

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。

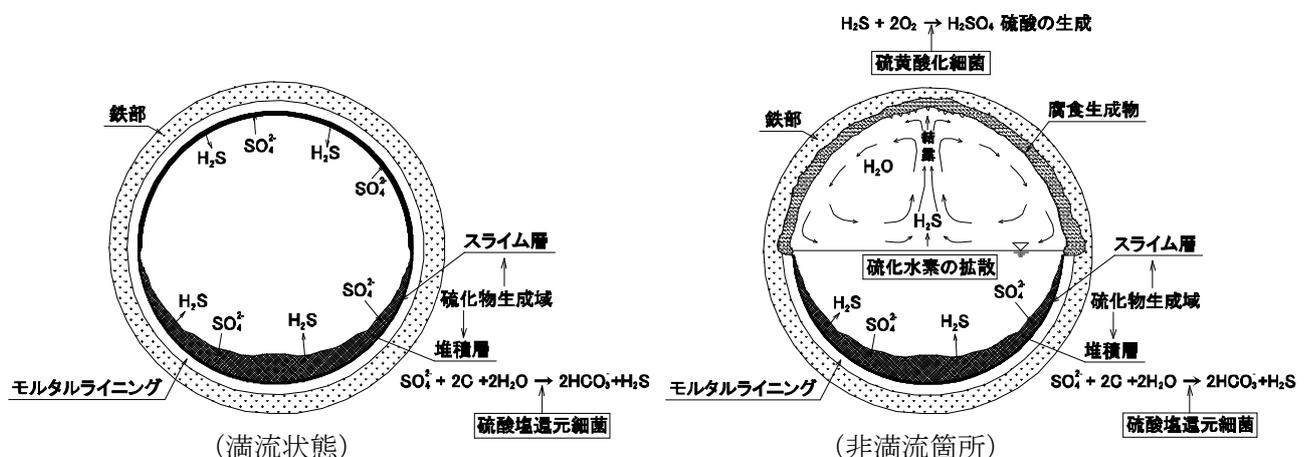


図2-1 圧送管路の硫酸腐食の概念図⁶⁾

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】

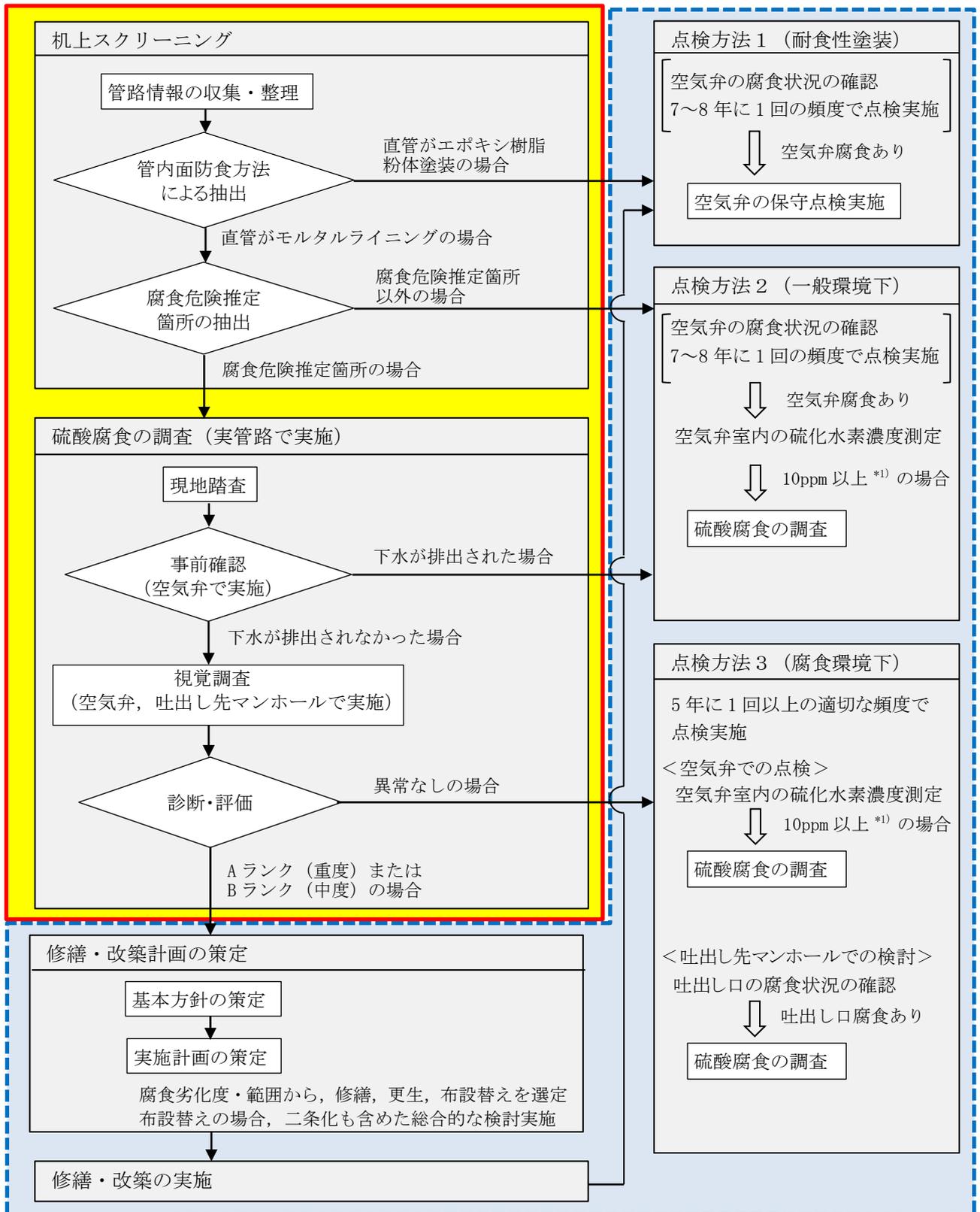
圧送管路はポンプで加圧して下水を送水するため、一たび事故が発生すると、多量の汚水溢水や大規模な道路陥没等の重大な事故につながる可能性がある。しかしながら圧送管路は、既存の自然流下管きょに導入されている調査技術での対応が困難であり、施設を管理する地方公共団体の限られた予算・体制等では、全線をくまなく調査することが難しいのが現状である。

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。

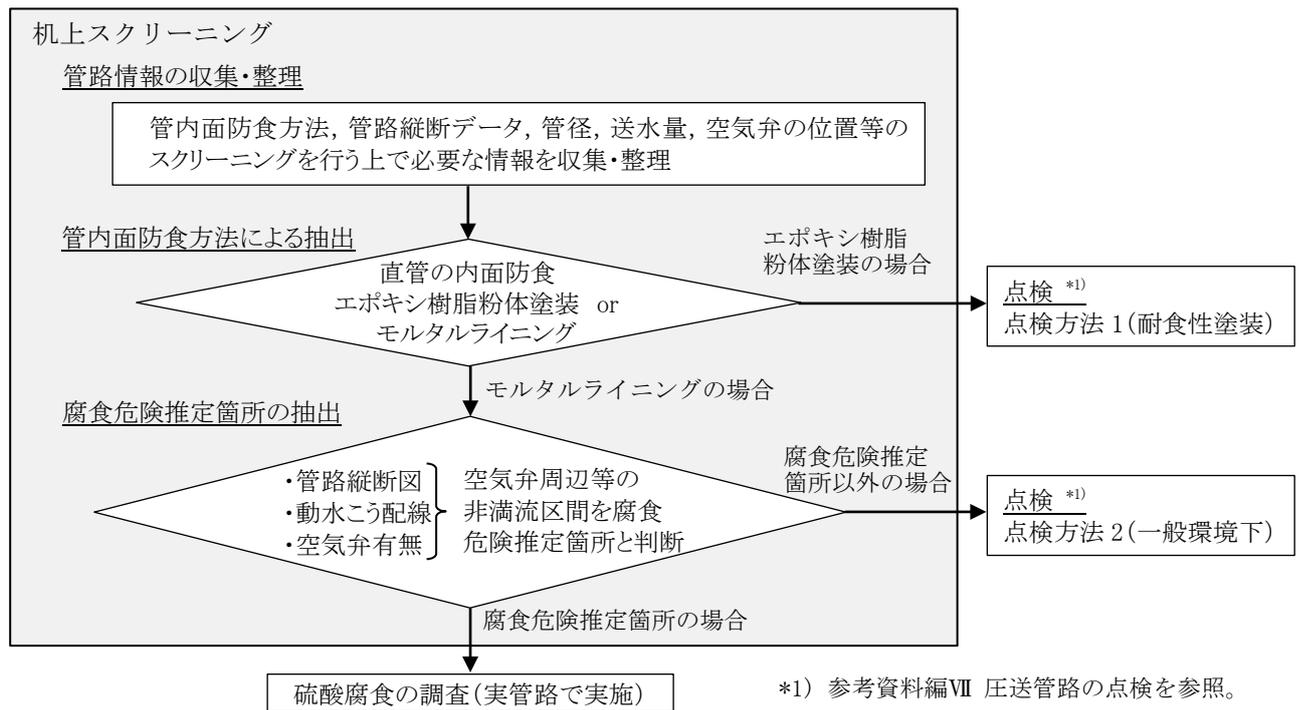


図2-3 机上スクリーニングの手順

(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 ^{*3)}
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 ^{*1)}	エポキシ樹脂粉体塗装	× ^{*4)}
	タールエポキシ樹脂塗装 ^{*2)}	×

*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）。

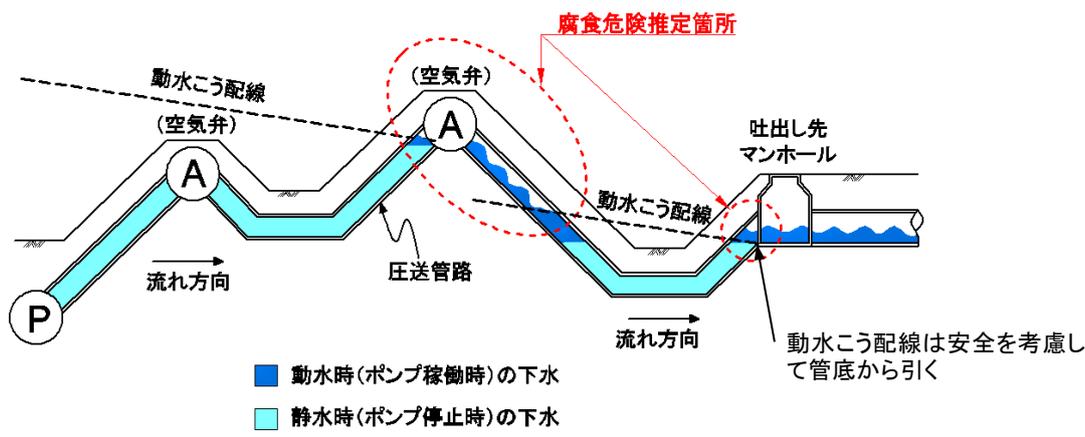


図 2-4 圧送管路の腐食危険推定箇所

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 75 mm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。

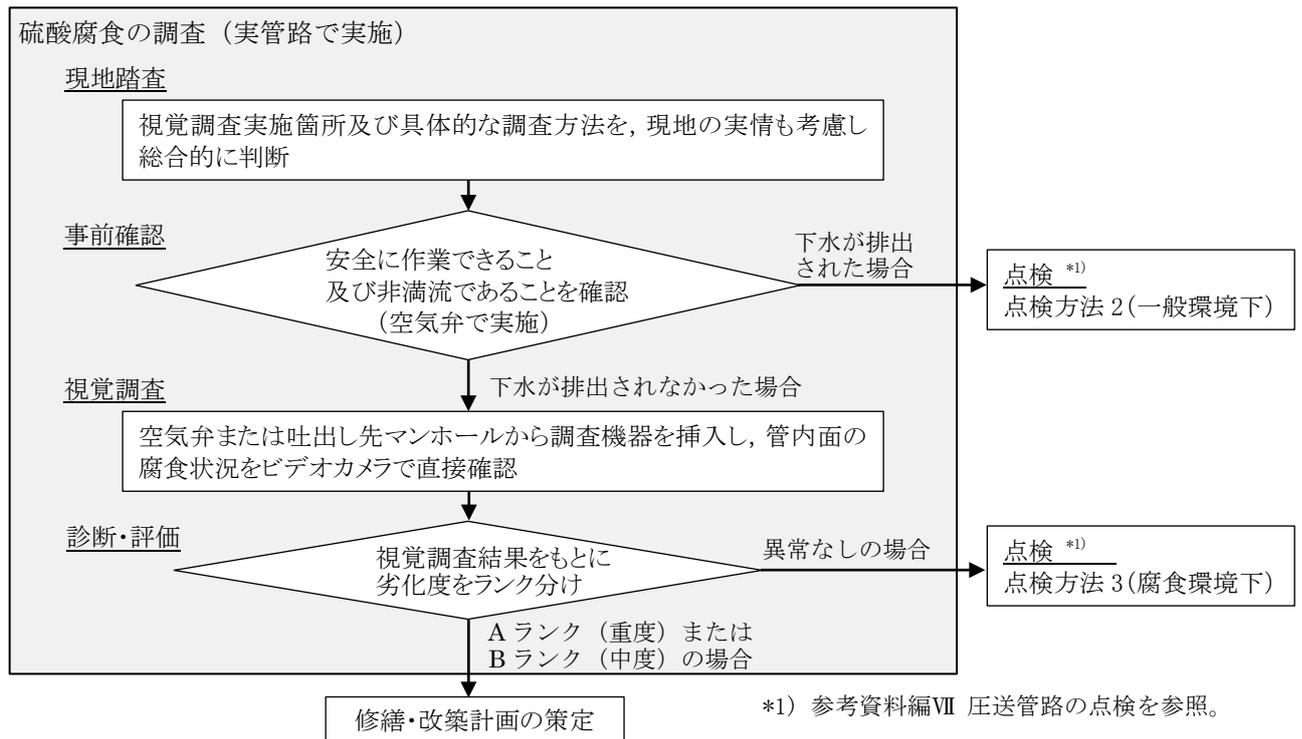


図 2-5 硫酸腐食の調査手順

(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。

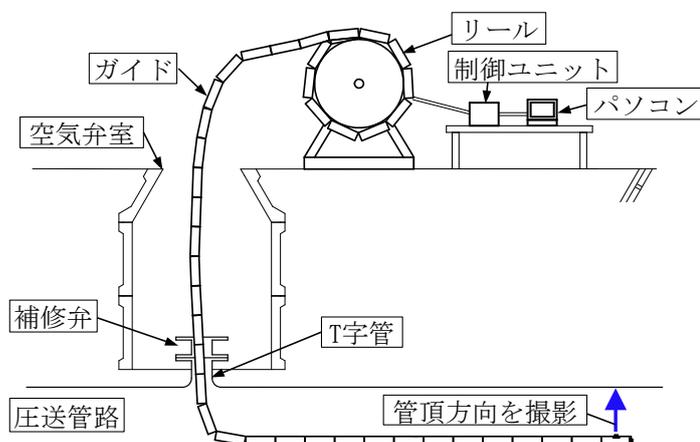


図 2-6 本調査機器のイメージ

(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の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 ^{*1)}		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）。

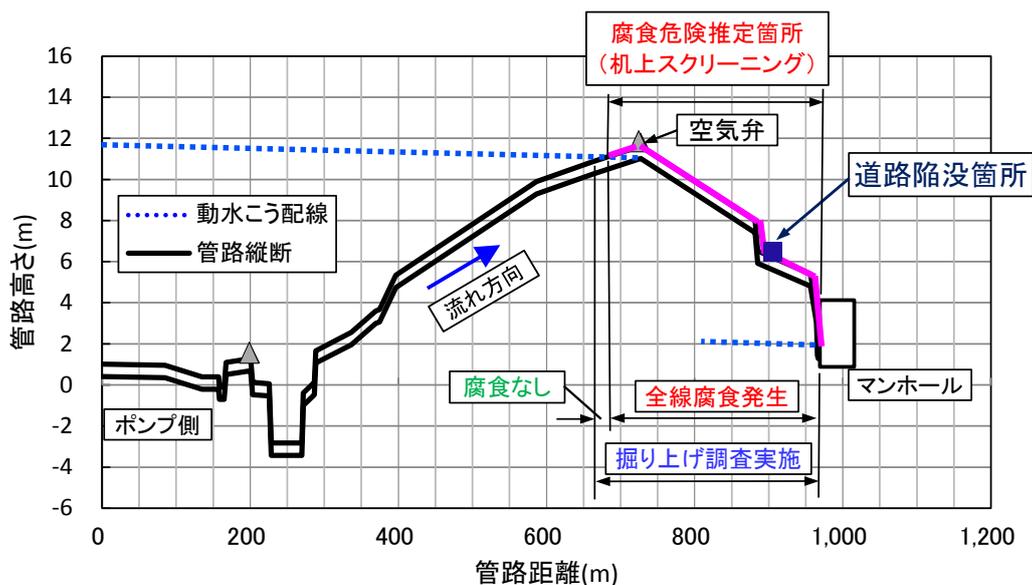


図 2-7 事故事例と腐食危険推定箇所の照合 (D市での検討事例)



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）。

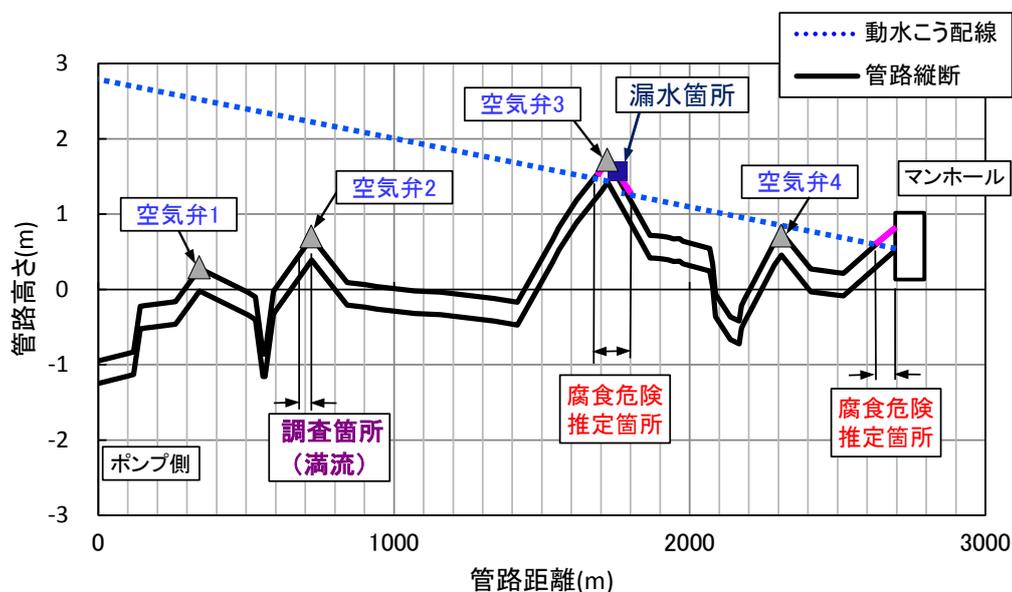
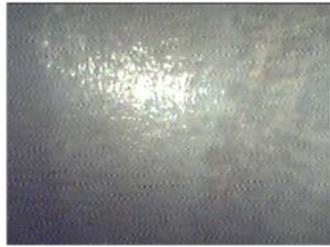


図 2-8 調査を行った管路（H 流域下水道）

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)

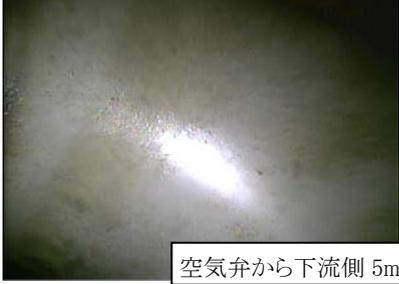
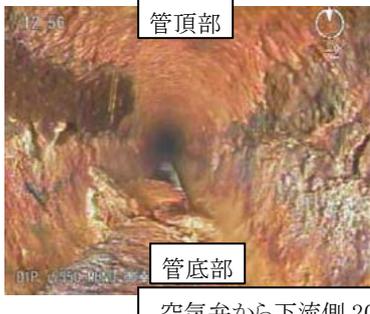
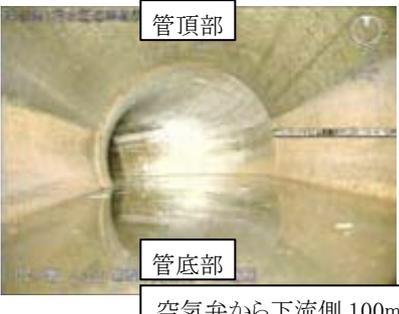
管内面防食方法	モルタルライニング (直管)	エポキシ樹脂粉体塗装 (異形管)
劣化度	Aランク(重度)	異常なし
内面状況	 <p>空気弁から下流側 4m</p>	 <p>空気弁から下流側 5m</p>

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⁷⁾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ですら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での調査を行った。

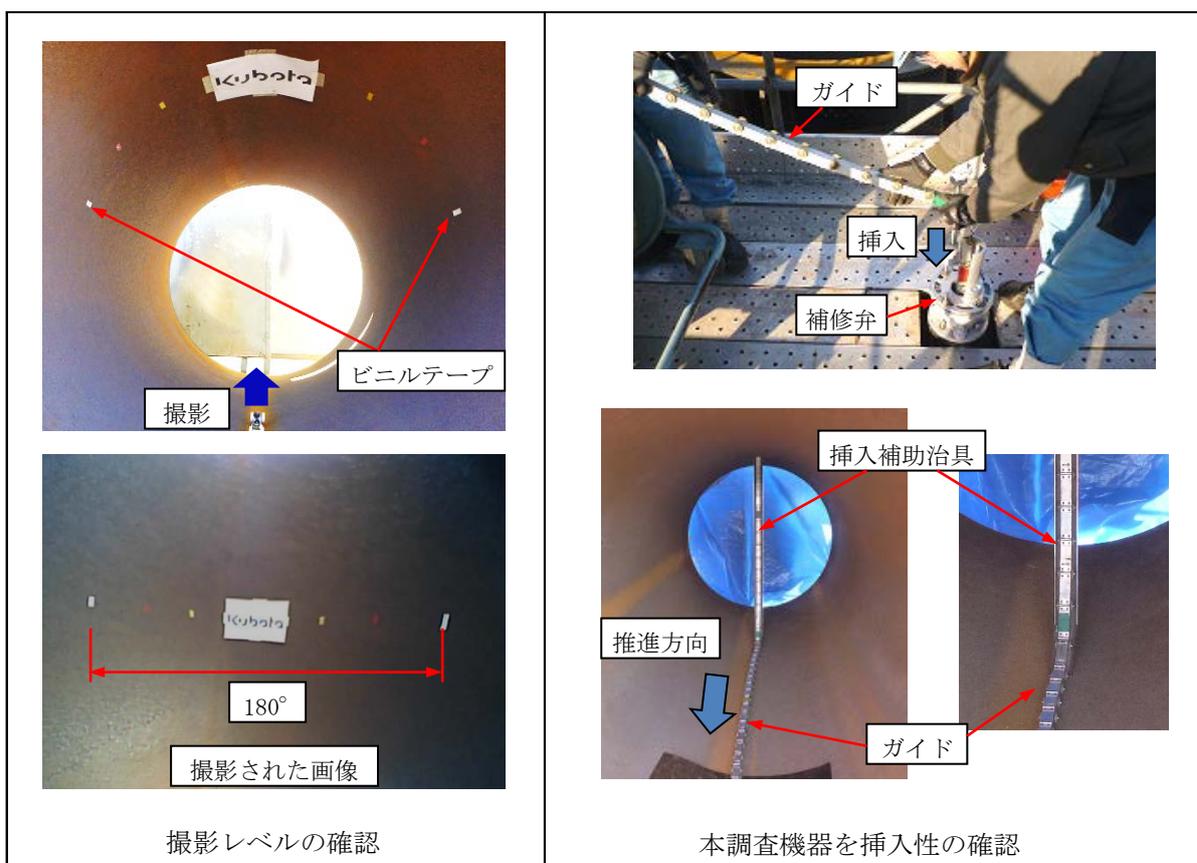


写真 2-3 管径 1000mm 模擬管での確認状況

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。

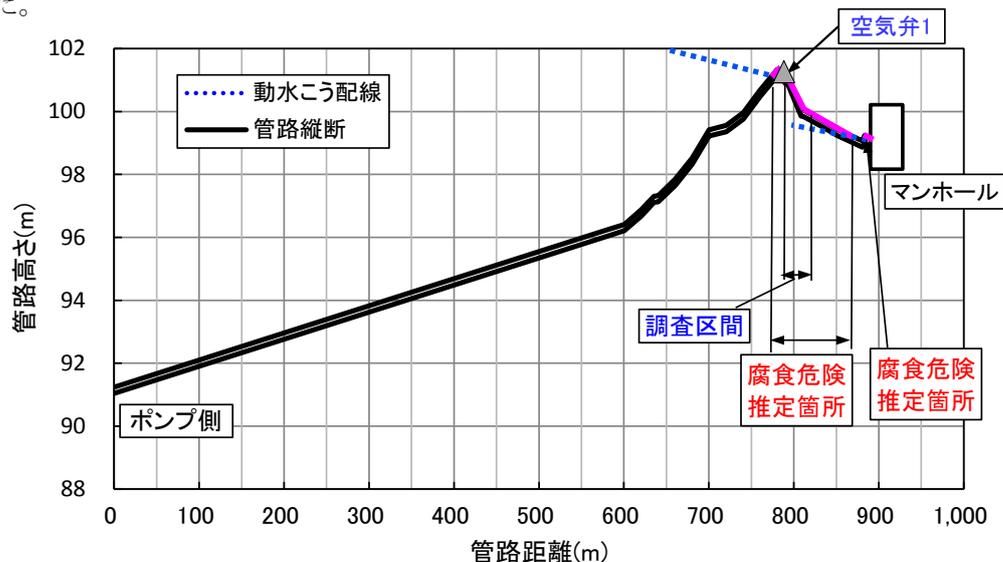


図 2-9 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出（I 流域下水道）

2) 視覚調査及び診断結果

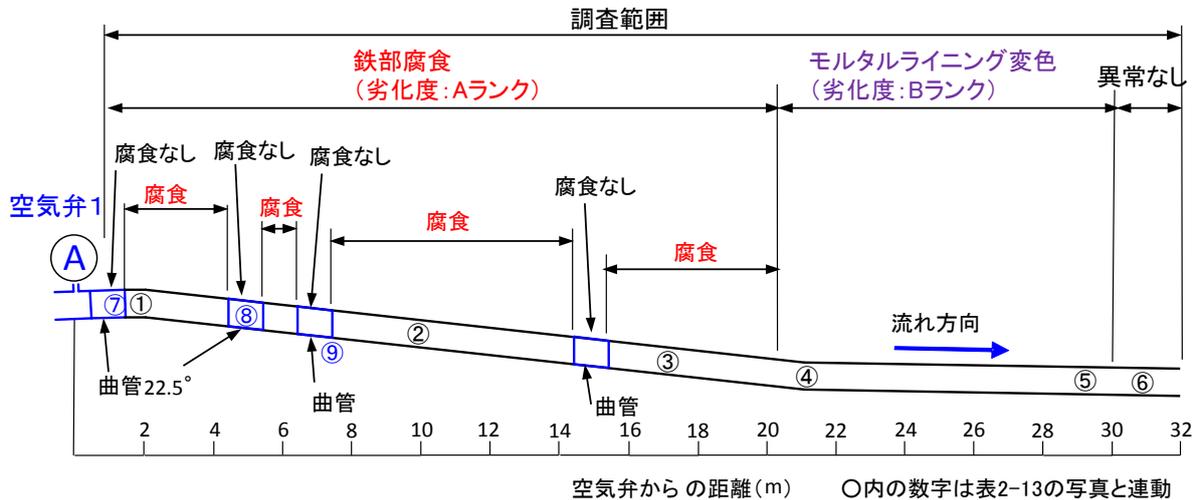
本調査機器の現地適用性の評価結果を表 2-11 に示す。本調査機器は、全ての評価項目で目標を満足していることを確認した。

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"> 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。 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。 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。

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。



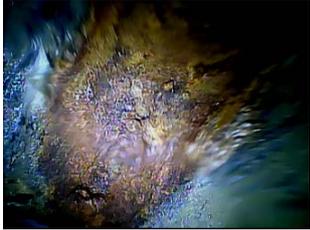
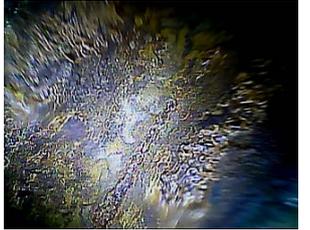
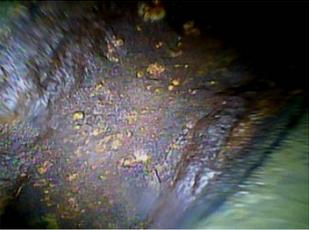
備考) 異形管(曲管)の管内面防食はエポキシ樹脂粉体塗装

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"> ・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。
21m～30m	Bランク	<ul style="list-style-type: none"> ・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。
31m～32m	異常なし	<ul style="list-style-type: none"> ・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 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。

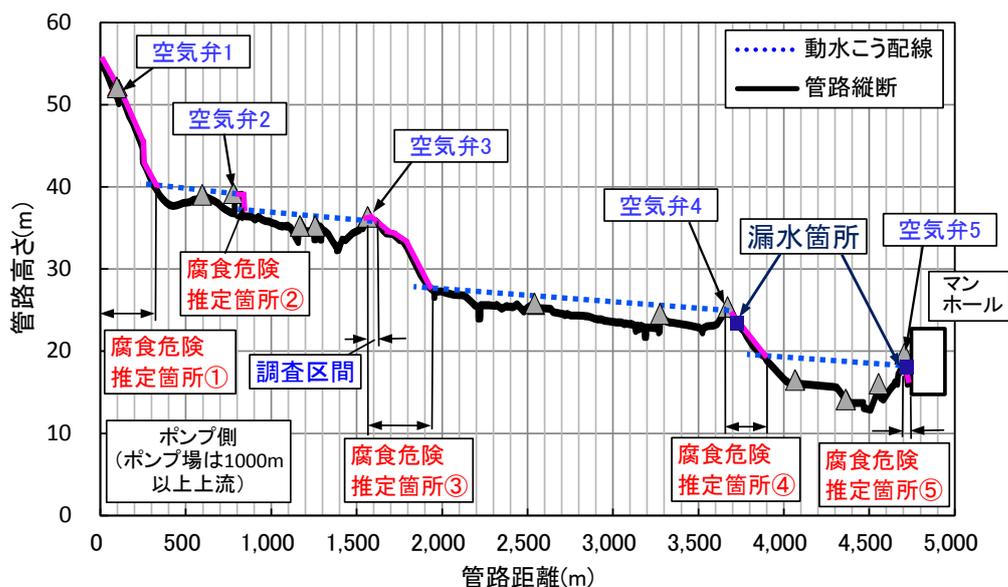


図 2-11 机上スクリーニングによる腐食危険推定箇所の抽出 (K市)

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

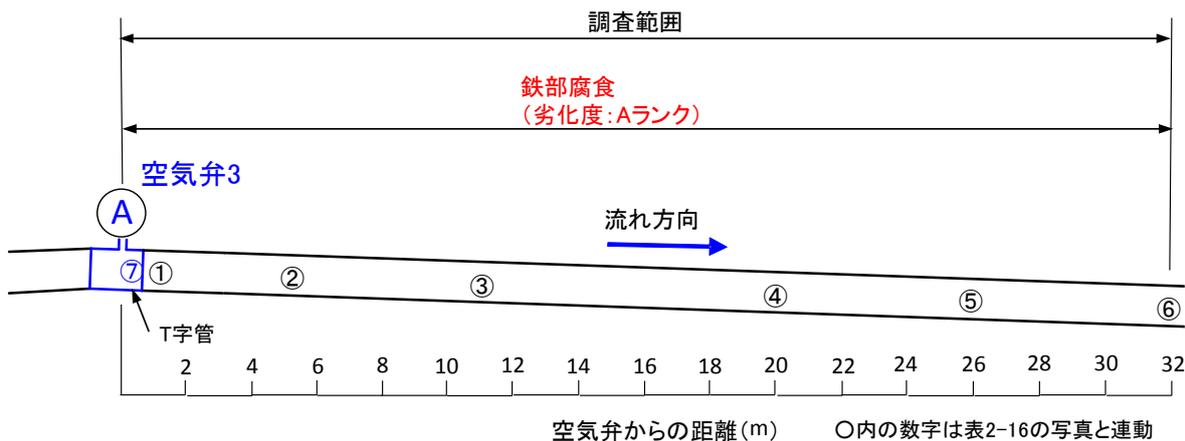
評価項目	目標	調査結果	備考
空気弁からの挿入	口径75mmから挿入可能	口径75mmの空気弁から挿入できた。	—
視覚調査時間	1.5時間以内	1.0時間で視覚調査できた。	—
管径	200mm～1000mm	管径350mmで視覚調査実施。	
撮影された画像のレベル	管内の劣化度を診断可能	管頂側約180°の範囲を撮影でき、画像は鮮明で、管内面の劣化度を問題なく診断できた。	—
調査範囲	空気弁から30mの範囲を調査可能	備考に示す状況下で、空気弁3から下流側32mまで本調査機器を押し込み視覚調査できた。また、本調査機器が水没した一部区間を除き劣化度を問題なく診断できた。	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 調査範囲内に曲管は布設されていなかった。



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。



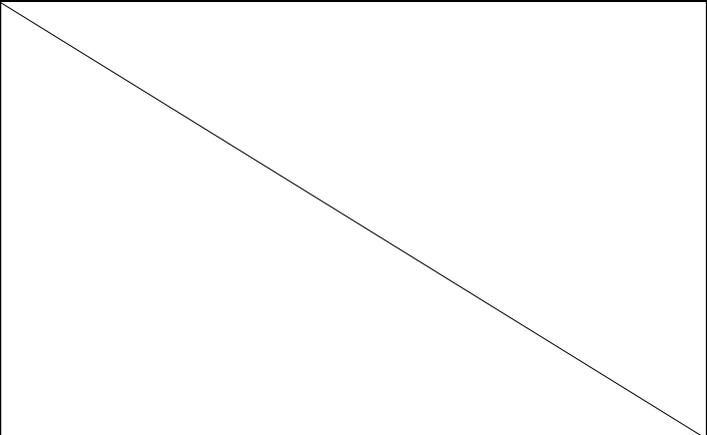
備考) 異形管(T字管)の管内面防食はタールエポキシ樹脂塗装

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"> ・直管(モルタルライニング)は、鉄部腐食が発生していた。 ・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。 ・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。

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			