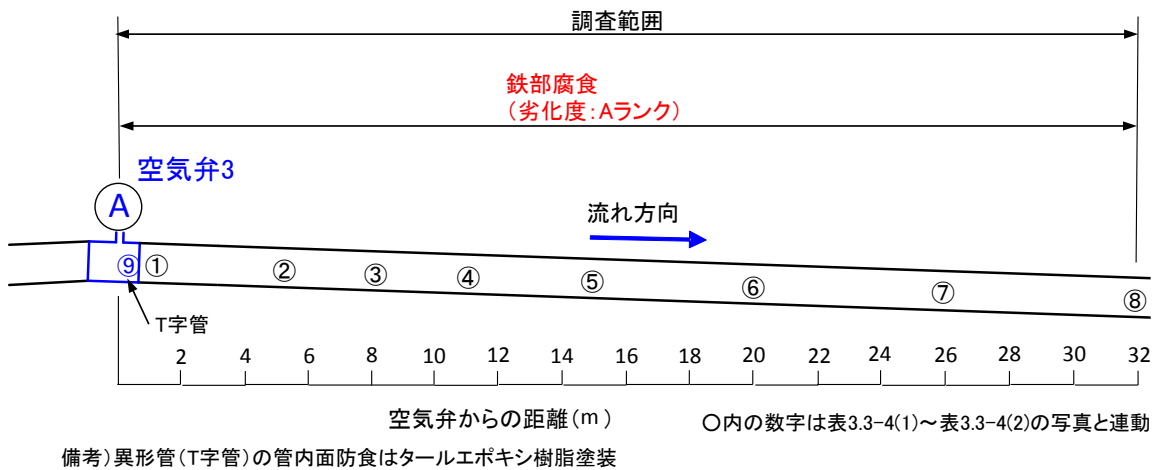


図 3.3-2 調査範囲と劣化度

表 3.3-3 劣化度の診断結果

空気弁からの距離	劣化度	管内面の腐食状況
下流側 0m～32m	Aランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直管(モルタルライニング)は、鉄部腐食が発生していた。</li> <li>・T字管(タールエポキシ樹脂塗装)が布設されていたが、鉄部腐食が発生していた。</li> <li>・空気弁からの距離による劣化度の違いは見られなかった。</li> </ul>

表 3.3-4(1) 管内面状況 (劣化度 : A ランク) (管頂側の約 180° を撮影)




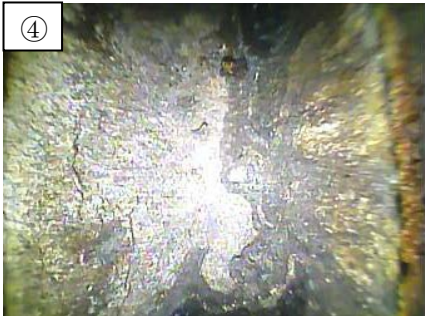




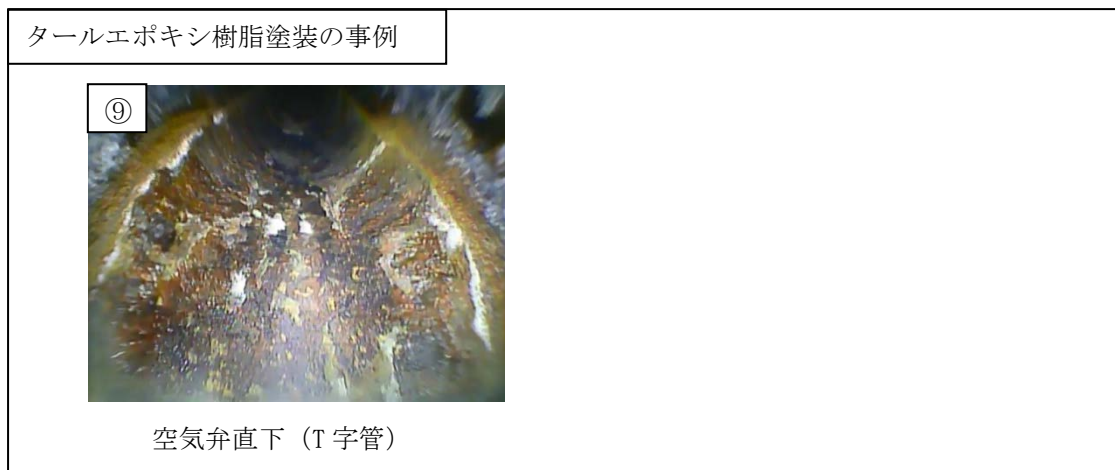
モルタルライニング (空気弁下流側 0m~32m) の事例	
 <p>①</p> <p>空気弁から下流側 1m</p>	 <p>②</p> <p>空気弁から下流側 5m</p>
 <p>③</p> <p>空気弁から下流側 8m</p>	 <p>④</p> <p>空気弁下流側から 11m</p>
 <p>⑤</p> <p>空気弁から下流側 15m</p>	 <p>⑥</p> <p>空気弁から下流側 20m</p>
 <p>⑦</p> <p>空気弁から下流側 26m</p>	 <p>⑧</p> <p>空気弁から下流側 32m</p>

表 3.3-4(2) タールエポキシ樹脂塗装の管内面状況 (劣化度: Aランク) (管頂側の約 180° を撮影)



#### (4) 机上スクリーニングと調査結果との比較

机上スクリーニングと調査結果との比較を行った。結果を図 3.3-3 に示す。

- ①机上スクリーニングで腐食危険推定箇所と判断した空気弁 3 の下流側で、実際に激しい鉄部腐食 (Aランク) が発生していた。
- ②空気弁 3 の下流側では、調査を行った 32m の範囲でほぼ同様の腐食が発生していた。調査区間は腐食危険推定箇所③ (約 350m) の極一部であるが、下りこう配が続いていることから、調査区間の下流側も同様に腐食している可能性が高いと推測される。
- ③机上スクリーニングで満流状態になっていると判断した空気弁 6 及び空気弁 7 では下水が排出され、想定通りの結果であった。

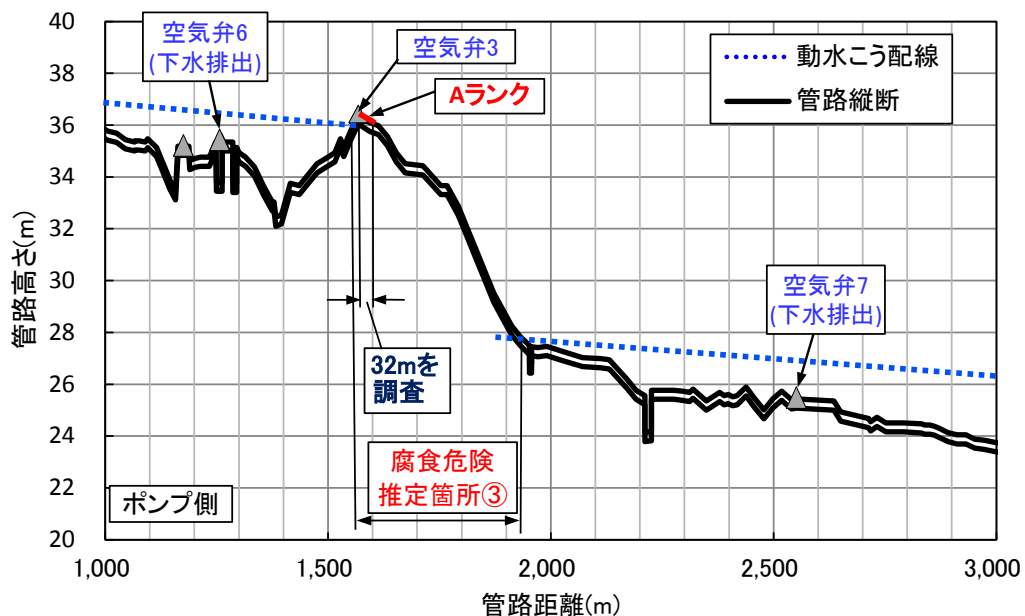


図 3.3-3 机上スクリーニングと調査結果との比較

### 3.4 L市（管路1）

#### (1) 管路条件

調査を行った管路条件を表 3.4-1 に示す。管内面防食方法は、直管がモルタルライニング、異形管がタールエポキシ樹脂塗装であった。

表 3.4-1 管路条件

管路条件
①管径:800mm
②管路長:2,110m
③管種：ダクタイル鋳鉄管
④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング
⑤管内面防食方法(異形管)：タールエポキシ樹脂塗装
⑥送水量:25m <sup>3</sup> /min(流速0.83m/sec)
⑦ポンプ運転状況:間欠運転
⑧吐出し先:マンホール
⑨供用開始:1973年
⑩調査実施:2017年

#### (2) 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出

机上スクリーニングを行い、腐食危険推定箇所の抽出を行った。結果を図 3.4-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②管路縦断頂上部付近の空気弁 1 から吐出し先マンホールまでの区間では、伏越し部を除いてほぼ全線が非満流で腐食危険推定箇所となる。
- ③また、腐食危険推定箇所には伏越し毎に空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。

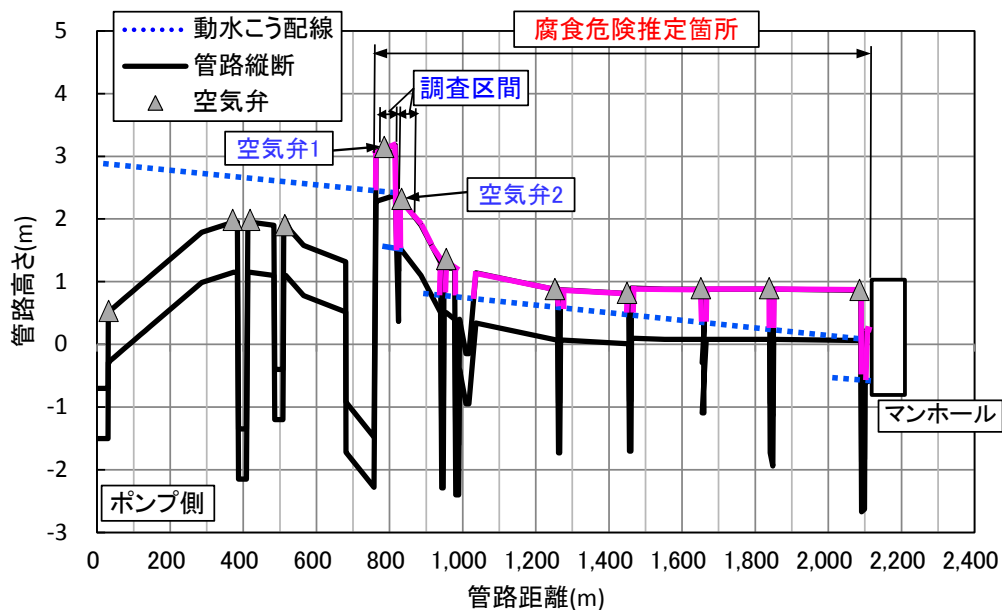


図 3.4-1 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出

### (3) 硫酸腐食の調査

#### 1) 現地踏査

道路交通状況や周辺環境等も勘案した上で、視覚調査箇所及び具体的な調査方法を以下のように決定した。

- ①管路縦断的に高い位置に設置されている空気弁 1 及び空気弁 2 を対象に、本調査機器を挿入して視覚調査を行う。空気弁 1 及び空気弁 2 の周辺の状況を写真 3.4-1 に示す。

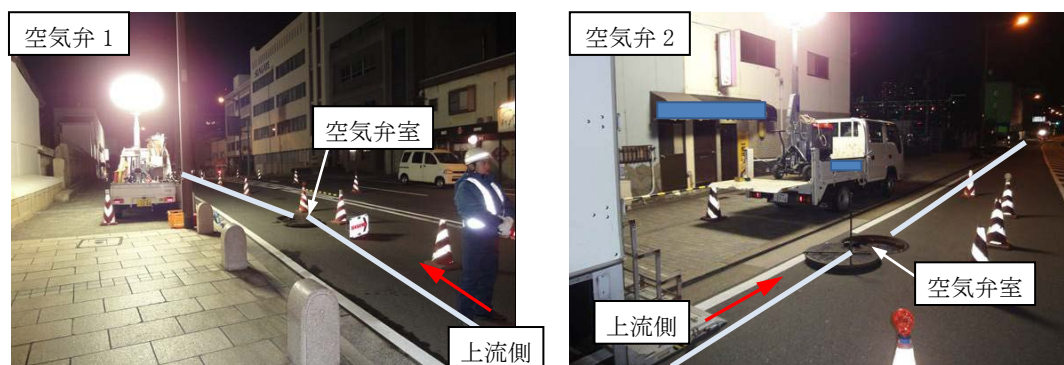


写真 3.4-1 空気弁 1 及び空気弁 2 の周辺の状況

#### 2) 事前確認

- ①ポンプを稼働・停止させ、空気弁 1 及び空気弁 2 が吸排気していることを確認した。
- ②ポンプ稼働開始からポンプが停止するまでの 20 分間に、空気弁 1 及び空気弁 2 に設置されている採取孔から下水が排出されないことを確認した。

以上より、空気弁 1 及び空気弁 2 の設置箇所の管内は常に非満流であり、空気弁を取り外しても下水が溢れる可能性は低く、かつ、硫酸腐食の可能性が高いと判断し、視覚調査を行うことにした。

### 3) 視覚調査

#### <空気弁1>

空気弁1を取り外した後、本調査機器を管内に挿入し、空気弁1の下流側の視覚調査を行った。空気弁1の上流側にも腐食が懸念されたため、上流側の視覚調査も併せて行った。

#### i) 調査箇所 の状況と目標調査範囲 (図 3.4-2 参照)

①空気弁1の下流側は緩やかな上りこう配になっており、約28mの地点に45°曲管(縦断配管)が布設されていた。曲管の下流側には下水が滞留している可能性が高く、本調査機器が水没する直前までの範囲を視覚調査する。

②空気弁1の上流側は、全体の調査時間を考慮して15m程度を目安に視覚調査を行う。

#### ii) 本調査機器の現地適用性の評価

本調査機器の現地適用性の評価結果を表3.4-2に示す。本調査機器は、全ての評価項目で目標を満足していることを確認した。視覚調査の状況を写真3.4-2に示す。

表 3.4-2 本調査機器の現地適用性の評価結果 (空気弁1)

評価項目	目標	調査結果	備考
空気弁からの挿入	口径75mmから挿入可能	口径75mmの空気弁から挿入できた。	—
視覚調査時間	1.5時間以内	下流側は1.0時間で、上流側は0.5時間で視覚調査できた。	—
管径	200mm～1000mm	管径800mmで視覚調査実施。	
撮影された画像のレベル <sup>*1)</sup>	管内の劣化度を診断可能	管頂側約180°の範囲を撮影でき、画像は鮮明で、管内面の劣化度を問題なく診断できた。	—
調査範囲	空気弁から30mの範囲を調査可能	備考に示す状況下で、空気弁1から下流側28mまで本調査機器を押し込み視覚調査できた。上流側については、16mの区間の視覚調査を行った。	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査を行った全区間で、管内に堆積物はほとんどなかった。</li> <li>空気弁1の下流側28mの地点に45°曲管(縦断配管)が布設され、その下流側は下水が滞留していた。</li> </ul>

\*1) 撮影された画像は、表3.4-5(1)～表3.4-5(4)に示す。



写真 3.4-2 視覚調査の状況



## <空気弁 2>

空気弁 2 を取り外した後、本調査機器を管内に挿入し、空気弁 2 の下流側の視覚調査を行った。空気弁 2 の上流側にも腐食が懸念されたため、上流側の視覚調査も併せて行った。

### i) 調査箇所状況と目標調査範囲 (図 3.4-3 参照)

- ① 空気弁 2 の下流側は、緩やかな下りこう配の直線配管が続いており、30m を目標に視覚調査を行う。
- ② 空気弁 2 の上流側は、約 2m の地点に 45° 曲管 (縦断配管) が布設されており、本調査機器が水没する直前までの範囲を視覚調査する。

### ii) 調査結果

本調査機器の現地適用性の評価結果を表 3.4-3 に示す。本調査機器は、全ての評価項目で目標を満足していることを確認した。

表 3.4-3 本調査機器の現地適用性の評価結果 (空気弁 2)

評価項目	目標	調査結果	備考
空気弁からの挿入	口径75mmから挿入可能	口径75mmの空気弁から挿入できた。	—
視覚調査時間	1.5時間以内	下流側は1.0時間で、上流側は0.2時間で視覚調査できた。	—
管径	200mm～1000mm	管径800mmで視覚調査実施。	
撮影された画像のレベル <sup>*1)</sup>	管内の劣化度を診断可能	管頂側約180° の範囲を撮影でき、画像は鮮明で、管内面の劣化度を問題なく診断できた。	—
調査範囲	空気弁から30mの範囲を調査可能	備考に示す状況下で、空気弁2から下流側30mまで本調査機器を押し込み視覚調査できた。上流側については、本調査機器が水没した2mまで視覚調査を行った。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査を行った全区間で、管内に堆積物はほとんどなかった。</li> <li>・空気弁2の上流側2mの地点に45° 曲管 (縦断配管) が布設され、その上流側は下水が滞留していた。</li> </ul>

\*1) 撮影された画像は、表3.4-7(1)～表3.4-7(2)に示す。

#### 4) 診断・評価

##### <空気弁1>

視覚調査で撮影された画像をもとに、圧送管路の劣化度の診断を行った。結果を図3.4-2、表3.4-4及び表3.4-5(1)～表3.4-5(4)に示す。

- ① 圧送管路の劣化度を表3.4-4に示すようにランク分けできた。
- ② 空気弁1の下流側1m～13m及び上流側1m～16mの区間では、管側部でモルタルライニングが変色しており、劣化度Bランクであった。
- ③ 一方、空気弁1の下流側14m～28mの区間では、管頂部に鉄部腐食（劣化度Aランク）が見られ、下流に行く程腐食範囲が広がっていた。
- ④ 調査範囲内に異形管（タールエポキシ樹脂塗装）が2個（T字管及び曲管）布設されていたが、どちらも鉄部腐食が発生しており劣化度Aランクであった。

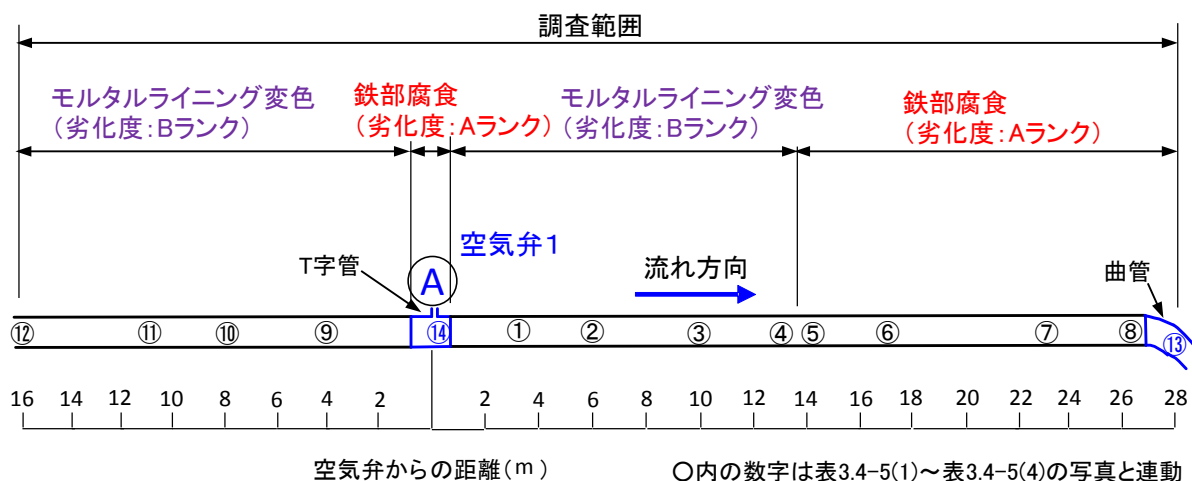


図3.4-2 調査範囲と劣化度

表3.4-4 劣化度の診断結果

空気弁からの距離	劣化度	管内面の状況
下流側 1～13m	Bランク	直管(モルタルライニング)に鉄部腐食は見られなかったが、管側部でモルタルライニングが変色していた。
下流側 14～28m	Aランク	直管(モルタルライニング)は、管頂部が鉄部腐食していた。下流に行く程腐食範囲は広がっていた。 28mの地点に布設されていた曲管(タールエポキシ樹脂塗装)にも鉄部腐食が発生していた。
上流側 1～16m	Bランク	直管(モルタルライニング)に鉄部腐食は見られなかったが、管側部でモルタルライニングが変色していた。
空気弁近傍 前後1m	Aランク	T字管(タールエポキシ樹脂塗装)が布設されていたが、鉄部腐食が発生していた。

表 3.4-5(1) 管内面状況 (劣化度 : B ランク) (管頂側の約 180° を撮影)





モルタルライニング (空気弁下流側 1m~13m) の事例	
<p>①</p> <p>モルタルライニング変色</p>  <p>空気弁から下流側 3m</p>	<p>②</p>  <p>空気弁から下流側 6m</p>
<p>③</p>  <p>空気弁から下流側 10m</p>	<p>④</p>  <p>空気弁から下流側 13m</p>

表 3.4-5(2) 管内面状況 (劣化度 : A ランク) (管頂側の約 180° を撮影)




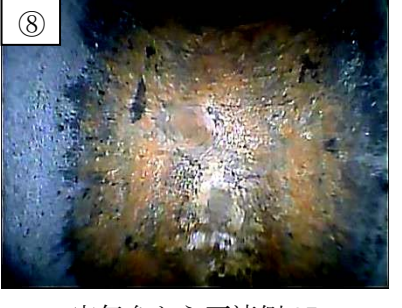
モルタルライニング (空気弁下流側 14m~28m) の事例	
<p>⑤</p>  <p>空気弁から下流側 14m</p>	<p>⑥</p>  <p>空気弁から下流側 17m</p>
<p>⑦</p>  <p>空気弁から下流側 23m</p>	<p>⑧</p>  <p>空気弁から下流側 27m</p>

表 3.4-5(3) 管内面状況 (劣化度 : B ランク) (管頂側の約 180° を撮影)

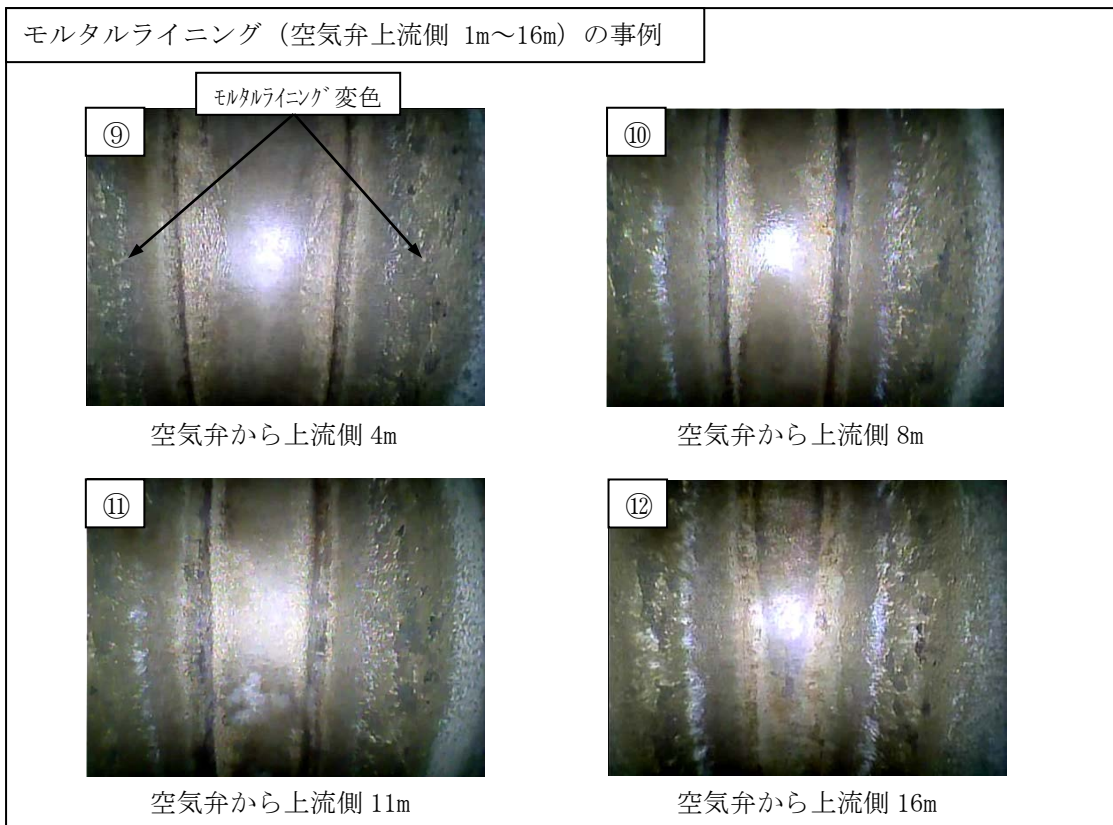
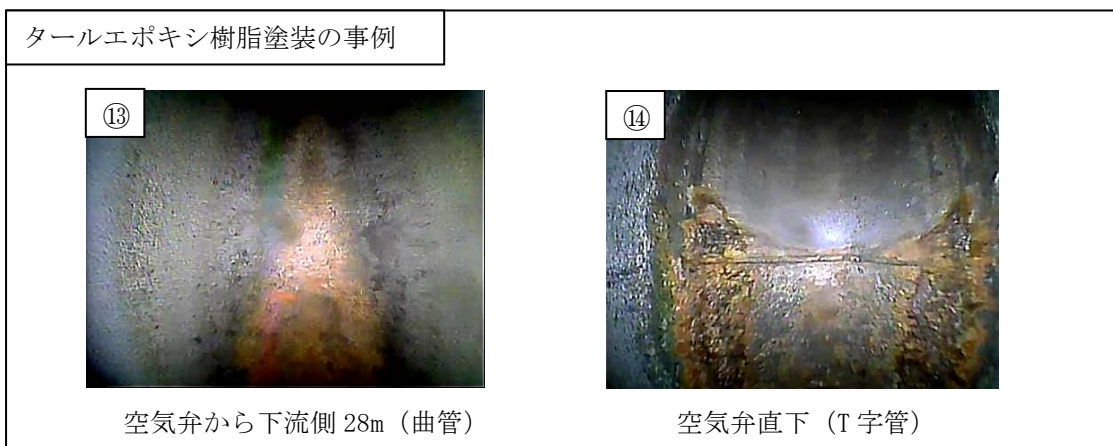


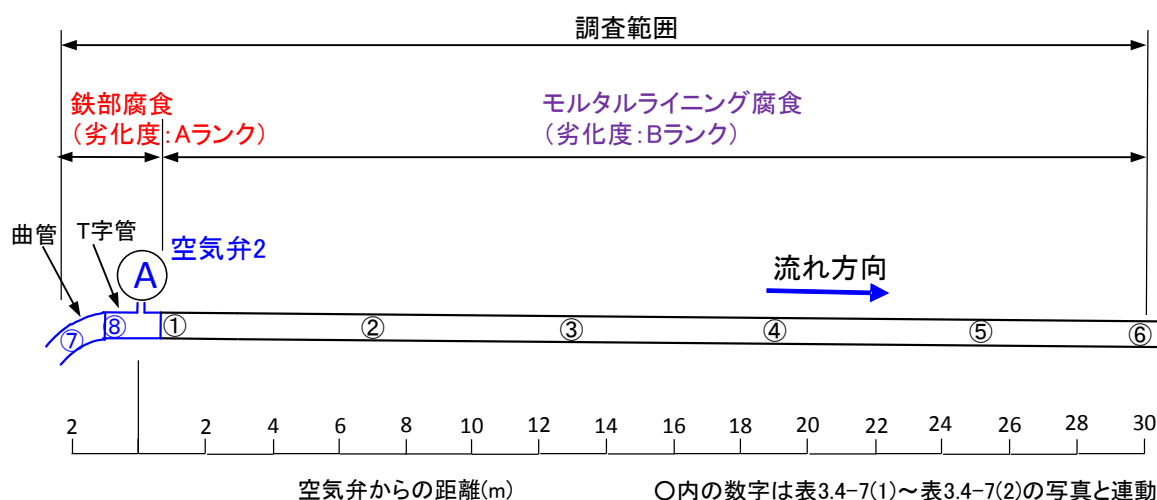
表 3.4-5(4) タールエポキシ樹脂塗装の管内面状況 (劣化度 : A ランク) (管頂側の約 180° を撮影)



### <空気弁 2>

視覚調査で撮影された画像をもとに、圧送管路の劣化度の診断を行った。結果を図 3. 4-3、表 3. 4-6 及び表 3. 4-7(1)～表 3. 4-7(2)に示す。

- ① 圧送管路の劣化度を表 3. 4-6 に示すようにランク分けできた。
- ② 空気弁 2 の下流側は、視覚調査を行った 30m の全線にわたってモルタルライニングの腐食が明らかに進行しており、劣化度 B ランクであった。空気弁 2 からの距離による劣化度の違いは見られなかった。
- ③ 調査範囲内に異形管（タールエポキシ樹脂塗装）が 2 個（T 字管及び曲管）布設されていたが、どちらも鉄部腐食が発生しており劣化度ランク A であった。



○内の数字は表3.4-7(1)～表3.4-7(2)の写真と連動  
備考)異形管(曲管, T字管)の管内面防食はタールエポキシ樹脂塗装

図 3. 4-3 調査範囲と劣化度

表 3. 4-6 劣化度の診断結果

空気弁からの距離	劣化度	管内面の状況
下流側 1～30m	Bランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直管(モルタルライニング)に鉄部腐食は見られなかったが、管側部でモルタルライニングの腐食が明らかに進行していた。</li> <li>・空気弁からの距離による劣化度の違いは見られなかった。</li> </ul>
上流側2m～ 下流側1m	Aランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・曲管及びT字管(ともにタールエポキシ樹脂塗装)が布設されていたが、鉄部腐食が発生していた。</li> </ul>

表 3.4-7(1) 管内面状況 (劣化度 : B ランク) (管頂側の約 180° を撮影)


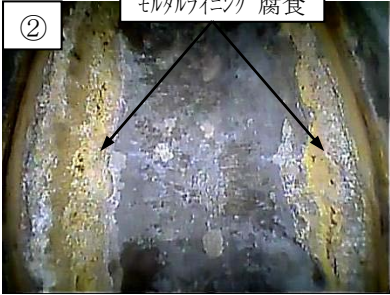






モルタルライニング (空気弁下流側 1m~13m) の事例	
① 	② 
空気弁から下流側 1m	空気弁から下流側 7m
③ 	④ 
空気弁から下流側 13m	空気弁から下流側 19m
⑤ 	⑥ 
空気弁から下流側 25m	空気弁から下流側 30m

表 3.4-7(2) タールエポキシ樹脂塗装の管内面状況 (劣化度 : A ランク) (管頂側の約 180° を撮影)

タールエポキシ樹脂塗装の事例	
⑦ 	⑧ 
空気弁から上流側 2m (曲管)	空気弁直下 (T字管)

#### (4) 机上スクリーニングと調査結果との比較

机上スクリーニングと調査結果との比較を行った。結果を図 3.4-4 に示す。

- ①机上スクリーニングで腐食危険推定箇所と判断した空気弁 1 及び空気弁 2 の周辺で、実際に管内面に腐食 (A ランク及び B ランク) が発生していた。
- ②空気弁 2 の下流側では、調査を行った 30m の範囲でほぼ同様のモルタルライニングの腐食が発生していた。調査区間は腐食危険推定箇所② (約 120m) の極一部であるが、下りこう配が続いていることから、調査区間の下流側も同様に腐食している可能性が高いと推測される。

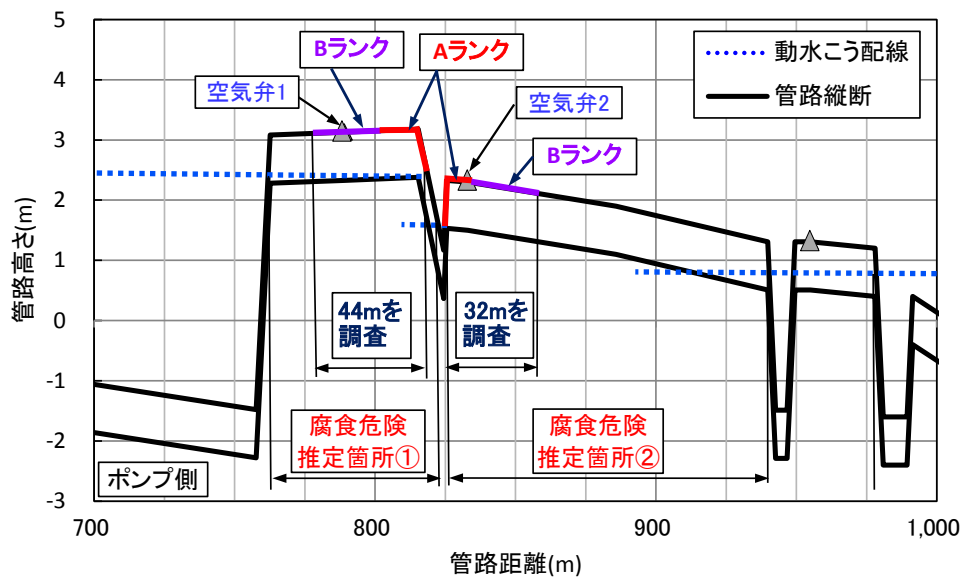


図 3.4-4 机上スクリーニングと調査結果との比較

### 3.5 L市（管路2）

#### (1) 管路条件

調査を行った管路条件を表 3.5-1 に示す。管内面防食方法は、直管がモルタルライニング、異形管がエポキシ樹脂粉体塗装であった。

表 3.5-1 管路条件

管路条件
①管径:450mm
②管路長:1,480m
③管種:ダクタイル鋳鉄管
④管内面防食方法(直管):モルタルライニング
⑤管内面防食方法(異形管):エポキシ樹脂粉体塗装
⑥送水量:12.3m <sup>3</sup> /min(流速1.29m/sec)
⑦ポンプ運転状況:間欠運転
⑧吐出し先:マンホール
⑨供用開始:1991年
⑩道路陥没発生:2015年
⑪調査実施:2017年

備考)本管路は、2015年の道路陥没事故発生まで24年間使用され、2015年に復旧工実施。その後供用を再開したが、2016年に供用を中止。

#### (2) 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所抽出

机上スクリーニングを行い、腐食危険推定箇所の抽出を行った。結果を図 3.5-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所は吐出し先も含めて 5 箇所あるが、その全ての箇所に空気弁が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③過去に道路陥没が発生した箇所は、腐食危険推定箇所と一致していた。

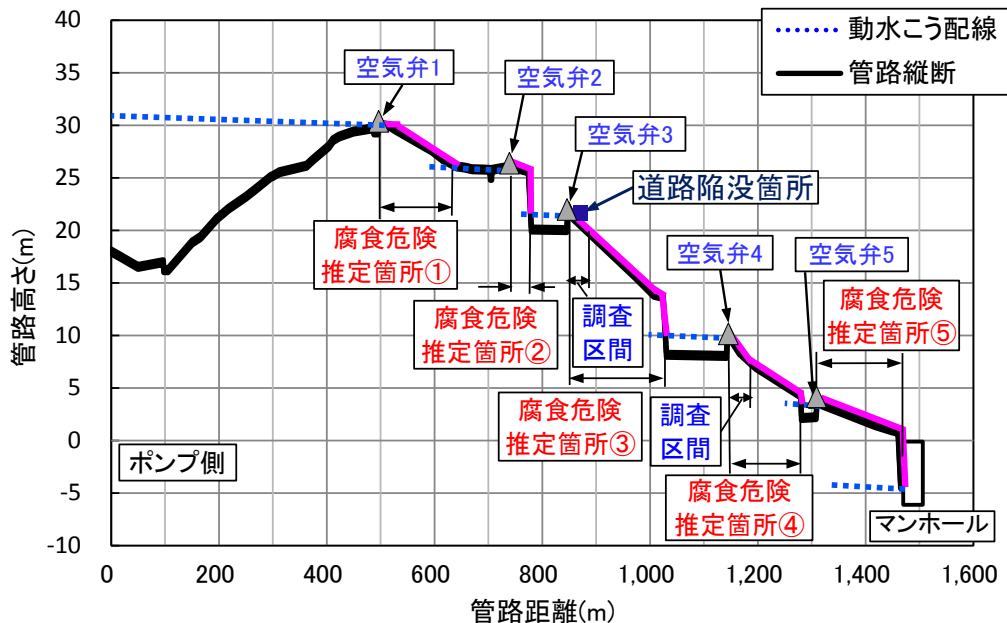


図 3.5-1 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出



### (3) 硫酸腐食の調査

#### 1) 現地踏査

道路交通状況や周辺環境等も勘案した上で、視覚調査箇所及び具体的な調査方法を以下のように決定した。

- ①過去に道路陥没が発生した腐食危険推定箇所③及びほぼ同様の管路縦断条件の腐食危険推定箇所④を調査対象とする。空気弁 3 及び空気弁 4 から本調査機器を挿入して視覚調査を行う。
- ②本管路は、視覚調査時には供用が中止されていたため、事前確認は行わない。空気弁 3 及び空気弁 4 の周辺の状況を写真 3.5-1 に示す。



写真 3.5-1 空気弁 3 及び空気弁 4 の周辺の状況

#### 2) 視覚調査

##### <空気弁 3>

空気弁 3 を取り外した後、本調査機器を管内に挿入し、空気弁 3 の下流側の視覚調査を行った。空気弁 3 の上流側にも腐食が懸念されたため、上流側の視覚調査も併せて行った。

##### i) 調査箇所の状況と目標調査範囲 (図 3.5-2 参照)

- ①空気弁 3 の下流側は下りこう配の直線配管が続いており、30m を目標に視覚調査を行う。
- ②空気弁 3 の上流側は、約 2m の地点に 45° 曲管 (縦断配管) が布設されており、本調査機器が水没する直前までの範囲を視覚調査する。

##### ii) 本調査機器の現地適用性の評価

本調査機器の現地適用性の評価結果を表 3.5-2 に示す。本調査機器は、全ての評価項目で目標を満足していることを確認した。視覚調査の状況を写真 3.5-2 に示す。

表 3.5-2 本調査機器の現地適用性の評価結果（空気弁3）

評価項目	目標	調査結果	備考
空気弁からの挿入	口径75mmから挿入可能	口径75mmの空気弁から挿入できた。	—
視覚調査時間	1.5時間以内	下流側は0.5時間で、上流側は0.2時間で視覚調査できた。	—
管径	200mm～1000mm	管径450mmで視覚調査実施。	—
撮影された画像のレベル <sup>*1)</sup>	管内の劣化度を診断可能	管頂側約180°の範囲を撮影でき、画像は鮮明で、管内面の劣化度を問題なく診断できた。	—
調査範囲	空気弁から30mの範囲を調査可能	備考に示す状況下で、空気弁3から下流側31mまで本調査機器を押し込み視覚調査できた。上流側については、本調査機器が水没した2mまで視覚調査を行った。	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査を行った全区間で、管内に堆積物はほとんどなかった。ただし、下流側に錆こぶによる段差（高さ30mm程度：写真3.5-3参照）が1箇所確認された。</li> <li>空気弁3の上流側2mの地点に45°曲管（縦断配管）が布設され、その上流側は下水が滞留していた。</li> </ul>

\*1) 撮影された画像は、表3.5-5(1)～表3.5-5(3)に示す。

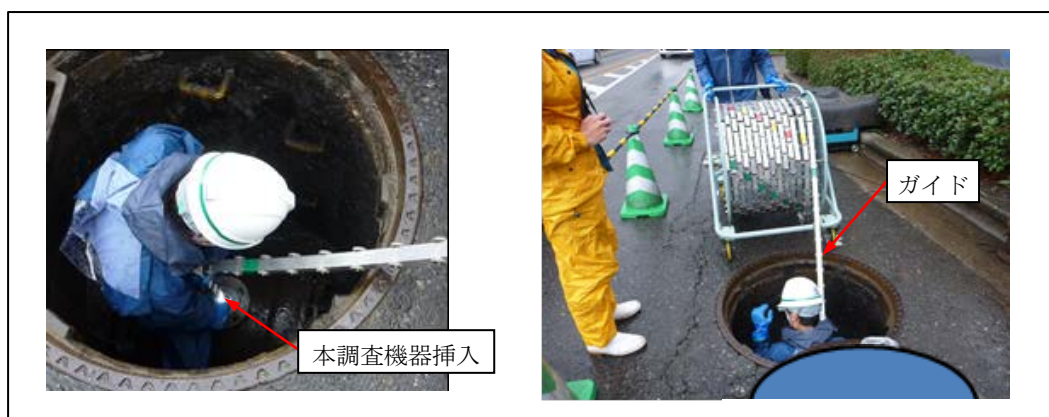


写真 3.5-2 視覚調査の状況

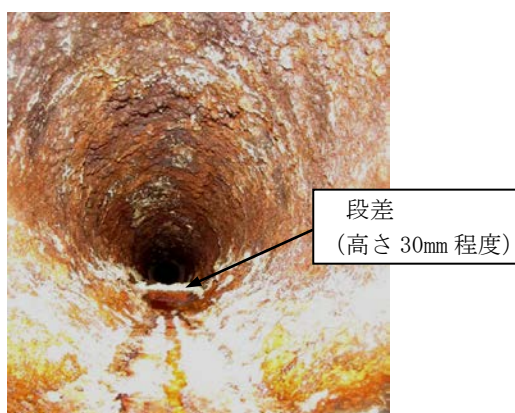


写真 3.5-3 錆こぶによる管内の段差（デジタルカメラで撮影）

## <空気弁 4>

空気弁 4 を取り外した後、本調査機器を管内に挿入し、空気弁 4 の下流側の視覚調査を行った。空気弁 4 の上流側にも腐食が懸念されたため、上流側の視覚調査も併せて行った。

### i) 調査箇所状況と目標調査範囲 (図 3.5-3 参照)

① 空気弁 4 の下流側は下りこう配の直線配管が続いており、30m を目標に視覚調査を行う。

② 空気弁 4 の上流側は、約 2m の地点に 45° 曲管 (縦断配管) が布設されており、本調査機器が水没する直前までの範囲を視覚調査する。

### ii) 本調査機器の現地適用性の評価

本調査機器の現地適用性の評価結果を表 3.5-3 に示す。本調査機器は、全ての評価項目で目標を満足していることを確認した。

表 3.5-3 本調査機器の現地適用性の評価結果 (空気弁 4)

評価項目	目標	調査結果	備考
空気弁からの挿入	口径75mmから挿入可能	口径75mmの空気弁から挿入できた。	—
視覚調査時間	1.5時間以内	下流側は0.5時間で、上流側は0.2時間で視覚調査できた。	—
管径	200mm～1000mm	管径450mmで視覚調査実施。	
撮影された画像のレベル <sup>*1)</sup>	管内の劣化度を診断可能	管頂側約180°の範囲を撮影でき、画像は鮮明で、管内面の劣化度を問題なく診断できた。	—
調査範囲	空気弁から30mの範囲を調査可能	備考に示す状況下で、空気弁4から下流側31mまで本調査機器を押し込んで視覚調査できた。 上流側については、本調査機器が水没した2mまで視覚調査を行った。	<ul style="list-style-type: none"> <li>調査を行った全区間で、管内に堆積物はほとんどなかった。</li> <li>空気弁4の上流側2mの地点に45°曲管(縦断配管)が布設され、その上流側は下水が滞留していた。</li> </ul>

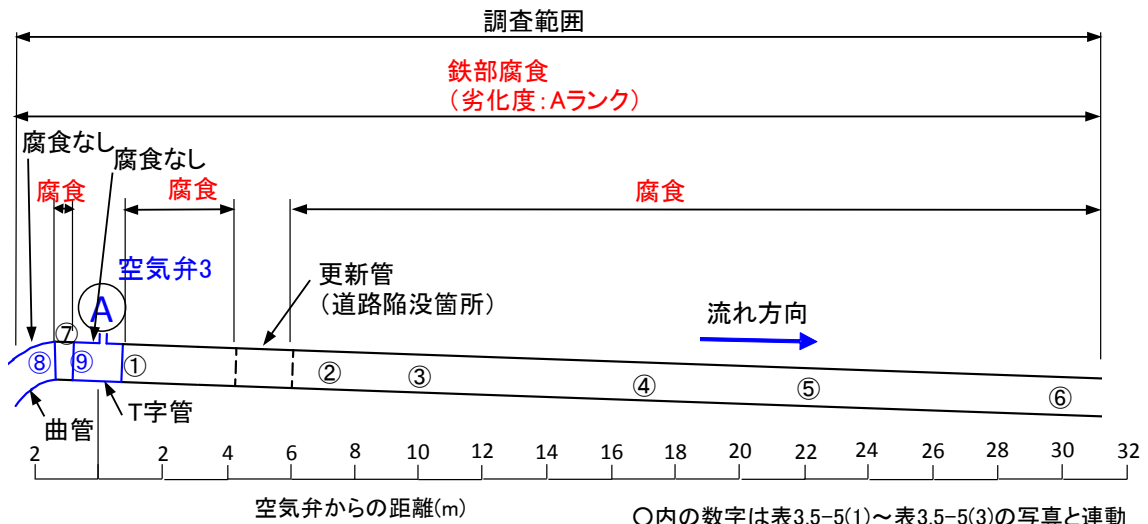
\*1) 撮影された画像は、表3.5-7(1)～表3.5-7(4)に示す。

### 3) 診断・評価

#### <空気弁3>

視覚調査で撮影された画像をもとに、圧送管路の劣化度の診断を行った。結果を図3.5-2、表3.5-4及び表3.5-5(1)～表3.5-5(3)に示す。

- ① 圧送管路の劣化度を表3.5-4に示すようにランク分けできた。
- ② 空気弁3の下流側は、視覚調査を行った31mの全線（道路陥没後に更新した約2mの区間を除く）にわたって鉄部が腐食しており、劣化度Aランクであった。また、空気弁3からの距離による劣化度の違いは見られなかった。
- ③ 空気弁3の上流側も鉄部腐食が見られた。
- ④ 調査範囲内に異形管（エポキシ樹脂粉体塗装）が2個（T字管及び曲管）布設されていたが、どちらも管内面は腐食しておらず健全であった。



備考) 異形管(曲管, T字管)の管内面防食はエポキシ樹脂粉体塗装

図3.5-2 調査範囲と劣化度

表3.5-4 劣化度の診断結果

空気弁からの距離	劣化度	管内面の状況
下流側 0m～31m	Aランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直管(モルタルライニング)は、鉄部腐食が発生していた。</li> <li>・T字管(エポキシ樹脂粉体塗装)が布設されていたが、腐食は見られず健全であった。</li> </ul>
上流側 1m～2m	Aランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直管(モルタルライニング)は、鉄部腐食が発生していた。</li> <li>・曲管(エポキシ樹脂粉体塗装)が布設されていたが、腐食は見られず健全であった。</li> </ul>

表 3.5-5(1) 管内面状況 (劣化度 : A ランク) (管頂側の約 180° を撮影)







モルタルライニング (空気弁下流側 0m~31m) の事例	
① 	② 
空気弁から下流側 1m	空気弁から下流側 7m
③ 	④ 
空気弁から下流側 10m	空気弁から下流側 17m
⑤ 	⑥ 
空気弁から下流側 22m	空気弁から下流側 30m

表 3.5-5(2) 管内面状況 (劣化度 : A ランク) (管頂側の約 180° を撮影)


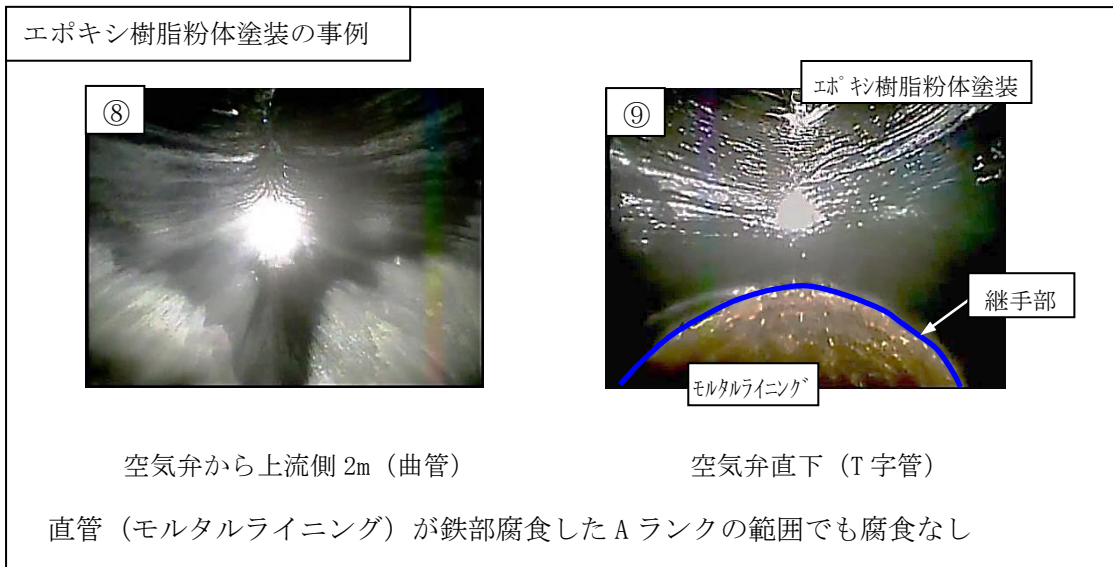
モルタルライニング (空気弁上流側 1m~2m) の事例
⑦ 
空気弁から上流側 1m

表 3.5-5(3) エポキシ樹脂粉体塗装の管内面状況（劣化度：異常なし）（管頂側の約 180° を撮影）



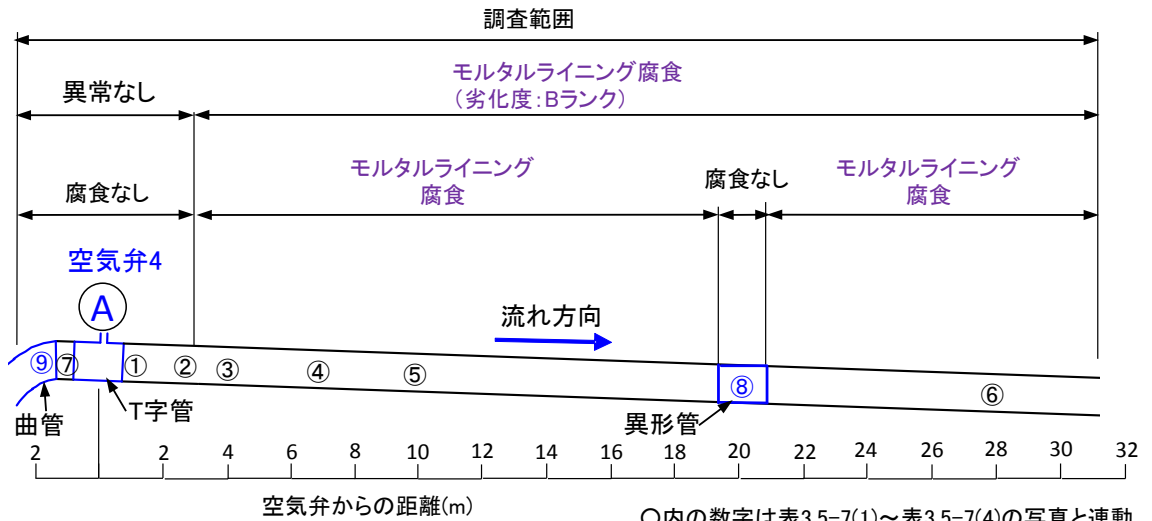
### <空気弁 4>

視覚調査で撮影された画像をもとに、圧送管路の劣化度の診断を行った。結果を図 3.5-3、表 3.5-6 及び表 3.5-7(1)～表 3.5-7(4)に示す。

- ①圧送管路の劣化度を表 3.5-6 に示すようにランク分けできた。
- ②空気弁 4 の下流側は、空気弁から 3m まではモルタルライニングに腐食は見られず、異常なしであった。4m～31m の範囲は全線にわたってモルタルライニングが管側部で変色しており、劣化度 B ランクであった。
- ③空気弁 4 の上流側は、モルタルライニングに腐食は見られず、異常なしであった。
- ④調査範囲内に異形管（エポキシ樹脂粉体塗装）が 3 個（T 字管及び曲管を含む）布設されていたが、いずれも管内面は腐食しておらず健全であった。

（考察）

ほぼ同様の管路縦断条件の空気弁 3 での調査結果と比較して、空気弁 4 では明らかに腐食の度合いが低かった。これは、空気弁 4 は補修弁が長期間閉鎖された状態で運用されており、空気弁 4 から新鮮な空気が供給されず、そのため硫化水素から硫酸の生成反応が進まなかったためと推測する。



備考) 異形管(曲管, T字管含む)の管内面防食はエポキシ樹脂粉体塗装

図 3.5-3 調査範囲と劣化度

表 3.5-6 劣化度の診断結果

空気弁からの距離	劣化度	管内面の状況
下流側 1m～3m	異常なし	・直管(モルタルライニング)の表面に変色は見られず、全面均一であった。
下流側 4m～31m	Bランク	・直管(モルタルライニング)は、管側部でモルタルライニングが変色していた。 ・異形管(エポキシ樹脂粉体塗装)が1個布設されていたが、腐食は見られず健全であった。
上流側 0m～2m	異常なし	・直管(モルタルライニング)の表面に変色は見られず、全面均一であった。 ・曲管及びT字管(ともにエポキシ樹脂粉体塗装)が布設されていたが、腐食は見られず健全であった。

表 3.5-7(1) 管内面状況 (劣化度: 異常なし) (管頂側の約 180° を撮影)



モルタルライニング (空気弁下流側 1m~3m) の事例	
 <p>①</p> <p>空気弁から下流側 1m</p>	 <p>②</p> <p>空気弁から下流側 3m</p>

表 3.5-7(2) 管内面状況 (劣化度: Bランク) (管頂側の約 180° を撮影)

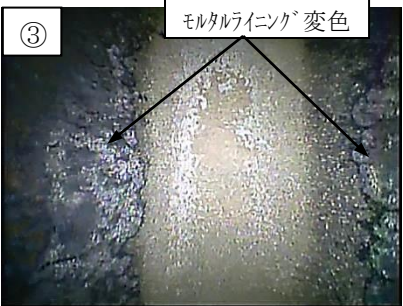



モルタルライニング (空気弁下流側 4m~31m) の事例	
 <p>③</p> <p>モルタルライニング 変色</p> <p>空気弁から下流側 4m</p>	 <p>④</p> <p>空気弁から下流側 7m</p>
 <p>⑤</p> <p>空気弁から下流側 10m</p>	 <p>⑥</p> <p>空気弁から下流側 28m</p>

表 3.5-7(3) 管内面状況 (劣化度: 異常なし) (管頂側の約 180° を撮影)


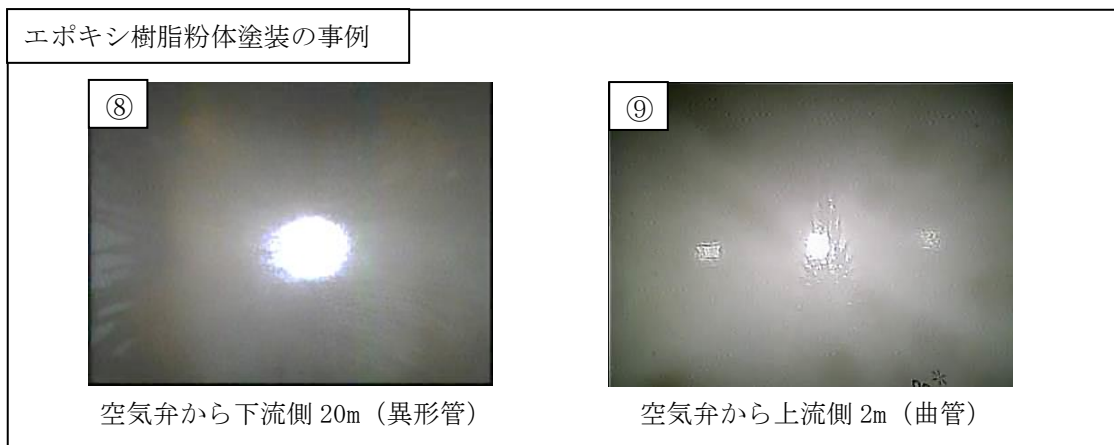
モルタルライニング (空気弁上流側 1m~2m) の事例	
 <p>⑦</p> <p>空気弁から上流側 1m</p>	



表 3.5-7(4) エポキシ樹脂粉体塗装の管内面状況（劣化度：異常なし）（管頂側の約180°を撮影）



#### (4) 机上スクリーニングと調査結果との比較

机上スクリーニングと調査結果との比較を行った。結果を図 3.5-4 に示す。

- ①机上スクリーニングで腐食危険推定箇所と判断した空気弁3及び空気弁4の周辺で、実際に管内面腐食（Aランク及びBランク）が発生していた。
- ②空気弁3の下流側では、調査を行った33mの範囲でほぼ同様の鉄部腐食が発生していた。調査区間は腐食危険推定箇所③（約180m）の極一部であるが、下りこう配が続いていることから、調査区間の下流側も同様に腐食している可能性が高いと推測される。
- ③空気弁4の下流側では、空気弁から4m～31mの範囲でほぼ同様のモルタルライニングの変色が見られた。調査区間は腐食危険推定箇所④（約130m）の極一部であるが、下りこう配が続いていることから、調査区間の下流側も同様に腐食している可能性が高いと推測される。

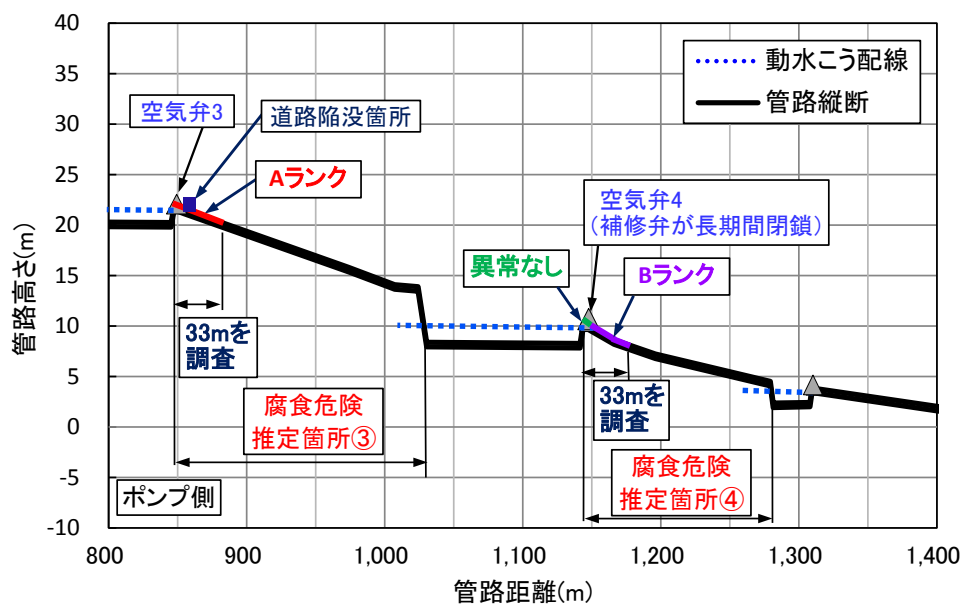


図 3.5-4 机上スクリーニングと調査結果との比較

### 3.6 M 流域下水道

#### (1) 管路条件

調査を行った管路条件を表 3.6-1 に示す。管内面防食方法は、直管がモルタルライニング、異形管がタールエポキシ樹脂塗装であった。

表 3.6-1 管路条件

管路条件
①管径:300mm
②管路長:2,690m
③管種:ダクタイル鋳鉄管
④管内面防食方法(直管):モルタルライニング
⑤管内面防食方法(異形管):タールエポキシ樹脂塗装
⑥送水量:2.3m <sup>3</sup> /min(流速0.54m/sec)
⑦ポンプ運転状況:間欠運転
⑧吐出し先:マンホール
⑨管路布設:1994年
⑩漏水発生:2017年
⑪調査実施:2017年

(備考) 本管路は2017年に漏水が発生しているが、今回は腐食危険推定箇所以外を対象に調査診断実施。

#### (2) 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出

机上スクリーニングを行い、腐食危険推定箇所の抽出を行った。結果を図 3.6-1 に示す。

- ①本管路で腐食危険推定箇所として抽出されるのは、ピンク色で示された区間となる。
- ②腐食危険推定箇所①では、管路縦断頂上部付近に空気弁 2 が設置されており、新鮮な空気が供給される環境になっていた。
- ③過去に漏水が発生した箇所は、腐食危険推定箇所と一致していた。
- ④漏水後に行った掘り上げ調査の結果、机上スクリーニングで腐食危険推定箇所と判断した空気弁 2 の周辺では、ほぼ推定通りの範囲で腐食が発生していた。

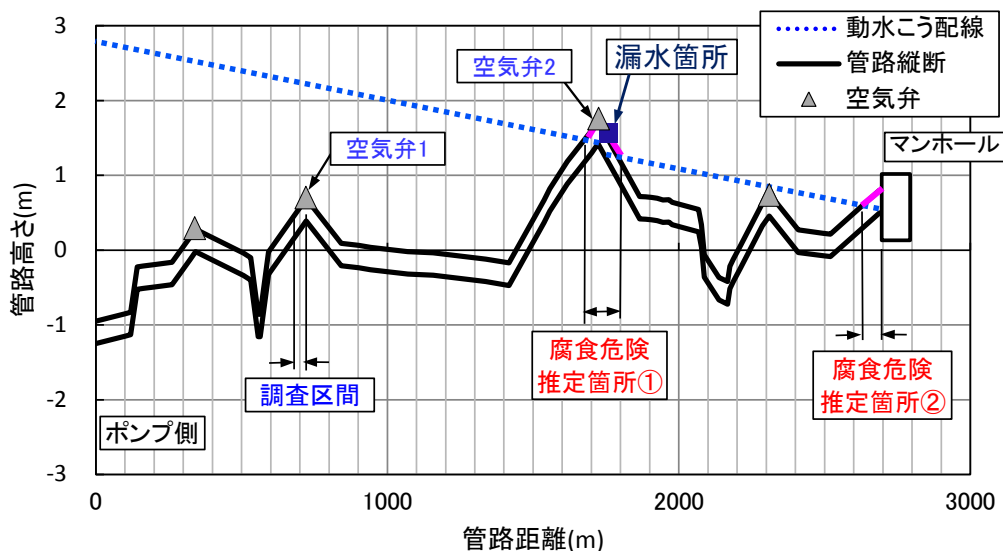


図 3.6-1 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出

### (3) 硫酸腐食の調査

#### 1) 現地踏査

本管路では、机上スクリーニングで腐食危険推定箇所（非腐食危険推定箇所）とされた箇所（空気弁設置箇所）で、実際に腐食が発生していないことを確認することを目的に調査を行った。

道路交通状況や周辺環境等も勘案した上で、視覚調査箇所及び具体的な調査方法を以下のように決定した。

- ①空気弁 1 から本調査機器を挿入し、上流側を対象に視覚調査を行う。空気弁 1 の周辺の状況を写真 3.6-1 に示す。
- ②調査箇所はポンプ停止時にも満流になっていると想定されるため、事前に上流のポンプ場から管内の下水を可能な限り引き抜き、空管状態にした上で、視覚調査を行う。

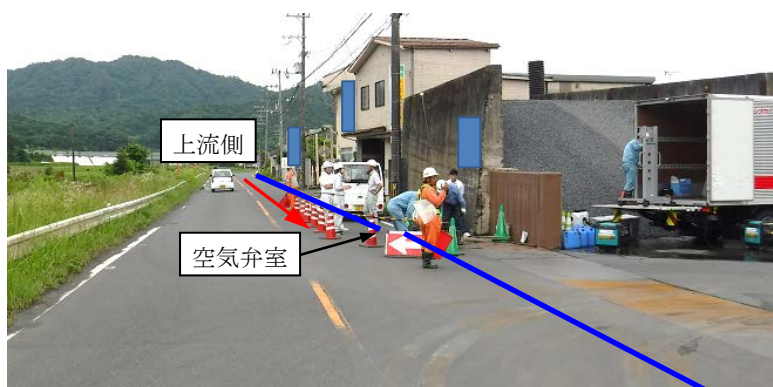


写真 3.6-1 空気弁 1 の周辺の状況

#### 2) 事前確認

- ①空気弁 1 に設置されている採取孔から下水が排出されないことを確認した。

以上より、空気弁 1 設置箇所の管内は非満流であり、空気弁を取り外しても下水が溢れる可能性は低いと判断し、視覚調査を行うことにした。

### 3) 視覚調査

空気弁1を取り外した後、本調査機器を管内に挿入し、空気弁1の上流側を対象に視覚調査を行った。

i) 調査箇所状況 (図 3.6-2 参照)

- ①調査範囲内に曲管は布設されておらず、ほぼ直線であった。
- ②調査箇所は、下流方向に向かって全線にわたって緩やかな上りこう配になっていた。

ii) 本調査機器の現地適用性の評価

本調査機器の現地適用性の評価結果を表 3.6-2 に示す。本調査機器は、全ての評価項目で目標を満足していることを確認した。視覚調査の状況を写真 3.6-2 に示す。

表 3.6-2 本調査機器の現地適用性の評価結果

評価項目	目標	調査結果	備考
空気弁からの挿入	口径75mmから挿入可能	口径75mmの空気弁から挿入できた。	—
視覚調査時間	1.5時間以内	1.0時間で視覚調査できた。	—
管径	200mm～1000mm	管径300mmで視覚調査実施。	—
撮影された画像のレベル <sup>*1)</sup>	管内の劣化度を診断可能	管頂側約180°の範囲を撮影でき、画像は鮮明で、管内面の劣化度を問題なく診断できた。	—
調査範囲	空気弁から30mの範囲を調査可能	備考に示す状況下で、空気弁1から上流側30mまで本調査機器を押し込んで視覚調査できた。	・調査を行った全区間で、管内に堆積物はほとんどなかった。

\*1) 撮影された画像は、表3.6-4(1)～表3.6-4(2)に示す。

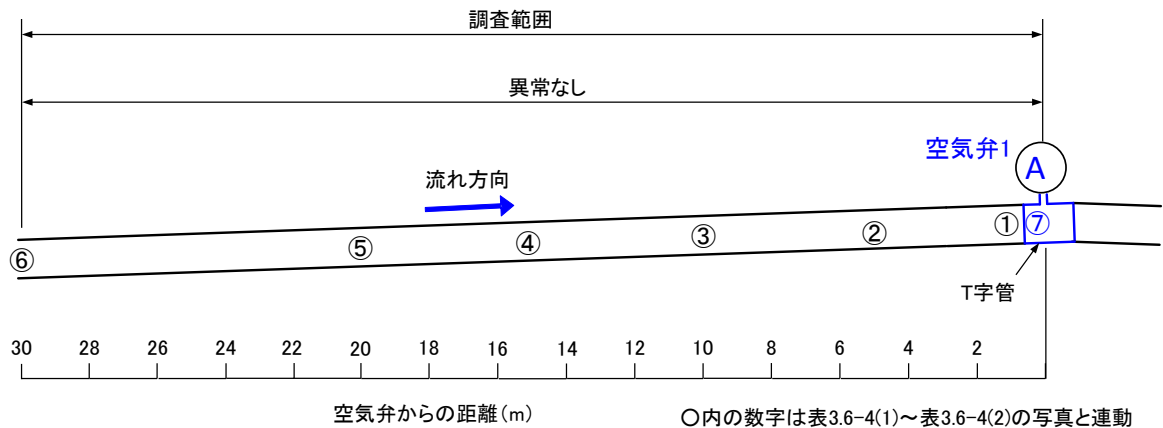


写真 3.6-2 視覚調査の状況

#### 4) 診断・評価

視覚調査で撮影された画像をもとに、圧送管路の劣化度の診断を行った。結果を図 3.6-2、表 3.6-3 及び表 3.6-4(1)～表 3.6-4(2)に示す。

- ① 圧送管路の劣化度を表 3.6-3 に示すようにランク分けできた。
- ② 空気弁 1 の上流側は、視覚調査を行った 30m の全線にわたってモルタルライニング表面に変色は見られず全面均一で、異常なしであった。
- ③ 調査範囲内に T 字管（タールエポキシ樹脂塗装）が 1 個布設されていたが、管内面は腐食しておらず健全であった。



備考) 異形管(T字管)の管内面防食はタールエポキシ樹脂塗装

図 3.6-2 調査範囲と劣化度

表 3.6-3 劣化度の診断結果

空気弁からの距離	劣化度	管内面の腐食状況
上流側 0m～30m	異常なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直管(モルタルライニング)の表面に変色は見られず、全面均一であった。</li> <li>・T字管(タールエポキシ樹脂塗装)が布設されていたが、腐食は見られず健全であった。</li> </ul>

表 3.6-4(1) 管内面状況 (劣化度: 異常なし) (管頂側の約 180° を撮影)

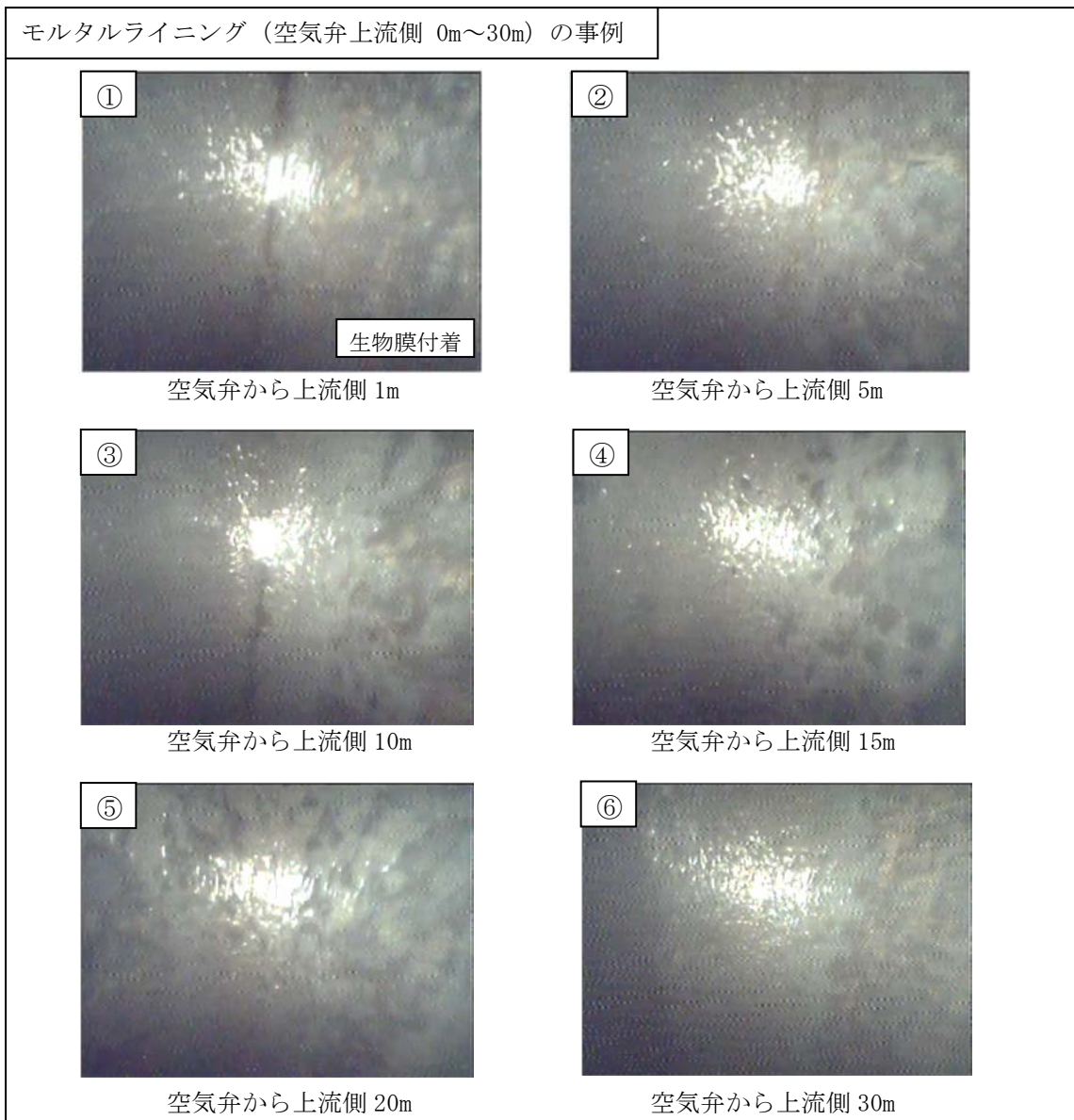
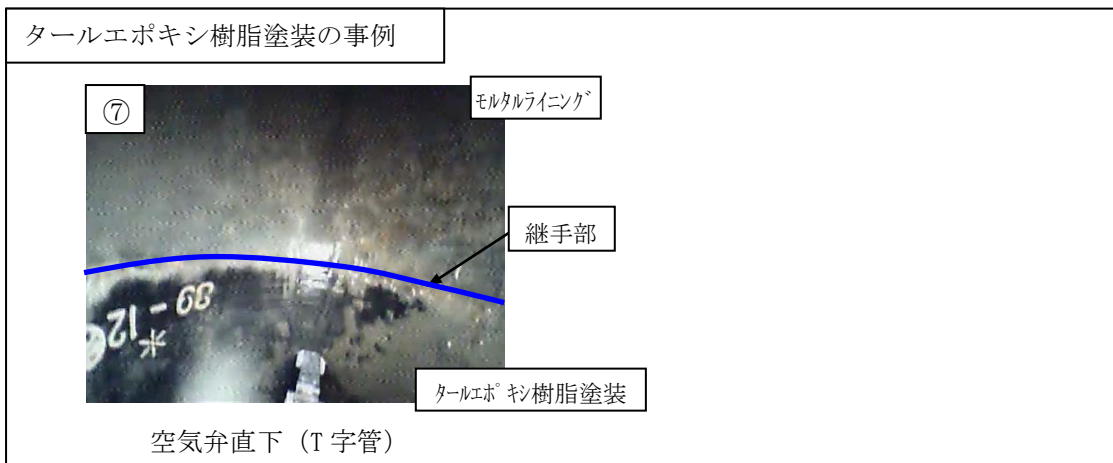


表 3.6-4(2) タールエポキシ樹脂塗装の管内面状況 (劣化度: 異常なし) (管頂側の約 180° を撮影)



#### (4) 机上スクリーニングと調査結果との比較

机上スクリーニングと調査結果との比較を行った。結果を図 3.6-3 に示す。

- ①机上スクリーニングで腐食危険推定箇所の範囲外（非腐食危険推定範囲）と判断した空気弁 1 の上流側で調査を行い、実際に腐食が発生していなかった。
- ②漏水発生後に行った掘り上げ調査の結果、机上スクリーニングで腐食危険推定箇所と判断した空気弁 2 の周辺では、ほぼ推定通りの範囲で腐食が発生していた。

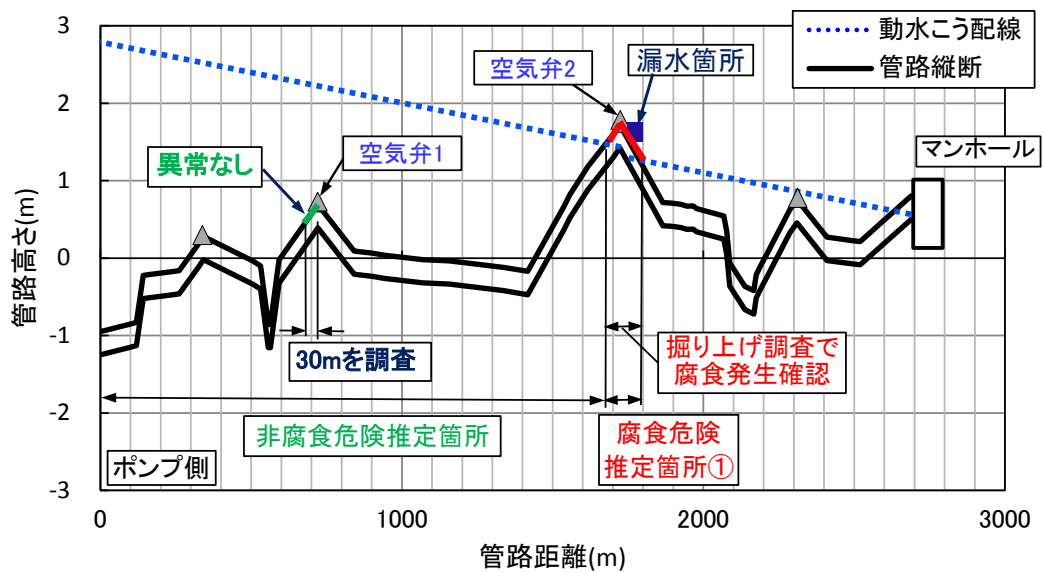


図 3.6-3 机上スクリーニングと調査結果との比較





## 参考資料編Ⅲ デジタルカメラを用いた調査の実施事例

### 目 次

1. 目的	Ⅲ-2
2. 調査結果のまとめ	Ⅲ-2
3. 各管路での調査事例	Ⅲ-4
3.1 I 流域下水道	Ⅲ-4
3.2 J 市	Ⅲ-5
3.3 K 市	Ⅲ-6
3.4 L 市（管路1）	Ⅲ-7
3.5 L 市（管路2）	Ⅲ-9
3.6 M 流域下水道	Ⅲ-11

## 1. 目的

本編第5章第6節に示す通り、水管橋に設置されている空気弁から視覚調査を行う場合等、本調査機器を用いると非常に大掛かりな仮設設備が必要となる箇所や、非満流ではあるが管底側に常に下水が滞留しており、本調査機器が水没して視覚調査が困難な箇所では、便宜的にデジタルカメラを用いた管内調査で代替する。

デジタルカメラを用いた調査の妥当性と適用可能条件を把握するため、実証フィールドで調査を行った。

## 2. 調査結果のまとめ

実証研究で行ったデジタルカメラを用いた調査結果を表 2-1 に示す。参考資料編Ⅱと同じ2流域下水道、3市の計6つの実証フィールド管路（計8箇所の空気弁）で調査を行い、デジタルカメラの調査結果と本調査機器の調査結果とを比較することで、以下のことを確認した。

- ①調査を行った8箇所の空気弁の内5箇所では、デジタルカメラの調査結果と本調査機器の調査結果とが同じ劣化度であった。
- ②2箇所の空気弁（I流域下水道及びJ市）では、空気弁に近接して曲管が布設されており、その下流側で本調査機器により鉄部腐食が確認された。それに対し、デジタルカメラでは腐食を確認することができなかった。このように、空気弁の周辺に曲管が布設されている場合は、デジタルカメラでの調査は適していない。
- ③L市の空気弁 No. 4 では、空気弁の4m以上下流側でモルタルライニングが変色していたが、デジタルカメラでは確認することができなかった。

以上のことから、デジタルカメラ調査を以下のように評価する。

- ①空気弁周辺で腐食が発生している場合は、デジタルカメラ調査で劣化度を正しく診断することができる。
- ②デジタルカメラ調査は、空気弁から離れた箇所の腐食は確認できない。特に、空気弁周辺に曲管が布設されている場合には、デジタルカメラ調査では劣化度を正しく診断できない可能性がある。
- ③そのためデジタルカメラ調査は、本調査機器での調査が困難な場合の代替手法として限定的に行うことが望ましい。

表 2-1 デジタルカメラを用いた調査結果

事業体	管径 (mm)	供用 開始年	空気弁No.		デジタルカメラ			<比較> 本調査機器					
					調査結果	劣化度	評価*1)	調査結果	劣化度				
I流域 下水道	200 (2条)	1996	No.1	下流側	腐食なし (異常なし)	異常なし	×	空気弁から2m以降で鉄部腐食 (Aランク)*2)	Aランク				
				上流側	腐食なし (異常なし)			-					
J市	600	2003	No.1	下流側	異形管(エポキシ樹脂粉体塗 装)のみ調査可能(異常なし)	Bランク	△	空気弁から3m以降で鉄部腐食 (Aランク)*2)	Aランク				
				上流側	モルタルライニングが腐食 (Bランク)			モルタルライニングが腐食 (Bランク)					
K市	350	1994	No.3	下流側	鉄部腐食 (Aランク)	Aランク	○	全調査区間で鉄部腐食 (Aランク)	Aランク				
				上流側	鉄部腐食 (Aランク)			-					
L市	800	1973	No.1	下流側	直管はモルタルライニングが 変色 異形管(タールエポキシ樹脂 塗装)は鉄部腐食 (Aランク)	Aランク	○	空気弁から14m以降で直管が鉄 部腐食 異形管(タールエポキシ樹脂塗 装)も鉄部腐食 (Aランク)	Aランク				
				上流側						全調査区間で直管のモルタルライ ニングが変色 異形管(タールエポキシ樹脂塗 装)は鉄部腐食 (Aランク)			
			No.2	下流側				直管はモルタルライニングが 腐食 異形管(タールエポキシ樹脂 塗装)は鉄部腐食 (Aランク)		Aランク	○	全調査区間で直管のモルタルライ ニングが腐食 異形管(タールエポキシ樹脂塗 装)は鉄部腐食 (Aランク)	Aランク
				上流側				鉄部腐食 (Aランク)					
	450	1991	No.4	下流側	腐食なし (異常なし)	異常なし	▲	空気弁から4m以降でモルタルライ ニングが変色(Bランク)	Bランク				
				上流側	腐食なし (異常なし)			全調査区間で腐食なし (異常なし)					
M流域 下水道	300	1994	No.1	下流側	腐食なし (異常なし)	異常なし	○	-	異常なし				
				上流側	腐食なし (異常なし)			全調査区間で腐食なし (異常なし)					

\*1) 空気弁毎に以下のように評価した。

○: デジタルカメラと本調査機器の調査結果が同じ。

△: デジタルカメラはBランク, 本調査機器はAランク。

▲: デジタルカメラは異常なし, 本調査機器はBランク。

×: デジタルカメラは異常なし, 本調査機器はAランク。

\*2) 空気弁の下流側に曲管が布設されており, 曲管の更に下流側で腐食が確認された。

### 3. 各管路での調査事例

#### 3.1 I 流域下水道

##### (1) 管路条件

調査を行った管路条件を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 管路条件

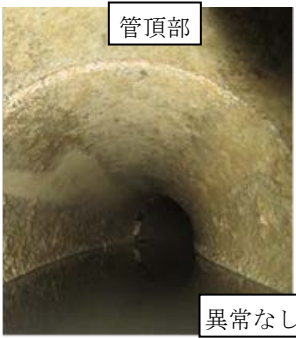
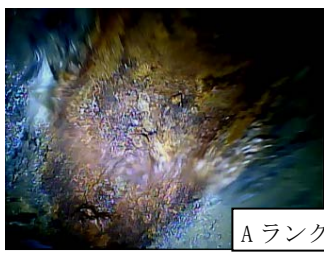

管路条件
①管径：200mm(2条:通常はどちらか1条を使用)
②管路長：886m
③管種：ダクタイル鋳鉄管
④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング
⑤管内面防食方法(異形管)：エポキシ樹脂粉体塗装
⑥調査実施箇所:空気弁No.1
⑦供用開始：1996年
⑧調査実施：2016年

##### (2) 調査結果と考察

調査結果を表 3.1-2 に示す。

- ①デジタルカメラを用いた調査では、空気弁の下流側、上流側とも腐食しておらず健全であった(異常なし)。
- ②本調査機器を用いた調査では、空気弁の2m以上下流側で直管(モルタルライニング)に激しい鉄部腐食が確認された(Aランク)。
- ③2つの調査方法で結果が異なった理由は、本管路では空気弁の1m下流側に22.5°曲管が設置されており、デジタルカメラではそれ以降の直管を調査できなかったためである。

表 3.1-2 調査結果

	デジタルカメラを用いた調査	<比較> 本調査機器を用いた調査	
下流側	 <p>管頂部</p> <p>異常なし</p>	 <p>異常なし</p> <p>曲管(エポキシ樹脂粉体塗装) 空気弁から下流側 1.5m</p>	 <p>Aランク</p> <p>直管(モルタルライニング) 空気弁から下流側 2m</p>
上流側	 <p>異常なし</p>	-	

### 3.2 J市

#### (1) 管路条件

調査を行った管路条件を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 管路条件

管路条件
①管径:600mm
②管路長:370m
③管種:ダクタイル鋳鉄管
④管内面防食方法(直管):モルタルライニング
⑤管内面防食方法(異形管):エポキシ樹脂粉体塗装
⑥調査実施箇所:空気弁No.1
⑦供用開始:2003年
⑧調査実施:2017年

#### (2) 調査結果と考察

調査結果を表 3.2-2 に示す。

- ①デジタルカメラを用いた調査では、空気弁の下流側は異形管（エポキシ樹脂粉体塗装）のみの調査となり、腐食しておらず健全であった。上流側は、空気弁から数 m 奥側で直管の管側部にモルタルライニングの腐食が確認できた（B ランク）。
- ②本調査機器を用いた調査では、空気弁の 3m 以上下流側で、直管に激しい鉄部腐食が確認された（A ランク）。上流側では、空気弁から 3m 奥側で直管の管側部にモルタルライニングの腐食が確認され、デジタルカメラ調査と同じ結果であった。
- ③空気弁の下流側で、2 つの調査方法で結果が異なった理由は、本管路では空気弁の下流側 1m～3m に曲管が 2 個設置されており、デジタルカメラではそれ以降の直管を調査できなかったためである。

表 3.2-2 調査結果

	デジタルカメラを用いた調査	<比較> 本調査機器を用いた調査	
下流側		 曲管(エポキシ樹脂粉体塗装) 空気弁から下流側 2m	 直管(モルタルライニング) 空気弁から下流側 3.5m
上流側	 モルタルライニング腐食	 短管(エポキシ樹脂粉体塗装) 空気弁から上流側 1m	 モルタルライニング腐食 直管(モルタルライニング) 空気弁から上流側 3m

### 3.3 K市

#### (1) 管路条件

調査を行った管路条件を表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 管路条件

管路条件
①管径：350mm
②管路長：4,730m (管路縦断頂上部から下流側吐出し先までの距離)
③管種：ダクタイル鋳鉄管
④管内面防食方法(直管)：モルタルライニング
⑤管内面防食方法(異形管)：タールエポキシ樹脂塗装
⑥調査実施箇所：空気弁No.3
⑦供用開始：1994年
⑧調査実施：2017年

#### (2) 調査結果

調査結果を表 3.3-2 に示す。

- ①デジタルカメラを用いた調査では、空気弁の下流側、上流側とも直管（モルタルライニング）に激しい鉄部腐食が確認できた（Aランク）。
- ②本調査機器を用いた調査でも、調査を行った下流側 32m の全区間で直管に激しい鉄部腐食が確認された（Aランク）。

表 3.3-2 調査結果

	デジタルカメラを用いた調査	<比較> 本調査機器を用いた調査	
下流側		 直管(モルタルライニング) 空気弁から下流側 1m	 直管(モルタルライニング) 空気弁から下流側 5m
上流側		-	

### 3.4 L市（管路1）

#### (1) 管路条件

調査を行った管路条件を表 3.4-1 に示す。

表 3.4-1 管路条件

管路条件
①管径:800mm ②管路長:2,110m ③管種:ダクタイル鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管):モルタルライニング ⑤管内面防食方法(異形管):タールエポキシ樹脂塗装 ⑥調査実施箇所:空気弁No.1, 空気弁No.2 ⑦供用開始:1973年 ⑧調査実施:2017年

#### (2) 調査結果

空気弁 No. 1 及び空気弁 No. 2 の調査結果を表 3.4-2, 表 3.4-3 に示す。

##### <空気弁 No. 1>

- ①デジタルカメラを用いた調査では、下流側、上流側とも直管のモルタルライニングが管側部で若干変色していた。また、異形管（タールエポキシ樹脂塗装）には鉄部腐食が確認できた（Aランク）。
- ②本調査機器を用いた調査では、空気弁から下流側 1m～13m の範囲で直管にモルタルライニングの変色が確認でき、その更に下流側の 14m～28m の範囲では鉄部腐食が確認された。異形管（タールエポキシ樹脂塗装）にも鉄部腐食が確認された（Aランク）。

##### <空気弁 No. 2>

- ①デジタルカメラを用いた調査では、下流側で直管の管側部のモルタルライニングが腐食していた。また、異形管（タールエポキシ樹脂塗装）には鉄部腐食が確認できた（Aランク）。
- ②本調査機器を用いた調査では、調査を行った下流側 30m の全区間でモルタルライニングが腐食していた。また、異形管（タールエポキシ樹脂塗装）には鉄部腐食が確認された（Aランク）。

表 3.4-2 調査結果 (空気弁 No. 1)

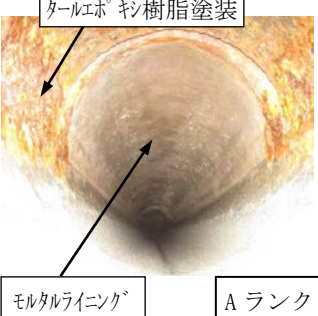
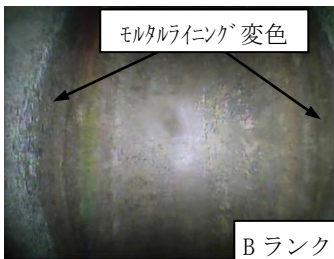

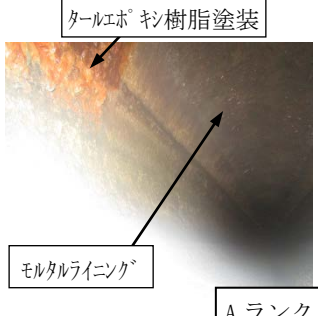


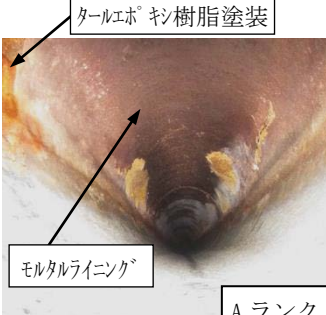

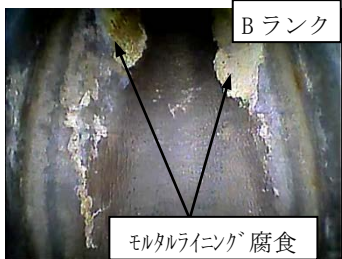

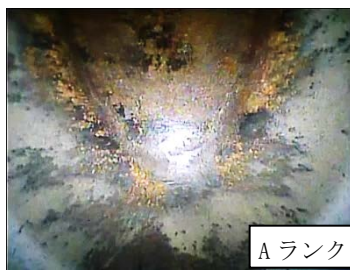
	デジタルカメラを用いた調査	<比較> 本調査機器を用いた調査	
下流側	 <p>タールエポキシ樹脂塗装</p> <p>モルタルライニング</p> <p>A ランク</p>	 <p>モルタルライニング 変色</p> <p>B ランク</p> <p>直管 (モルタルライニング) 空気弁から下流側 3m</p>	 <p>A ランク</p> <p>直管 (モルタルライニング) 空気弁から下流側 23m</p>
上流側	 <p>タールエポキシ樹脂塗装</p> <p>モルタルライニング</p> <p>A ランク</p>	 <p>A ランク</p> <p>T 字管 (タールエポキシ樹脂塗装) 空気弁直下</p>	 <p>B ランク</p> <p>直管 (モルタルライニング) 空気弁から上流側 4m</p>

表 3.4-3 調査結果 (空気弁 No. 2)

	デジタルカメラを用いた調査	<比較> 本調査機器を用いた調査	
下流側	 <p>タールエポキシ樹脂塗装</p> <p>モルタルライニング</p> <p>A ランク</p>	 <p>A ランク</p> <p>T 字管 (タールエポキシ樹脂塗装) 空気弁直下</p>	 <p>B ランク</p> <p>モルタルライニング 腐食</p> <p>直管 (モルタルライニング) 空気弁から下流側 1m</p>
上流側	 <p>タールエポキシ樹脂塗装</p> <p>A ランク</p>	 <p>A ランク</p> <p>曲管 (タールエポキシ樹脂塗装) 空気弁から上流側 2m</p>	



### 3.5 L市（管路2）

#### (1) 管路条件

調査を行った管路条件を表 3.5-1 に示す。

表 3.5-1 管路条件

管路条件
①管径:450mm ②管路長:1,480m ③管種:ダクタイル鋳鉄管 ④管内面防食方法(直管):モルタルライニング ⑤管内面防食方法(異形管):エポキシ樹脂粉体塗装 ⑥調査実施箇所:空気弁No.3, 空気弁No.4 ⑦供用開始:1991年 ⑧道路陥没発生:2015年 ⑨調査実施:2017年

備考)本管路は、2015年の道路陥没事故発生まで24年間使用され、2015年に復旧工事実施。その後供用を再開したが、2016年に供用を中止。

#### (2) 調査結果及び考察

空気弁 No. 3 及び空気弁 No. 4 の調査結果を表 3.5-2、表 3.5-3 に示す。

##### <空気弁 No. 3>

- ①デジタルカメラを用いた調査では、空気弁の下流側、上流側とも直管（モルタルライニング）に激しい鉄部腐食が確認できた（Aランク）。
- ②本調査機器を用いた調査でも、調査を行った上流側 1m～下流側 31m の全区間で激しい鉄部腐食が確認された（Aランク）。

##### <空気弁 No. 4>

- ①デジタルカメラを用いた調査では、下流側、上流側とも直管にモルタルライニングの腐食は見られず健全であった（異常なし）。
- ②本調査機器を用いた調査では、上流側 1m～下流側 3m の範囲で直管にモルタルライニングの腐食は見られなかった。その下流側の 4m～31m の範囲では、管側部でモルタルライニングの変色が確認された（Bランク）。
- ③本管路では、空気弁から 4m 離れた地点から下流側に向かってモルタルライニングの変色が始まっていたため、デジタルカメラを用いた調査では腐食を確認することができなかった。

表 3.5-2 調査結果 (空気弁 No. 3)


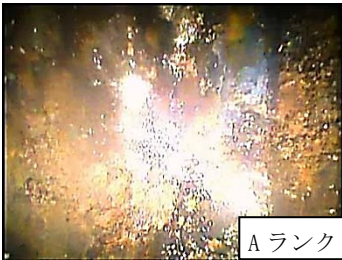
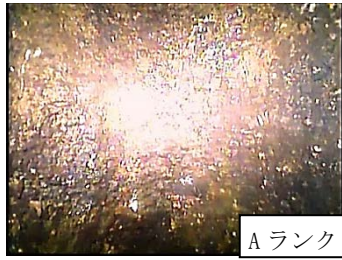

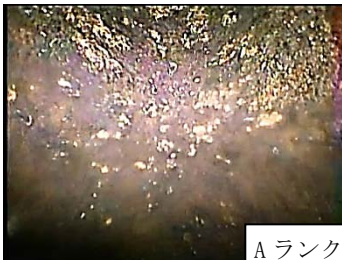
	デジタルカメラを用いた調査	<比較> 本調査機器を用いた調査	
下流側	 <p>Aランク</p>	 <p>Aランク</p> <p>直管(モルタルライニング) 空気弁から下流側 1m</p>	 <p>Aランク</p> <p>直管(モルタルライニング) 空気弁から下流側 17m</p>
上流側	 <p>Aランク</p>	 <p>Aランク</p> <p>直管(モルタルライニング) 空気弁から上流側 1m</p>	

表 3.5-3 調査結果 (空気弁 No. 4)

	デジタルカメラを用いた調査	<比較> 本調査機器を用いた調査	
下流側	 <p>異常なし</p>	 <p>異常なし</p> <p>直管(モルタルライニング) 空気弁から下流側 1m</p>	 <p>モルタルライニング変色</p> <p>Bランク</p> <p>直管(モルタルライニング) 空気弁から下流側 4m</p>
上流側	 <p>異常なし</p>	 <p>異常なし</p> <p>直管(モルタルライニング) 空気弁から上流側 1m</p>	

### 3.6 M 流域下水道

#### (1) 管路条件

調査を行った管路条件を表 3.6-1 に示す。

表 3.6-1 管路条件

管路条件
①管径:300mm
②管路長:2,690m
③管種:ダクタイル 鋳鉄管
④管内面防食方法(直管):モルタルライニング
⑤管内面防食方法(異形管):タールエポキシ樹脂塗装
⑥調査実施箇所:空気弁No.1
⑦管路布設:1994年
⑧漏水発生:2017年
⑨調査実施:2017年

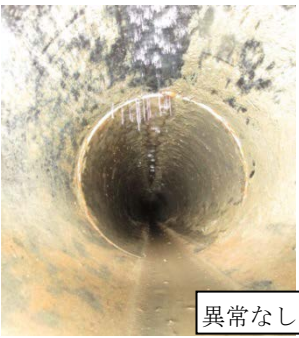
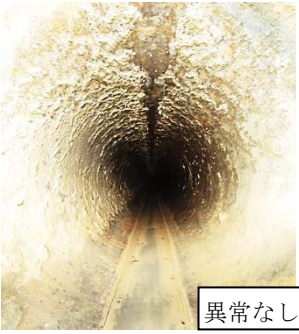
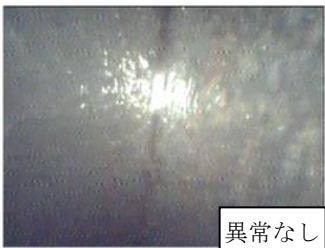
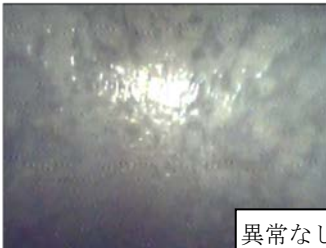
備考) 本管路は2017年に漏水が発生しているが, 調査は腐食危険推定箇所の対象外(非腐食危険推定箇所)で実施。

#### (2) 調査結果

調査結果を表 3.6-2 に示す。

- ①デジタルカメラを用いた調査では, 空気弁の下流側, 上流側とも直管にモルタルライニングの腐食は発生していなかった(異常なし)。
- ②本調査機器を用いた調査でも, 調査を行った上流側 30m の全区間でモルタルライニングの腐食は見られなかった。(異常なし)。

表 3.6-2 調査結果

	デジタルカメラを用いた調査	<比較> 本調査機器を用いた調査
下流側	 <p>異常なし</p>	-
上流側	 <p>異常なし</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>異常なし</p> <p>直管(モルタルライニング) 空気弁から上流側 1m</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>異常なし</p> <p>直管(モルタルライニング) 空気弁から上流側 20m</p> </div> </div>



## 参考資料編Ⅳ エポキシ樹脂粉体塗装の耐食性評価

### 目 次

1. 目的	IV-2
2. 材料の特性	IV-2
3. 腐食環境下の圧送管路におけるエポキシ樹脂粉体塗装の耐食性確認	IV-3
4. エポキシ樹脂粉体塗装の耐食性に関する室内試験	IV-5
5. エポキシ樹脂粉体塗装の硫化水素暴露試験	IV-6
6. エポキシ樹脂粉体塗装に関するアンケート調査	IV-7
参考文献	IV-7

## 1. 目的

エポキシ樹脂粉体塗装の硫化水素に起因する硫酸腐食に対する耐食性を確認することを目的に、実管路で調査を行った。また、エポキシ樹脂粉体塗装の耐食性に関する過去の報告についても併せて示す。

## 2. 材料の特性

### (1) エポキシ樹脂塗装の種類

エポキシ樹脂塗装の種類は、溶剤形液状エポキシ樹脂塗装、無溶剤形液状エポキシ樹脂塗装及びエポキシ樹脂粉体塗装に分けることができる。それぞれの特徴を表 2-1 に示す。また、塗膜の形成過程を図 2-1 に示す。

表 2-1 各種エポキシ樹脂塗装の比較

種類	溶剤形液状エポキシ樹脂塗装 (常温硬化型の2液性)	無溶剤形液状エポキシ樹脂塗装 (常温硬化型の2液性)	エポキシ樹脂粉体塗装
硬化反応	2液(主剤と硬化剤)を混合した後塗布し、溶剤の揮発、樹脂成分の硬化反応を経て、塗膜を形成	2液(主剤と硬化剤)を混合した後塗布し、樹脂成分の硬化反応を経て、塗膜を形成	溶剤を含まない粉末状塗料が、熱エネルギーにより溶融・硬化反応を起こし、塗膜を形成
塗膜厚	1回の塗装で厚塗りできない	1回の塗装で十分な塗装厚を得られる	1回の塗装で十分な塗装厚を得られる
耐食性	若干劣る	優れている	優れている

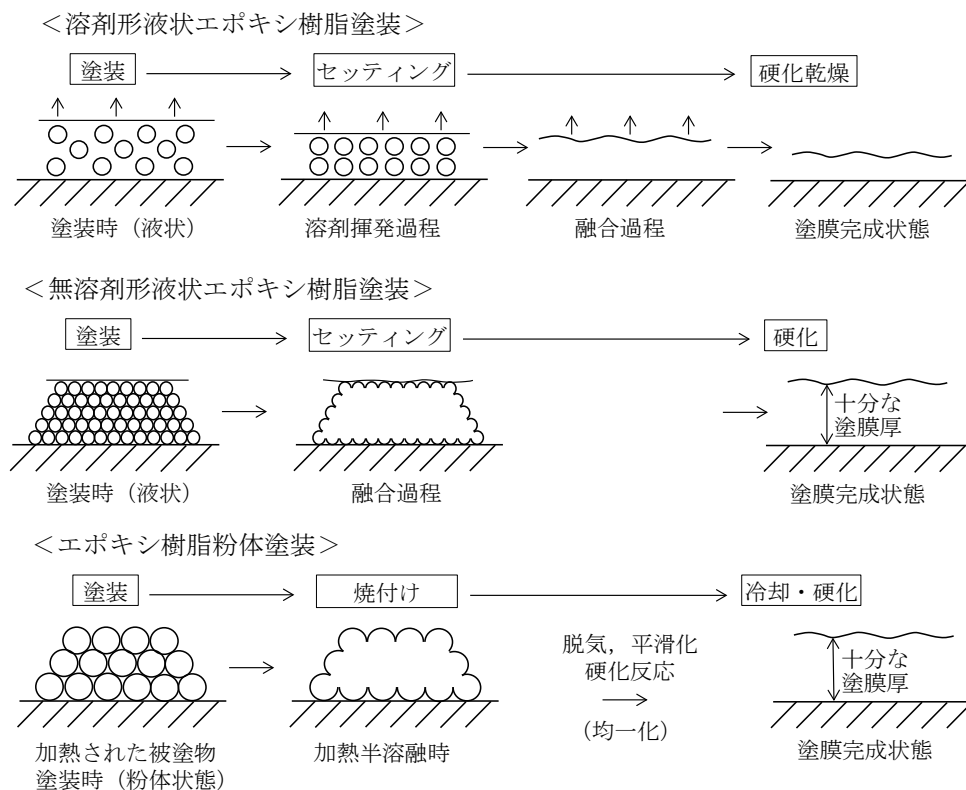


図 2-1 塗膜の形成過程

## (2) ダクタイル鋳鉄管に使用されているエポキシ樹脂塗装

ダクタイル鋳鉄管の管内面防食には、耐食性に優れたエポキシ樹脂粉体塗装を使用している。エポキシ樹脂粉体塗装の特徴を以下に示す。

### ①厚塗りが容易

塗料溶融時（焼付工程時）の溶融粘度が高いため、1回の塗装で十分な塗装厚が得られ有効な保護被膜を形成できる。

### ②熱エネルギーを利用した硬化反応

熱エネルギーを利用して硬化させるため、反応が一律に進み均一な塗膜を形成できる。

## 3. 腐食環境下の圧送管路におけるエポキシ樹脂粉体塗装の耐食性確認

内面モルタルライニングの直管に硫酸腐食が発生している実管路（非満流箇所）で、直管が腐食した範囲内に布設されていた内面エポキシ樹脂粉体塗装の異形管の腐食状況を調査した。6つの管路で調査を行った結果、表3-1に示すようにモルタルライニングは激しく腐食していたが、エポキシ樹脂粉体塗装の異形管には腐食の兆候がなく健全であることが確認された。

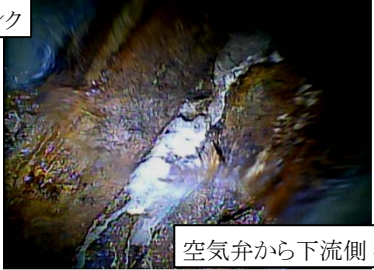
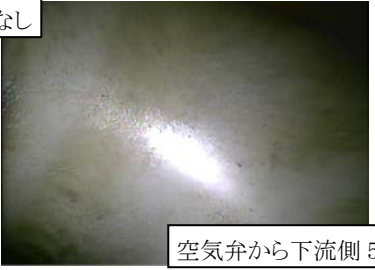
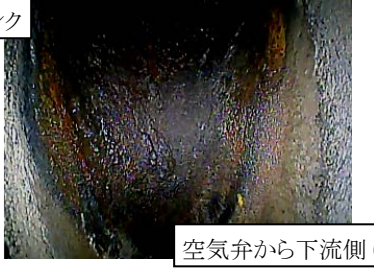

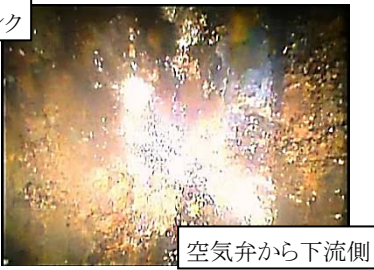
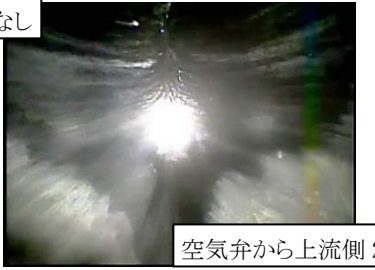


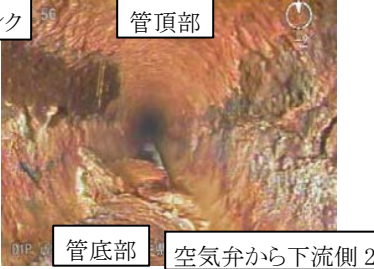


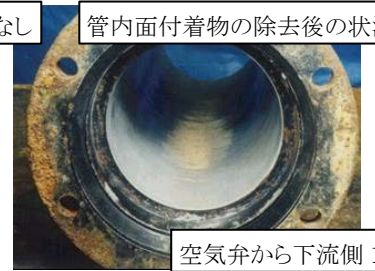
表3-1 実管路でのエポキシ樹脂粉体塗装の耐食性確認

事業体	管径 (mm)	直管		異形管		
		管内面 防食方法	調査結果	管内面 防食方法	調査した 個数	調査結果
I流域下水道	200	モルタル ライニング	管内面が激しく腐食、3事業体では事故発生	エポキシ樹脂 粉体塗装	4	管内面に腐食は 見られず健全
J市	600				5	
L市	450				2	
D市	600				8	
E市	350				1	
下水道事業団 <sup>*1)</sup>	200				1	

\*1) 送泥管での調査結果。

各管路での調査事例を表3-2に示す。

表 3-2 各管路での調査事例

事業体	モルタルライニング（直管）	エポキシ樹脂粉体塗装（異形管）
I流域下水道	Aランク  空気弁から下流側 4m	異常なし  空気弁から下流側 5m
J市	Aランク  空気弁から下流側 6m	異常なし  空気弁から下流側 2m
L市	Aランク  空気弁から下流側 1m	異常なし  空気弁から上流側 2m
D市	Aランク  空気弁から下流側 230m	異常なし  空気弁から下流側 260m
E市	Aランク 管頂部  管底部 空気弁から下流側 20m	異常なし 管頂部  管底部 空気弁から下流側 100m
下水道事業団 （送泥管）	Aランク  空気弁から下流側 20m	異常なし 管内面付着物の除去後の状況  空気弁から下流側 1m



#### 4. エポキシ樹脂粉体塗装の耐食性に関する室内試験

過去の報告<sup>1)</sup>で、エポキシ樹脂粉体塗装の硫酸腐食に対する耐食性を確認するため、下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル<sup>2)</sup>の塗布型ライニング工法の品質規格 D 種規格と同等またはより厳しい条件で試験が行われている。耐食性試験結果のまとめを表 4-1 に、硫黄侵入深さ試験の EPMA 測定結果を写真 4-1 に、耐酸性試験後の供試体の状況を写真 4-2 にそれぞれ示す。

10%の硫酸水溶液に25箇月間（D種規格の6倍以上の期間）浸漬した後も、エポキシ樹脂粉体塗装の塗膜内に硫黄は全く侵入しておらず、塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出等の異常はなく、極めて厳しい強酸下でもエポキシ樹脂粉体塗装は十分な耐酸性と長期耐久性を有していることが確認されている。また、耐アルカリ性、密着性及び透水性についても、D種規格以上の性能を有していることが報告されている。

表 4-1 エポキシ樹脂粉体塗装の耐食性試験結果

D種規格で規定された内容			試験結果	評価 <sup>*1)</sup>
試験項目	試験方法	必要性能		
硫黄侵入深さ	10%の硫酸水溶液に4箇月(120日)間浸漬し、EPMA(電子線マイクロアナライザー)分析で硫黄の侵入深さを測定	浸漬後の硫黄侵入深さが、設計厚さに対して5%以下であること、かつ、100 $\mu$ m以下であること (本件では、塗装厚300 $\mu$ m $\times$ 5%=15 $\mu$ m以下)	試験方法に規定された4箇月間を越える25箇月間浸漬した後も、塗膜内への硫黄の侵入なし	◎
耐酸性	10%の硫酸水溶液に2箇月(60日)間浸漬し、状況を確認	浸漬後に塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと	試験方法に規定された2箇月間を越える25箇月間浸漬した後も、塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出なし	◎
耐アルカリ性	水酸化カルシウム飽和水溶液に2箇月(60日)間浸漬し、状況を確認	浸漬後に塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと	2箇月間浸漬した後も、塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出なし	◎
接着性	JIS K 5600-5-7 に準拠	接着力が 1.5MPa以上	接着力 10MPa以上	◎
透水性	JIS A 1404:2015 7.6に準拠	透水量が0.15g以下	透水量 0.05g	◎

\*1) ◎: D種規格と同等以上の性能を有する。

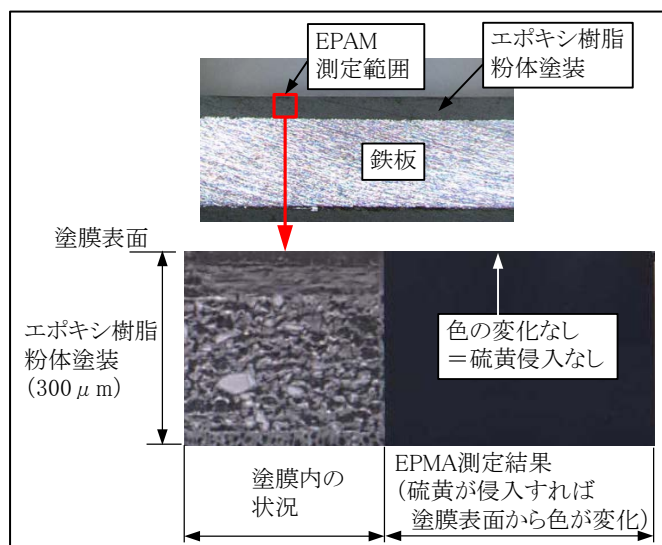


写真 4-1 EPMA 測定結果



写真 4-2 耐酸性試験後の供試体の状況

## 5. エポキシ樹脂粉体塗装の硫化水素暴露試験

過去の報告<sup>1)</sup>で、最大1,000ppm以上（平均で50ppm以上：腐食環境Ⅰ類に相当）の硫化水素が発生している圧送管路の吐出し先マンホール内に、エポキシ樹脂粉体塗装を施した供試体（50mm×150mm×厚さ1.7mmの鉄板にエポキシ樹脂粉体塗料を焼付けて塗装）を暴露し、腐食状況を確認している。また比較のために、モルタル供試体（40mm×40mm×160mm）も併せて設置している。試験方法を図5-1に、試験結果を表5-1に、試験後の供試体の状況を写真5-1にそれぞれ示す。

暴露試験を行ったマンホール内は、モルタル供試体が11箇月で原形がなくなるほど厳しい腐食環境であった（写真5-2参照）。こうした環境下でも、エポキシ樹脂粉体塗装には28箇月後もふくれ、われ、軟化、溶出は全く見られず、塗膜内への硫黄の侵入も全く進行していないことが確認されている。

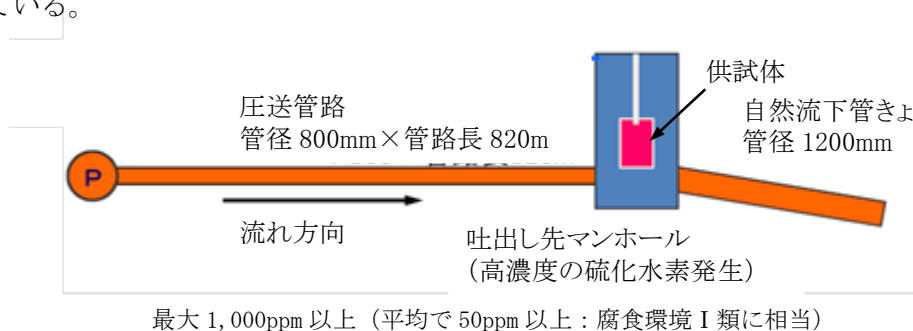


図5-1 硫化水素暴露試験方法

表5-1 硫化水素曝露試験結果

試験項目	エポキシ樹脂粉体塗装	(参考)ポルトランドセメント
暴露期間	28箇月間	11箇月間
暴露試験実施後の試験体の状況	塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出は全く認められなかった(写真5-1参照)。	モルタルが軟化し、原形を留めていなかった(写真5-2参照)。
硫黄侵入深さ	暴露試験後、EPMA分析で硫黄の侵入深さを測定した。その結果、塗膜内への硫黄の侵入は認められなかった。	-

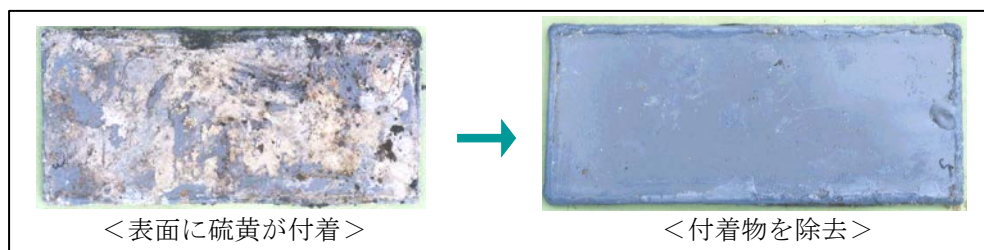


写真5-1 硫化水素暴露試験後の状況（エポキシ樹脂粉体塗装：暴露28箇月後）

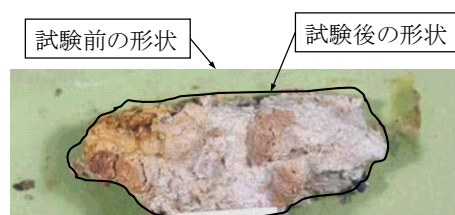


写真5-2 硫化水素暴露試験後の状況（モルタルライニング：暴露11箇月後）

## 6. エポキシ樹脂粉体塗装に関するアンケート調査

1986年（採用から29年経過）～1992年（採用から23年経過）の期間に内面エポキシ樹脂粉体塗装のダクタイル鋳鉄管（直管，異形管とも）が採用されている事業体を対象に，一般社団法人日本ダクタイル鉄管協会が行ったアンケート調査結果を表6-1に示す。17事業体から回答があり合計で41km以上布設されていたが，採用から23年以上経過しても硫化水素に起因する硫酸腐食等の問題は全く発生していないことが報告されている。

表6-1 ダクタイル鋳鉄管（エポキシ樹脂粉体塗装）に関するアンケート調査結果

（2015年に調査実施）

事業体	都道府県	納入実績(単位:m) <sup>*1)</sup>								輸送方式 圧送/自然流下	管径 (単位:mm)	流体 汚水/汚泥/雨水/他	硫酸腐食 等の問題
		1986 年度	1987 年度	1988 年度	1989 年度	1990 年度	1991 年度	1992 年度	計				
1	北海道	-	-	6,402	2,686	924	3,065	1,250	14,327	圧送	無回答	無回答	なし
2	宮城県	-	-	-	-	288	1,491	3,288	5,067	圧送	600	汚水	なし
3	秋田県	-	-	-	-	416	1,698	288	2,401	圧送	200～600	汚水	なし
4	秋田県	-	-	-	-	-	-	1,230	1,230	圧送	不明	汚水	なし
5	秋田県	-	-	-	-	-	-	600	600	圧送	不明	汚水	なし
6	石川県	-	-	-	-	29	-	238	267	圧送	不明	汚水	なし
7	石川県	-	-	1,194	-	-	-	-	1,194	圧送	350	汚水	なし
8	山梨県	-	426	-	-	-	-	-	426	圧送	200～350	汚水、雨水	なし
9	長野県	-	-	-	-	-	-	1,510	1,510	圧送	75～150	汚水	なし
10	長野県	-	-	-	-	720	-	-	720	自然流下	800・1500	汚水	なし
11	大阪府	-	2,445	438	330	-	25	-	3,238	圧送	無回答	不明(施設内)	なし
12	愛媛県	-	-	-	-	-	-	1,954	1,954	圧送	無回答	汚水	なし
13	福岡県	452	-	-	-	-	-	3,095	3,547	圧送	不明	汚水	なし
14	福岡県	-	-	-	-	-	-	2,568	2,568	圧送	250・300	他(産廃水)	なし
15	佐賀県	-	-	-	-	187	30	-	217	圧送	無回答	汚水	なし
16	宮崎県	-	-	-	-	-	675	665	1,340	圧送	200程度	汚水	なし
17	鹿児島県	-	-	-	-	-	600	-	600	圧送	150	汚水	なし
合計		452	2,871	8,034	3,016	2,564	7,583	16,686	41,206	-	-	-	なし

\*1) 一般社団法人 日本ダクタイル鉄管協会の会員会社の納入実績を示す。

### [参考文献]

- 1) 越智孝敏，他1名：ダクタイル鋳鉄管のエポキシ樹脂粉体塗装の耐食性評価，第41回下水道研究発表会講演集 p.85-85，（2004年）
- 2) 地方共同法人日本下水道事業団：下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル，（2012年4月）



## 参考資料編V 劣化度ランク分けの根拠

### 目 次

1. 硫酸腐食したコンクリート（モルタル）の硫酸濃度	V-2
2. ダクタイル鋳鉄の腐食速度	V-4
3. 劣化度のランク分けと対応例	V-7
参考文献	V-7

## 1. 硫酸腐食したコンクリート（モルタル）の硫酸濃度

### (1) 文献報告

本編 2.1.2 圧送管路の硫酸腐食のメカニズムに示すように、圧送管路では下水が嫌気的な状態になりやすく、特にポンプの間欠運転時には管内での滞留時間が長くなり、嫌気化が進行する。下水が嫌気状態になると、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。圧送管路内で生成した硫化物は、多くの場合は圧送管路吐出し先のマンホールや着水槽等で空気中に硫化水素として放散され、好気性細菌である硫黄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以降の自然流下管きよのコンクリート施設の腐食を引き起こす。しかしながら圧送管路内に気相部が存在し、新鮮な空気の入りがある、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、気相部周辺で硫化水素が放散し、その酸化で生成された硫酸により圧送管本体が腐食・破損して最終的に漏水や道路陥没に至ることがある。

硫酸腐食が発生するような環境下では、生成された硫酸が徐々に濃縮されていき、コンクリート（モルタル）表面の pH が下がっていく。激しく腐食したコンクリート表面の pH は 1~3（正常なコンクリートの pH は 12 前後）と強酸を示し、コンクリート構造物をほぼ粉末状（おからや糠味噌のような状態）にしてしまうことが報告されている<sup>1)</sup>。また別の文献<sup>2)</sup>では、下水管きよ内の腐食は管頂部や気液境界線で激しく起こり、管内面の硫酸濃度は 5% に達することがあると報告している。

### (2) 現地調査の報告事例

過去の報告<sup>3)</sup>で、最大 1,000ppm 以上（平均で 50ppm 以上：腐食環境 I 類に相当）の硫化水素が発生している圧送管路の吐出し先マンホール内に、モルタル供試体（40mm×40mm×160mm）を暴露し、腐食状況を確認している（図 1-1 参照）。

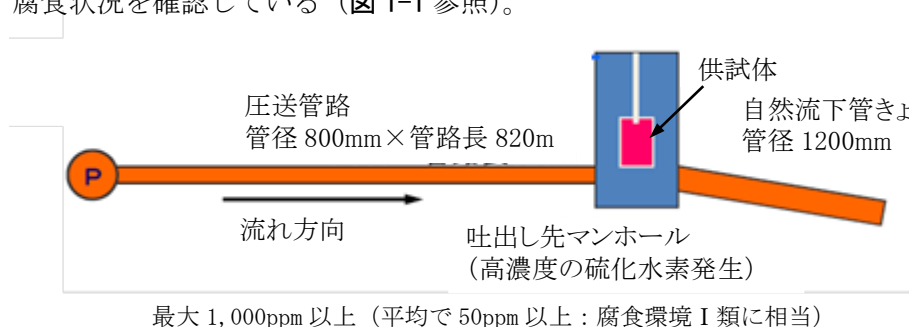


図 1-1 硫化水素暴露試験方法

試験開始から 11 箇月後の供試体の状況を写真 1-1 に示す。モルタル供試体は原形を留めない状態まで腐食し、表面は非常に柔らかくなっていた。

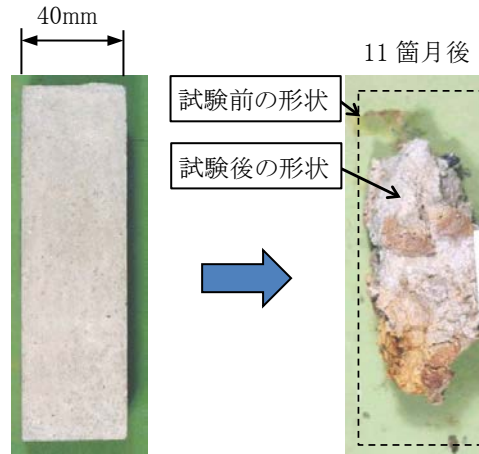


写真 1-1 モルタル供試体の腐食状況

モルタル供試体表面の pH 測定結果を図 1-2 に示す。試験開始から 4 箇月後には供試体は pH1.2 まで下がり、11 箇月後には pH0.45 (硫酸濃度で約 1%) と強酸状態になっていた。

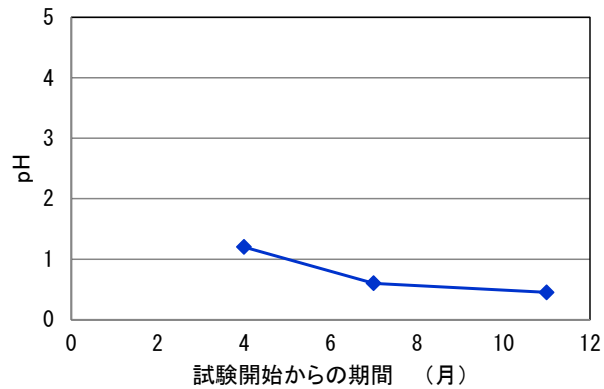


図 1-2 モルタル供試体の pH 測定結果

また、吐出し先マンホール内のコンクリート部で、腐食が進んでいる箇所を対象に pH を測定すると 0.42 であり、モルタル供試体と同様に強酸状態になっていた (写真 1-2 参照)。



写真 1-2 マンホール内での pH 測定事例

## 2. ダクタイル鋳鉄の腐食速度

1. 硫酸腐食したコンクリート（モルタル）の硫酸濃度で示したように、硫酸腐食が発生する環境下では最大で濃度 5%の硫酸が生成されることもあると報告されている。また、実際の圧送管路吐出し先マンホールで行った調査で、モルタル供試体及びコンクリート構造物ともに表面の pH は 0.5 未満（硫酸濃度で約 1%に相当）と強酸状態になっていることが確認されている。

圧送管路でも、ダクタイル鋳鉄管のモルタルライニングが腐食し、その後鉄部が露出するような状態になると、鉄部の表面も同様に強酸状態になると考えられる。そこで、強酸状態でのダクタイル鋳鉄の腐食速度を評価するため、以下の硫酸水溶液浸漬試験を行った。

### (1) 供試体

管径 400mm のダクタイル鋳鉄管（管内面防食なし）から、50mm×50mm の供試体を切り出した。その後、供試体の側面側及び外面側を液状エポキシ樹脂塗装で防食した（写真 2-1 参照）。これにより、内面側の鉄地部（40mm×40mm）からのみ腐食が進むようにした。

また、供試体の外面側（塗装した面）に 2 箇所印を付け、以下の管厚測定はこの点で行った。

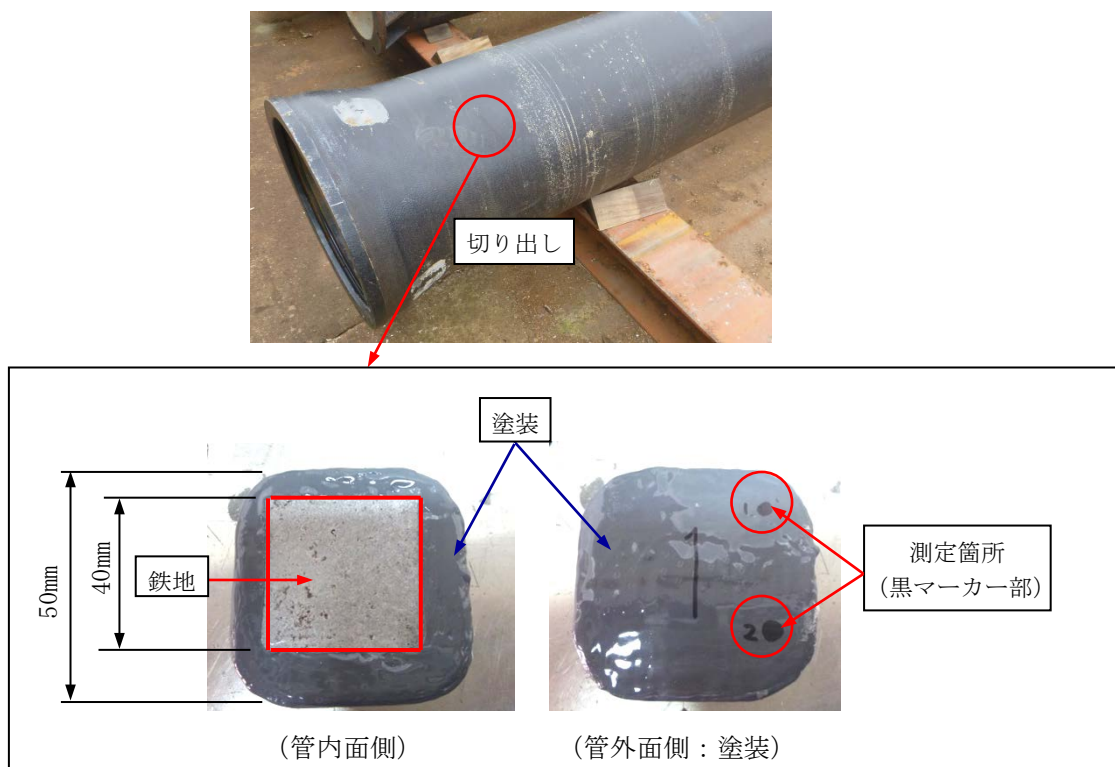


写真 2-1 供試体



## (2) 試験方法

### ①初期管厚の測定

作成した供試体の管厚を測定した。写真 2-1 の測定箇所 2 箇所についてそれぞれ 5 回ずつ測定し、その平均値を初期管厚とした。管厚測定には、マイクロメータを用いた（写真 2-2 参照）。



写真 2-2 管厚測定の様子

### ②硫酸水溶液に浸漬

硫酸水溶液に供試体を浸漬した。硫酸濃度は前述の文献報告<sup>1)</sup> <sup>2)</sup>及び現地調査<sup>3)</sup>を参考に 1%と 5%の 2 条件とした。浸漬試験の様子を写真 2-3 に示す。なお、硫酸水溶液は 2 回/週のペースで新しいものに取り換えた。



写真 2-3 硫酸水溶液浸漬の様子

### ③浸漬後の管厚測定

試験開始から 30 日後、60 日後、90 日後及び 120 日後に供試体を取り出して乾燥させた後、管厚を測定した。取り出す供試体の数は各条件 3 個とし、管厚は①と同じ方法で初期管厚と同じ箇所を測定した。

### ④管厚減少量の算定

初期管厚と浸漬後の管厚から、硫酸水溶液浸漬による管厚減少量を計算した。

## (3) 試験条件

試験条件を表 2-1 に示す。

表 2-1 試験条件

浸漬した硫酸水溶液濃度	浸漬期間	供試体数
1%及び5%	30日, 60日, 90日, 120日	各条件3個

#### (4) 試験結果

硫酸水溶液浸漬によるダクタイル鋳鉄の管厚減少量を図 2-1 に、浸漬試験後の供試体の状況を表 2-2 に示す。

- ①硫酸濃度 5%の水溶液に浸漬した場合、試験開始から 90 日以内にダクタイル鋳鉄は全て溶けて、管厚ゼロになった。
- ②硫酸濃度 1%の水溶液に浸漬した場合は徐々に管厚が薄くなり、120 日間で管厚は平均 5.4mm 減少していた。これを 1 年間に換算すると 16.4mm/年となり、非常に高速度で腐食が進行することが確認された。

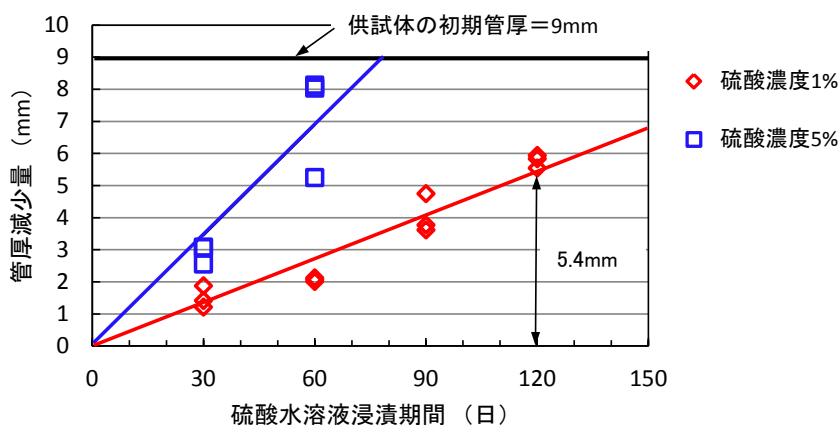


図 2-1 硫酸水溶液浸漬による管厚減少量

表 2-2 浸漬試験後の供試体の状況

	浸漬期間			
	30日	60日	90日	120日
硫酸水溶液 濃度 1%				
硫酸水溶液 濃度 5%				—

#### (5) 評価

硫酸腐食が発生する環境下では最大で濃度 5%の硫酸が生成されることもあると報告されている。それに対し、硫酸濃度 1%の条件でもダクタイル鋳鉄は 16.4mm/年のペースで腐食が進行することを、硫酸水溶液浸漬試験で確認した。これより、硫酸腐食によりモルタルライニングがなくなり鉄部が露出すると、その後急速に鉄部腐食が進行し、極短期間で部分的に管厚がゼロになる可能性があるかと推測できる。

### 3. 劣化度のランク分けと対応例

圧送管路の管内面の劣化度は、以下の3つにランク分けすればよいと考える。

#### (1)A ランク（重度）：鉄部腐食あり

2. ダクタイル鋳鉄の腐食速度で示したように、硫酸腐食が起こる環境下では鉄部腐食が急激に進行する。硫酸腐食でモルタルライニングがなくなり鉄部腐食が始まると、極短時間で鉄部管厚がほぼゼロになり、管に穴が開く可能性がある。

そこで、鉄部腐食が確認された場合は、速やかに修繕・改築計画を策定し、早急に修繕または改築を実施する。

#### (2)B ランク（中度）：モルタルライニングが部分的に変色、腐食発生

1. 硫酸腐食したコンクリート（モルタル）の硫酸濃度で示したように、硫酸腐食が起こる環境下ではコンクリート（モルタル）の腐食も急激に進行する。一方、ある程度の期間（概ね10年以上）使用した後に管内面を調査し、モルタルライニングの腐食は始まっているが鉄部腐食は発生していない場合は、仮に今すぐ鉄部腐食が始まっても、直ちに事故（漏水や道路陥没）が起こる状態ではないと考えられる。

そこで、モルタルライニングの変色、腐食が検出された場合は、速やかに修繕・改築計画を策定し、5年以内に修繕または改築を実施する。

#### (3)異常なし：モルタルライニング表面が全面均一

モルタルライニング表面に変色、腐食が見られず全面均一の場合は、異常なしと判断できる。ただし、調査箇所は空気弁から下水が排出されていない非満流箇所であり、「腐食の恐れの大い箇所」に相当する。例えば送水量が変わる等、運用条件が少し変更されると、管内面の腐食が始まる可能性もあるため、5年に1回以上の適切な頻度で点検（腐食環境下）を行う必要があると判断する。

### [参考文献]

- 1) ライフサポート研究会：腐食対策講座第2回：微生物腐食の4段階メカニズム，月刊下水道，Vol.22 No.13 p.61-64，（1999年10月）
- 2) EPA Design Manual：Odor and Corrosion Control in Sanitary Sewerage System and Treatment Plants, EPA/625/1-85/018,（1985年10月）（日本語訳 下水道事業団業務普及協会：EPA設計マニュアル 下水道施設の臭気と腐食対策，（1988年））
- 3) 越智孝敏，他1名：ダクタイル鋳鉄管のエポキシ樹脂粉体塗装の耐食性評価，第41回下水道研究発表会講演集 p.85-85，（2004年）



## 参考資料編VI 調査コスト試算事例

### 目 次

1. 対象管路概要	VI-2
2. 調査コスト試算の範囲	VI-2
3. 調査コスト試算結果	VI-3

本編第3章第2節 技術の導入効果で、本技術を導入した場合のコスト面での効果を検証するため、本技術と既存調査技術とのコスト比較を行った。ここでは、実証研究で硫酸腐食の調査を行った管路（6管路）を対象として、本技術を用いた場合のコストの試算事例を参考として示す。

## 1. 対象管路概要

コスト試算を行った管路条件を表 1-1 に示す。

表 1-1 管路条件

事業体	管径 (mm)	管路長 (m)	管内面防食 方法(直管)	供用 開始年	調査範囲(m)		作業 時間帯
					空気弁上流側	空気弁下流側	
I流域 下水道	200 (2条)	886	モルタル ライニング	1996	-	32	昼間
J市	600	370		2003	4	10	昼間
K市	350	4,730		1994	-	32	昼間
L市 <sup>*1)</sup>	800	2,110		1973	16 (空気弁1) 2 (空気弁2)	28 (空気弁1) 30 (空気弁2)	夜間
	450	1,480		1991	2 (空気弁3) 2 (空気弁4)	31 (空気弁3) 31 (空気弁4)	昼間
M流域 下水道	300	2,690		1994	1994	30	-

\*1) 1管路につき2箇所の空気弁から視覚調査を実施。

## 2. 調査コスト試算の範囲

調査コストの試算範囲は、図 2-1 で示す机上スクリーニング、事前準備及び硫酸腐食の調査の作業費とする。また、試算する各作業費については、共通仮設費や現場管理費等の間接作業費や一般管理費を含めた作業価格とした（図 2-2 参照）。

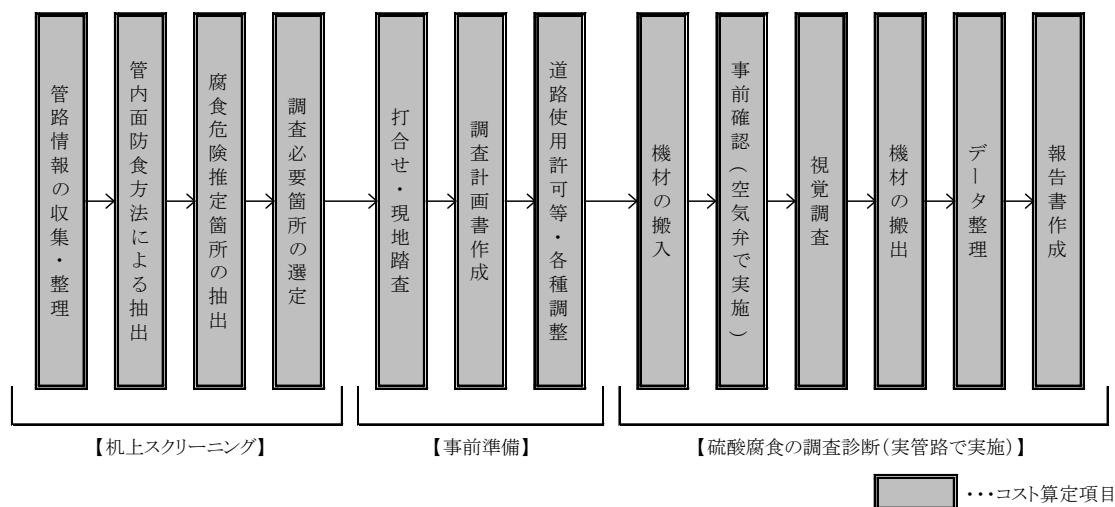


図 2-1 調査コストの試算範囲

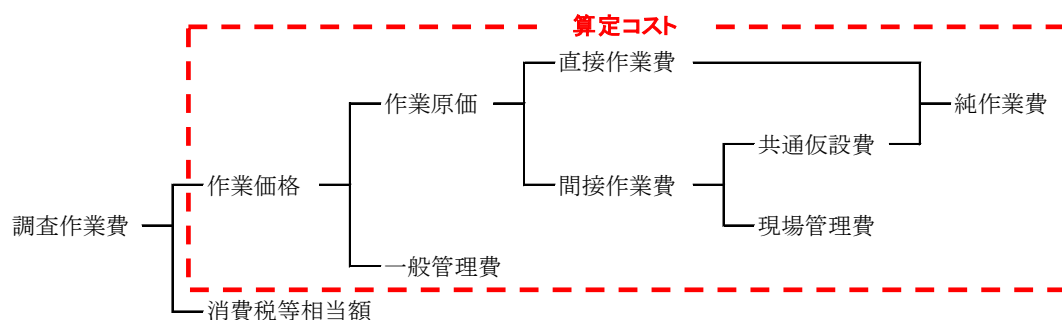


図 2-2 作業費の試算範囲

### 3. 調査コスト試算結果

対象とした 6 管路の試算条件及び試算結果の概要を以下に示す。

#### (1) 試算条件

- ①机上スクリーニングを 1～2 日間で実施し，調査箇所を決定。
- ②事前準備として打合せ及び現地踏査を 1 日間で実施。
- ③硫酸腐食の調査は，事前確認と視覚調査をそれぞれ 1 日間ずつ，計 2 日間で実施。
- ④調査に係る旅費交通費も計上。

#### (2) 試算結果

【机上スクリーニング】：10 万円～23 万円

【事前準備】 + 【硫酸腐食の調査】：173 万円～276 万円

なお，ここで示すコストはあくまで試算事例であり，実際にかかるコストについては，対象管路の図面整備状況や図面枚数，視覚調査を実施する場所の所在地や現地状況によって変化することに留意が必要である。





## 参考資料編Ⅶ 圧送管路の点検

### 目 次

1. 圧送管路の点検方法	Ⅶ-2
2. 点検方法 1	Ⅶ-2
3. 点検方法 2	Ⅶ-3
4. 点検方法 3	Ⅶ-3
参考文献	Ⅶ-4

## 1. 圧送管路の点検方法

机上スクリーニング及び硫酸腐食の調査の結果をもとに、今後の点検方法を検討する。点検方法は、管内面防食方法及び環境区分により表 1-1 の 3 つに分類できる。なお、ここでの環境区分の腐食環境下とは、本編 2.2.3 硫酸腐食の調査に示す事前確認で空気弁から下水が排出されない非満流箇所、及び吐出し先マンホール接続部であり、一般環境下とはそれ以外の箇所を意味している。

表 1-1 点検方法の分類と点検頻度の設定例

点検方法	管内面防食方法	環境区分	点検内容	点検頻度
点検方法1	エポキシ樹脂粉体塗装	一般環境下 腐食環境下	空気弁の腐食状況の確認 〔①空気弁本体の腐食状況確認〕 〔②補修弁の開閉の確認〕	7～8年に1回 <sup>*1)</sup>
点検方法2	モルタルライニング	一般環境下	空気弁の腐食状況の確認 〔①空気弁本体の腐食状況確認〕 〔②補修弁の開閉の確認〕 ↓ ①腐食ありの場合 空気弁室内の硫化水素濃度測定 [1週間連続して測定]	7～8年に1回 <sup>*1)</sup>
点検方法3	モルタルライニング	腐食環境下	空気弁の場合 空気弁室内の硫化水素濃度測定 [1週間連続して測定] 吐出し先マンホールの場合 腐食状況の目視点検 [マンホール接続部の管内確認]	5年に1回以上 <sup>*2)</sup>

\*1) 下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン<sup>1)</sup>で示されている、一般環境下での重要管路の点検頻度の設定例に準拠した。

\*2) 下水道法施行令第五条の十二の三に定められる腐食するおそれが大きい排水施設に該当するものとして、5年に1回以上の適切な頻度で点検を行うことにした。

## 2. 点検方法 1

管内面防食方法がエポキシ樹脂粉体塗装の場合、硫酸腐食が起こる環境下でも十分な耐食性を有しており、管内面の腐食が進行する可能性は低い。一方、空気弁が腐食環境下に設置されると、時間の経過とともに劣化が進行し、最終的に空気弁及び補修弁が正常に作動しなくなる可能性がある。

そこで、7～8年に1回の頻度で空気弁の腐食状況を目視で確認し、腐食が進行している場合には空気弁の保守点検（作動状況の確認、分解して清掃等）を行い、必要に応じて取り替えを行う。また、空気弁の取り替え時には補修弁を閉める必要があるため、補修弁の作動状況についても確認を行う。点検項目を以下に示す。

- ①空気弁本体の腐食状況（写真撮影）
- ②補修弁の開閉の確認

### 3. 点検方法 2

管内面防食方法がモルタルライニングで一般環境下に相当する場合は、空気弁を利用して硫酸腐食が起こる環境になっていないことを、7～8年に1回の頻度で点検する。

まず、空気弁の腐食状況を目視で確認する（点検方法1と同じ）。腐食が確認された場合は、空気弁の保守点検を行うとともに、空気弁室内の硫化水素濃度を拡散式硫化水素測定器等で1週間連続して測定する。測定された硫化水素濃度の平均値が10ppm以上の場合は、圧送管路の管内面が腐食している可能性があるとして判断し、本編5章で示した硫酸腐食の調査に進む。

点検方法2の手順を図3-1に示す。

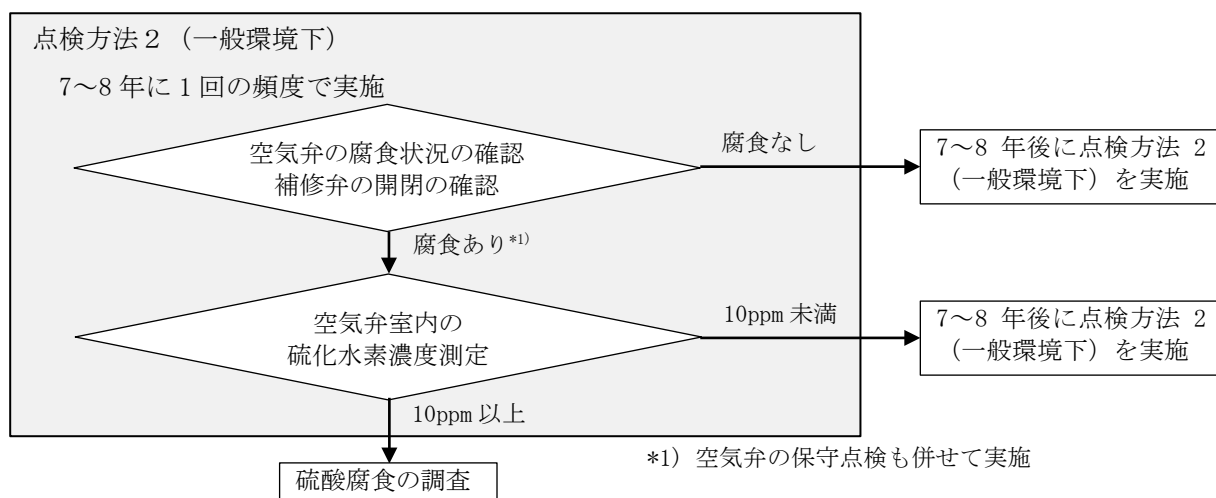


図3-1 点検方法2の手順

### 4. 点検方法 3

管内面防食方法がモルタルライニングで腐食環境下に相当する場合は、実際に硫酸腐食が進行している可能性があり、下水道法施行令第五条の十二の三に定められる腐食するおそれ大きい排水施設に該当するものとして、5年に1回以上の適切な頻度で点検を行う。

該当する全ての空気弁を対象に、空気弁室内の硫化水素濃度を1週間連続して測定し、平均硫化水素濃度が10ppm以上の場合は、本編5章で示した硫酸腐食の調査に進む（点検方法2と同じ）。

点検方法3（空気弁の場合）の手順を図4-1に示す。

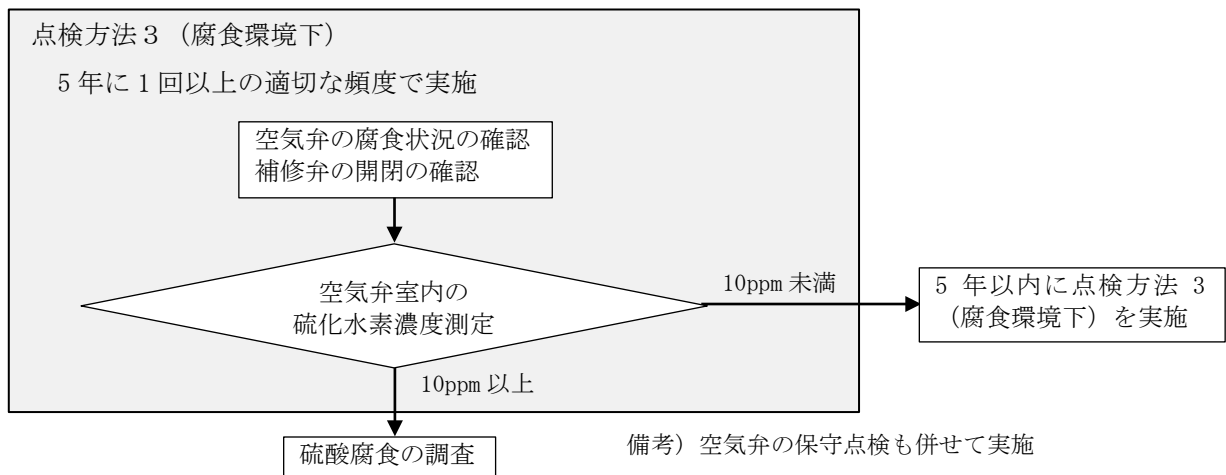


図 4-1 点検方法 3 の手順 (空気弁の場合)

また、吐出し先マンホールについては、マンホールに接続している圧送管路の管内面をマンホール内から目視で確認し、腐食発生の有無を点検する。腐食が発生している場合は、本編 5 章で示した硫酸腐食の調査に進む。

点検方法 3 (吐出し先マンホールの場合) の手順を図 4-2 に示す。

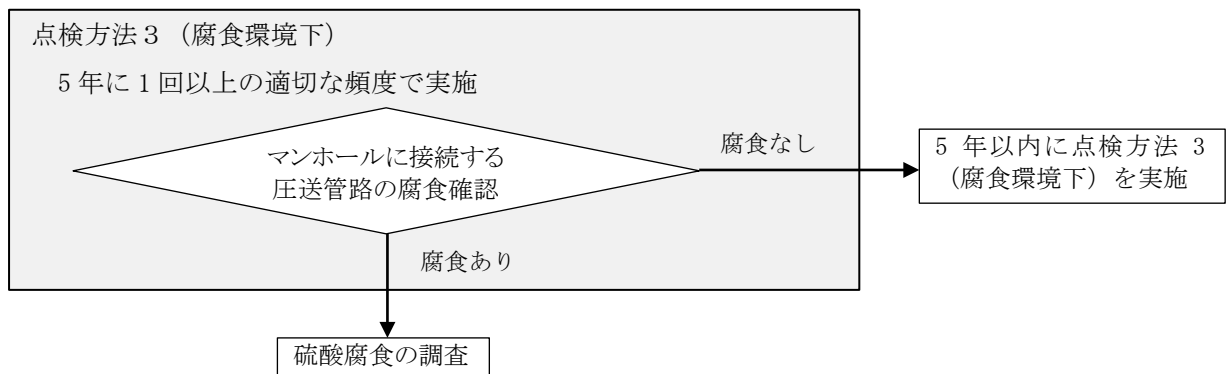


図 4-2 点検方法 3 の手順 (吐出し先マンホールの場合)

[参考文献]

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部：下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン -2015年版-，(2015年11月)

## 参考資料編Ⅷ 圧送管路におけるストックマネジメントの実施手法

### 目 次

1. 圧送管路のストックマネジメント	Ⅷ-2
2. 圧送管路維持管理におけるストックマネジメントの実施フロー	Ⅷ-2
参考文献	Ⅷ-4
別紙① 国土交通省事務連絡 平成 29 年 1 月 17 日付け	Ⅷ-6
別紙② 国土交通省事務連絡 平成 29 年 4 月 3 日付け	Ⅷ-7

## 1. 圧送管路のストックマネジメント

圧送管路の維持管理においては、ストックマネジメントの導入により、リスク評価等による優先順位付けを行った上で、管路の点検・調査、修繕・改築を実施し、将来にわたって適切に管理していくことが望ましい。

「下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015年版-」<sup>1)</sup>では、下水道事業におけるストックマネジメントを、下記の通り定義している。

「下水道事業におけるストックマネジメントは、目標とする明確なサービス基準を定め、下水道施設全体を対象に、その状態を点検・調査等によって客観的に把握、評価し、長期的な施設の状態を予測しながら、点検・調査、修繕・改築を一体的に捉えて下水道施設を計画的かつ効率的に管理するものである。」(下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン-2015年版 第1編 第1章 第1節 1.1.1 ストックマネジメントの定義より抜粋)

圧送管路の維持管理においても、積極的にストックマネジメントの導入を図り、リスク評価等による優先順位付けを行った上で、管路の点検・調査、修繕・改築を実施するとともに、情報を蓄積し計画設計へフィードバックするなど、PDCAサイクルを確実に回し、将来にわたって適切に管理していくことが重要である。

## 2. 圧送管路維持管理におけるストックマネジメントの実施フロー

本技術を活用した圧送管路維持管理におけるストックマネジメントの実施フローを図 2-1 に示す。

### ①施設情報の収集・整理（現状の把握）

本編 4.2.1 管路情報の収集・整理に示す情報を収集・整理する。

### ②リスク評価

点検・調査及び修繕・改築の優先順位等を設定するために、本編第4章腐食危険推定箇所抽出に示す机上スクリーニングを行い、硫酸腐食の発生が危惧される箇所を抽出する。

### ③施設管理の目標設定

各施設の点検・調査及び修繕・改築に関する事業の目標（アウトカム）及び事業量の目標（アウトプット）を設定する。

### ④長期的な改築事業のシナリオ設定

リスク評価等に基づく管理方法や、施設全体の概ねの改築周期や健全度・緊急度を基にした改築条件等を踏まえ、今後の事業費を考慮したシナリオを設定する。圧送管路は一たび事故が発生すると多量の汚水の溢水や大規模な道路陥没等の重大な事故につながる可能性があるため、地震・津波対策や浸水対策等の機能向上も勘案して、長期的な改築事業のシナリオを設定し、最適なシナリオを選定する。

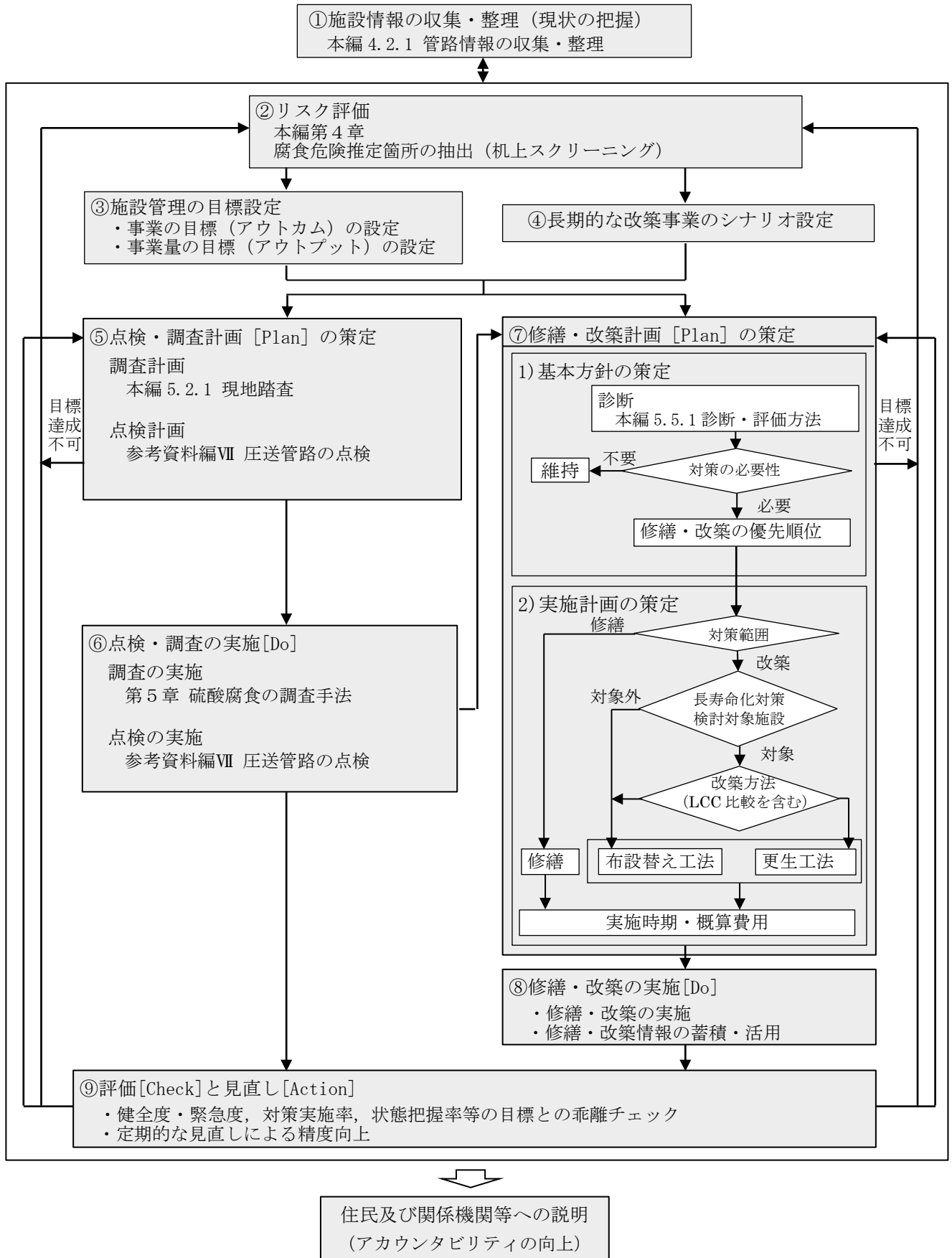


図 2-1 圧送管路維持管理におけるストックマネジメントの実施フロー

## ⑤点検・調査計画の策定

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て、本編 5.2.1 現地踏査を参照に調査計画を策定する。また点検計画は、参考資料編Ⅶ圧送管路の点検を参照に策定する。

## ⑥点検・調査の実施

点検・調査実施計画に基づき、点検・調査を実施する。

(調査は本編第5章硫酸腐食の調査手法を、点検は参考資料編Ⅶ圧送管路の点検を参照。)

## ⑦修繕・改築計画の策定

### 1) 基本方針の策定

#### i) 診断

調査結果をもとに、本編 5.5.1 診断・評価方法に従って診断を行う。

#### ii) 対策の必要性

診断により判定された劣化度から、修繕・改築の必要性を検討する。

#### iii) 修繕・改築の優先順位

修繕・改築の優先順位は、リスク評価に基づいて定める方法が有効である。その際、従来の施設整備事業や地震・津波対策及び浸水対策といった機能向上に関する事業等の他計画についても考慮し、優先順位を検討することが望ましい。

### 2) 実施計画の策定

#### i) 対策範囲

1) 基本方針の策定で対策が必要と判定されたスパンについては、修繕か改築かの判定を行う。修繕は劣化した箇所のみを部分的に取替え、あるいは部分的に管内で補強を行うものであり、改築は布設替えによる更新または更生工法による長寿命化対策である。

なお、鉄部腐食が発生している場合は、管材としての健全性が損なわれ耐荷能力が不足し、管きょが変形または破損し、道路陥没等の事故を引き起す可能性がある。このような状況を考慮して検討する必要がある。

#### ii) 長寿命化対策検討対象施設

自然流下管きょと同様に、長寿命化対策工法の有無を確認し、長寿命化対策を検討する必要性を確認する。

#### iii) 改築方法（布設替え・更生工法の検討）

既設管きょの状況、現場条件、維持管理への影響等を十分勘案し、安全かつ経済性に優れた工法を決定する。また、必要に応じ、長期的な観点から管きょルートの変更や統廃合を検討する。布設替え工法及び更生工法の採用における主な留意事項は、次のとおりである。

a) 鉄部腐食が発生し、管材としての健全性が損なわれ耐荷能力が不足し、管きょが変形または破損している場合は、原則として布設替え工法を採用する。

b) 更生工法を選択するときは、自然流下管きょの場合と同様に、以下のことを事前に実施すること<sup>2)</sup>。

・対象箇所については、カメラ調査を行い、適用範囲内であること確認する。



- ・管きょ更生工の直前に管きょ内の洗浄を十分行い、出来形に影響を及ぼす可能性のある鉄錆等を完全に除去する。

なお、圧送管路における更生工法の安全性の照査方法や構造設計手法については、現時点では確立されていないことに留意が必要である。

- c) 掘削に伴う他企業埋設物の移設や切り廻し、道路渋滞による社会的影響及び掘削規制の有無等の現場条件を勘案し、工法検討を行う。
- d) 布設替えを選択する場合、圧送管路の長期的な維持管理や地震等で破損した際の速やかな応急復旧を考慮して、二条化についても検討すること（別紙①，②参照）。

iv) 実施時期・概算費用

- i) 対策範囲～iii) 改築方法の検討結果を踏まえ、事業時期計画を勘案し、修繕・改築実施時期を定め、概算費用を算定する。

⑧修繕・改築の実施

修繕・改築計画に基づき、修繕・改築を実施する。修繕・改築によって得られる情報を整理し、継続的に施設情報システム（データベース）に蓄積して活用することが望ましい。

⑨評価と見直し

目標の達成度合いや点検・調査計画及び修繕・改築計画を定期的に評価し、必要に応じて目標や計画の見直しを行うことが望ましい。

[参考文献]

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部：下水道事業のストックマネジメント実施に関するガイドライン -2015年版-，（2015年11月）
- 2) 公益社団法人日本下水道協会：管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン -2017年版-，（2017年7月）

都道府県下水道担当課長  
政令指定都市下水道担当課長  
（上記、各地方整備局経由）  
市町村下水道担当課長  
（上記、各都道府県経由）  
日本下水道事業団事業課長  
都市再生機構下水道担当チームリーダー

殿

国土交通省水管理・国土保全局下水道部  
下水道企画課管理企画指導室 課長補佐  
下水道事業課事業マネジメント推進室 課長補佐

### 圧力管渠の破損による未処理下水の流出防止対策について

近年、圧力管渠の損傷や継ぎ目のズレ等により、未処理下水が公共用水域へ流出した事例が数多く報告されています。国土交通省において、圧力管渠が破損した場合における未処理下水の公共用水域への流出防止対策の実施状況を調査したところ、回答のあった約 2,300 箇所のポンプ場のうち、圧力管渠の二条化、仮設ポンプの備蓄等により、未処理下水の流出防止対策が講じられた施設は約 30%程度であることが明らかになりました。

圧力管渠は、自然流下式の下水管に比べて、平常時の点検・調査等の維持管理が困難であること、異常又はその兆候が確認された際、速やかに修繕・改築の対応を講じることが困難である等の特徴があります。今後、下水管の老朽化等により圧力管渠が破損する恐れがあることを踏まえると、圧力管渠が破損した場合における未処理下水の流出を未然に防止するための対策を講じる必要があります。

つきましては、圧力管渠の破損による未処理下水の流出防止対策について、下記の通り適切にご対応いただきますようお願い申し上げます。（対策の実施状況については、適宜フォローアップ調査を実施する予定です。）

なお、各都道府県におかれましては貴管内の市町村（政令指定都市を除く。）に対しても、周知徹底方お願い致します。

### 記

- 1 現在、圧力管渠が破損した場合における未処理下水の流出防止対策を講じていない場合は速やかに対策を検討し、平成 29 年度末を目途に対策を講じるよう努めること。  
なお、圧力管渠の二条化等による対策が困難な場合には、圧力管渠が破損した際に速やかに対応できるよう、圧力管渠の修繕、改築を行うための資機材やその調達先の確保、仮設ポンプの備蓄等の措置を講じるよう努めること。
- 2 圧力管渠の計画的な維持管理・改築や、他事業が下水管の近接工事を実施する際の立会など、圧力管渠の破損を未然に防止するために適切な対策を講じるよう努めること。
- 3 現在既に対策を講じている場合においても、実際に圧力管渠が破損した際に確実に未処理下水の流出を防止することができるか再度検証すること。

別紙② 国土交通省事務連絡 平成 29 年 4 月 3 日付け

事 務 連 絡  
平成 29 年 4 月 3 日

都道府県下水道担当課長  
政令指定都市下水道担当部長  
（以上地方整備局等  
下水道事業担当課長等経由）  
独立行政法人都市再生機構下水道担当課長  
地方共同法人日本下水道事業団下水道担当課長

殿

国土交通省水管理・国土保全局下水道部  
下水道事業課 企画専門官

平成 29 年度事業執行にあたっての交付対象範囲の確認事項について

下水道事業の執行については、各事業主体において鋭意ご尽力いただいているところで  
すが、社会資本整備総合交付金等の基幹事業の交付対象範囲について、改めて下記事項を  
確認いただき、適切な執行をお願いいたします。また、都道府県におかれては、貴管内市  
町村（政令指定都市を除く。）に対しても、その旨周知方お願いいたします。

なお、確認事項の内容について、不明な点等がある場合には、個別に相談をお願いいた  
します。

記

28 圧力管の二条化について

圧力管のうち、地震等で破損した際に速やかに応急復旧を行うことが困難な管に予  
備を設けて二条化する場合については交付対象である。

（一部抜粋）

## 参考資料編区 問い合わせ先

### 1. 問い合わせ先

本ガイドラインに関する問い合わせは、以下にお願いします。

国土交通省 国土技術政策総合研究所	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 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 TEL 029-864-3343 FAX 029-864-2817 URL <a href="http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/index.htm">http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/index.htm</a>
----------------------	---

本書は、下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）により国土交通省国土技術政策総合研究所が以下の企業に研究委託を行い、その成果を取りまとめたものです。

#### <実証研究者連絡先>

株式会社クボタ	株式会社クボタ パイプシステム事業ユニット 東京技術グループ 〒104-8307 東京都中央区京橋2丁目1番3号 TEL 03-3245-3107 FAX 03-3245-3498 URL <a href="http://www.kubota.co.jp/">http://www.kubota.co.jp/</a>
---------	--



.....

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No.1012                  February 2018

編集・発行    ©国土技術政策総合研究所

.....

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675