

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

JDPA T 102



一般社団法人

日本ダクタイトル鉄管協会

目 次

1. はじめに	1
2. 下水道圧送管路の硫酸腐食のメカニズム	1
3. 技術の要件	2
4. 腐食危険推定箇所の抽出（机上スクリーニング）	3
4.1 管路情報の収集・整理	4
4.2 管内面防食方法による抽出	6
4.3 腐食危険推定箇所の抽出	6
4.4 危険箇所（要因1）の抽出	12
4.5 危険箇所（要因2）の抽出	17
4.6 各机上スクリーニングの特徴の整理	19
5. 硫酸腐食の調査手法	20
5.1 腐食危険推定箇所の調査	20
5.1.1 現地踏査	21
5.1.2 事前確認	22
5.1.3 視覚調査例	25
5.1.3.1 視覚調査の概要	25
5.1.3.2 視覚調査の適用条件	25
5.1.3.3 調査機器	27
5.1.3.4 視覚調査の手順と留意事項	28
5.1.4 診断・評価	30
5.1.5 デジタルカメラを用いた調査	33
5.2 危険箇所（要因1）の調査	35
5.2.1 現地調査1の手順	35
5.2.2 調査方法	35
5.2.2.1 事前確認	35
5.2.2.2 調査箇所の選定	35
5.2.2.3 超音波による調査	35
5.3 危険箇所（要因2）の調査	37
5.3.1 現地調査2の手順	37
5.3.2 調査方法	37
5.3.2.1 調査箇所の選定	37
5.3.2.2 超音波による調査	37
6. 圧送管路の点検	38
6.1 圧送管路の点検方法	38
6.2 点検方法1	38
6.3 点検方法2	39
6.4 点検方法3	39
7. 安全衛生管理	40

1. はじめに

下水道管路は、各種のインフラ施設の中でもとりわけ過酷な状況に置かれた存在である。状況の全てを把握することが難しい地下空間に埋設されていることに加え、下水に含有する硫化水素に起因して発生する硫酸は構造部材に激しい化学的腐食をもたらす。

ダクトイル鉄管は、下水道管路において、送水管、送泥管等の圧送管路や処理場内配管を中心に幅広く使用されているが、近年、内面モルタルライニングのダクトイル鉄管が使用されている圧送管路で、硫化水素に起因する硫酸腐食による漏水等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に繋がると考えられるため、事故を未然に防ぐための予防保全的な調査が重要である。国土交通省でも、下水道管路の状況を的確に把握するための基礎となる点検・調査の精度・確度が向上するよう、徹底的かつ挑戦的に推進することを求めている。

そこで、ダクトイル鉄管による下水道圧送管路の点検・調査を促進するため、硫酸腐食箇所を効率的に調査する技術の導入を推奨することとした。本書は、本調査技術の基本的事項をとりまとめたものである。

2. 下水道圧送管路の硫酸腐食のメカニズム

ダクトイル鉄管による下水道圧送管路の硫酸腐食は、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

圧送管路は、自然流下管きよと異なり、管路の途中にマンホールはなく、管内の負圧防止や空気溜まりの解消のために空気弁が設けられている。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ることにより、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、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1に示す。

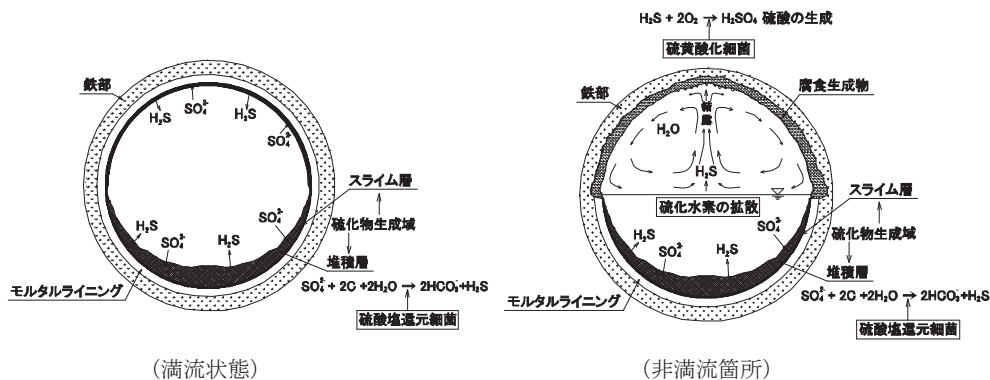


図1 圧送管路の硫酸腐食の概念図

3. 技術の要件

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、かつ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硫酸腐食の有無を調査し、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)

管内面防食方法や管路縦断データ等の管路情報に基づき、圧送管路特有の構造や腐食メカニズムを踏まえて、腐食危険推定箇所が特定可能な技術とする。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る圧送管路の腐食危険推定箇所の抽出技術は、以下に示す2点を要件とする。

- 1) 腐食が進んでいる箇所を確実に抽出できること
- 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

(2) 硫酸腐食の調査

圧送管路の区間内で管内に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可能とするため、硫酸腐食の調査技術は以下の事項を要件とする。

- 1) 下水用空気弁(口径75mm)から挿入できること
- 2) ポンプ停止可能時間(1.5時間程度)内に視覚調査可能であること
- 3) 水深30mmの滞留下水、高さ50mmの堆積物があっても視覚調査が可能であること
- 4) 幹線管きよに対応できる管径を調査可能であること

さらに、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がある。

このような状況においても管内面の劣化度を的確に診断可能とするため、以下の事項も要件とする。

- 5) 管頂側の約180°の範囲を視覚調査でき、撮影画像から管内面の劣化度を的確に診断できること
- 6) 空気弁から30mの範囲を視覚調査・診断可能であること

4. 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がある腐食危険推定箇所を効率的に絞り込む。

ここでは、「下水道圧送管路における硫酸腐食箇所の効率的な調査技術導入ガイドライン(案)」(国土交通省国土技術政策総合研究所)、及び「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)の机上スクリーニングの実施に関する留意事項」(同下水道研究部下水道研究室)を取りまとめた机上スクリーニング手法を示す。

机上スクリーニングの手順を図2に示す。

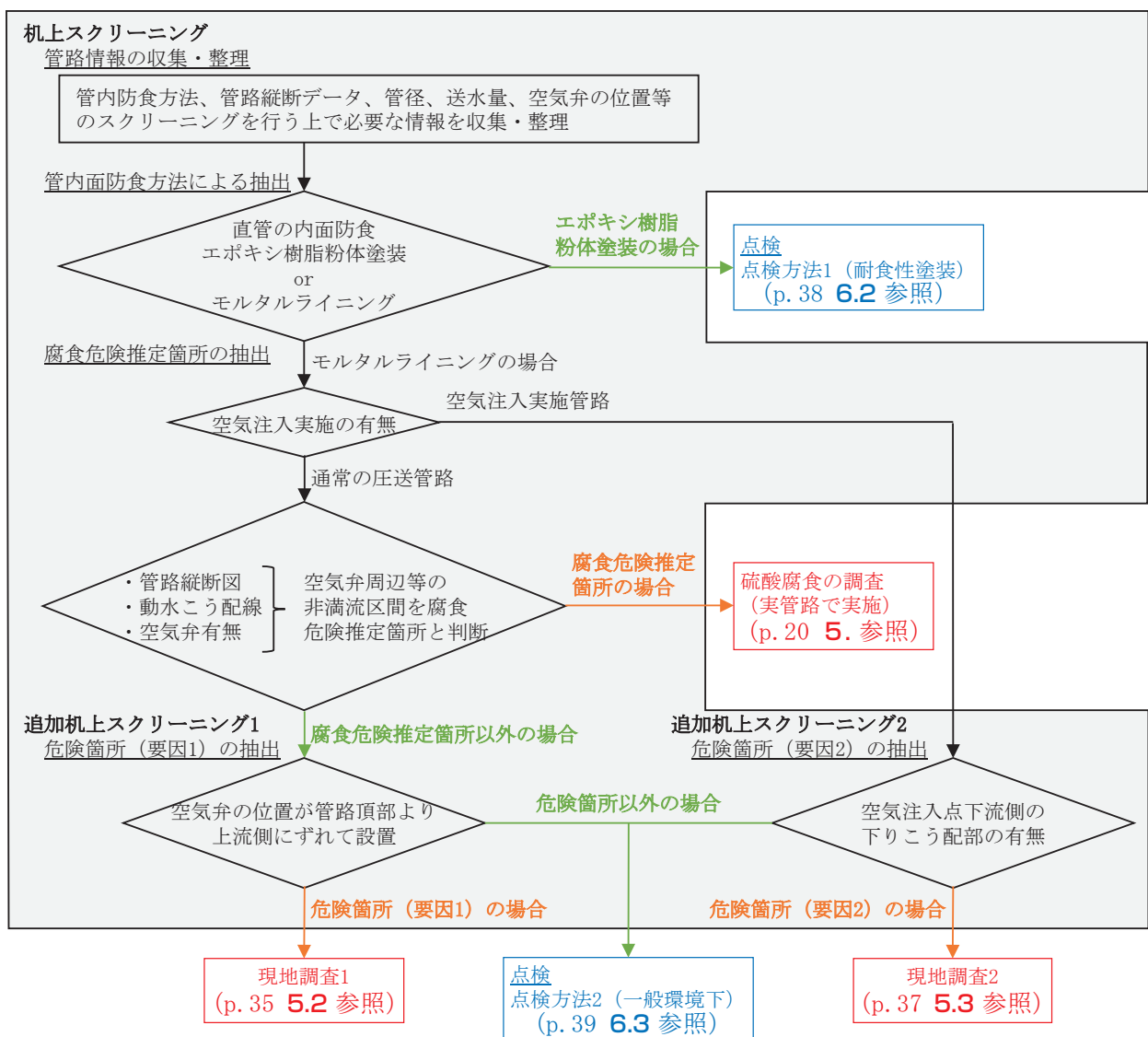


図2 机上スクリーニング及び追加机上スクリーニングの手順

4. 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、表 1 に示す管路情報を収集して整理する。

表 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 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		
空気弁の位置	腐食危険推定箇所 危険箇所(要因 1) 危険箇所(要因 2)	の判断
吐出し先の状況		
空気注入実施の有無		—
供用開始年	参考情報	—
過去の事故事例		—

(1) 管内面防食方法

ダクタイル鉄管の管内面防食方法の製品規格を表 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 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 铸铁管)	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 (新鮮な空気の入出力有無) 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 3 参照)。

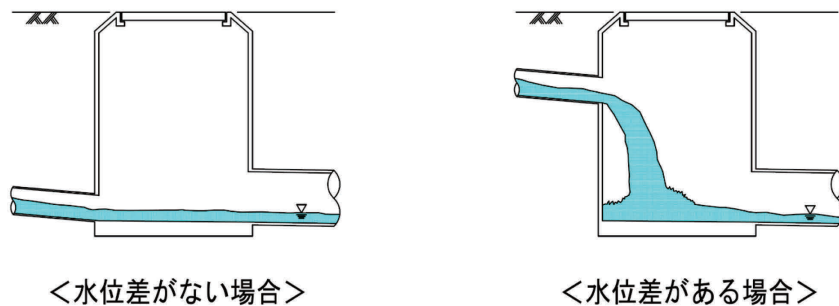


図3 マンホール内の水位差

(7) 空気注入実施の有無

腐食危険性の判断 (新鮮な空気の供給) のために、空気注入実施の有無と注入点を確認する。

(8) 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。

(9) 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 管内面防食方法による抽出

ダクタイル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、硫酸腐食の可能性がある管路を効率的に抽出できる。

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、空気溜ま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できることから、腐食危険推定箇所から除外するものとする(表3参照)。

表3 ダクタイル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. 3 腐食危険推定箇所の抽出

2. 下水道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、例えば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4参照)。

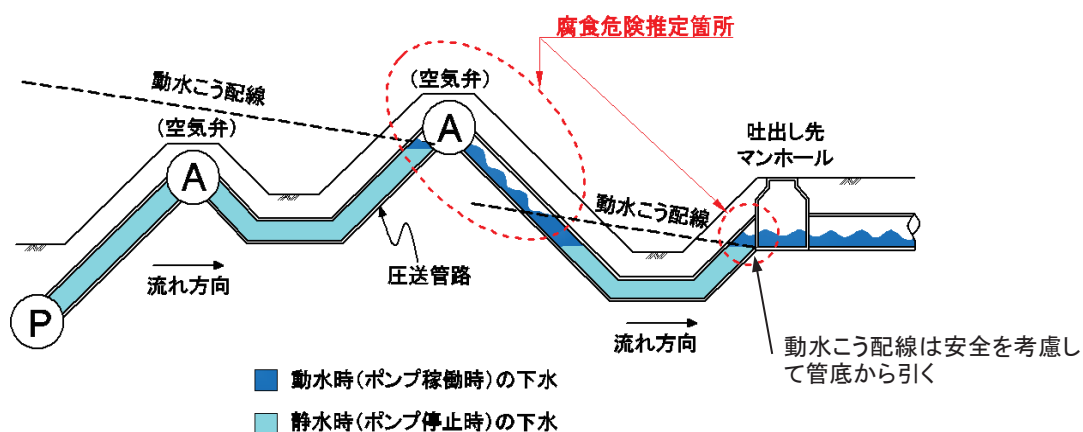


図4 圧送管路の腐食危険推定箇所

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。

(1) 動水こう配の計算

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

$$I = 10.666 \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85}$$

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*1))

D：管径 (m)

Q：流量 (m³/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

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り、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5参照)。

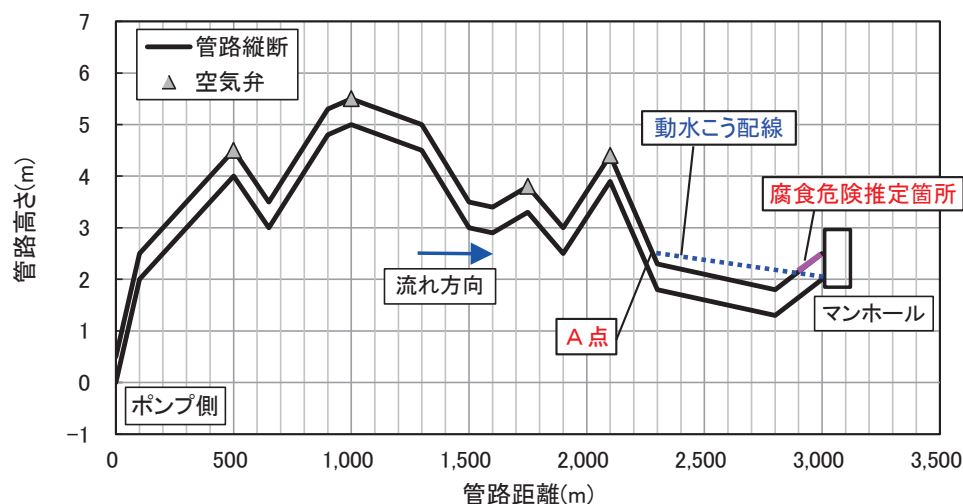


図5 腐食危険推定箇所の抽出①(吐出し先マンホールの場合)

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とが交わった点をA点とする(図6参照)。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。

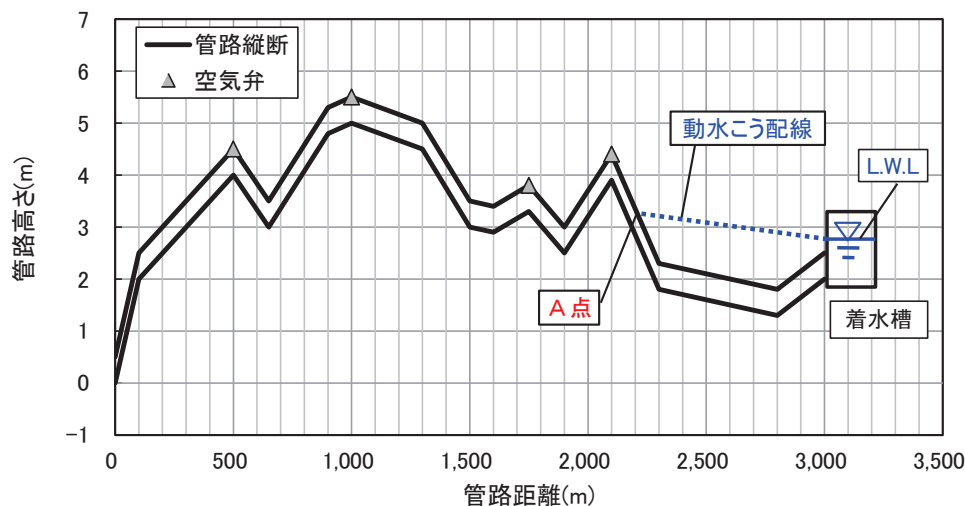


図6 腐食危険推定箇所の抽出①(吐出し先着水槽の場合)

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7参照)。

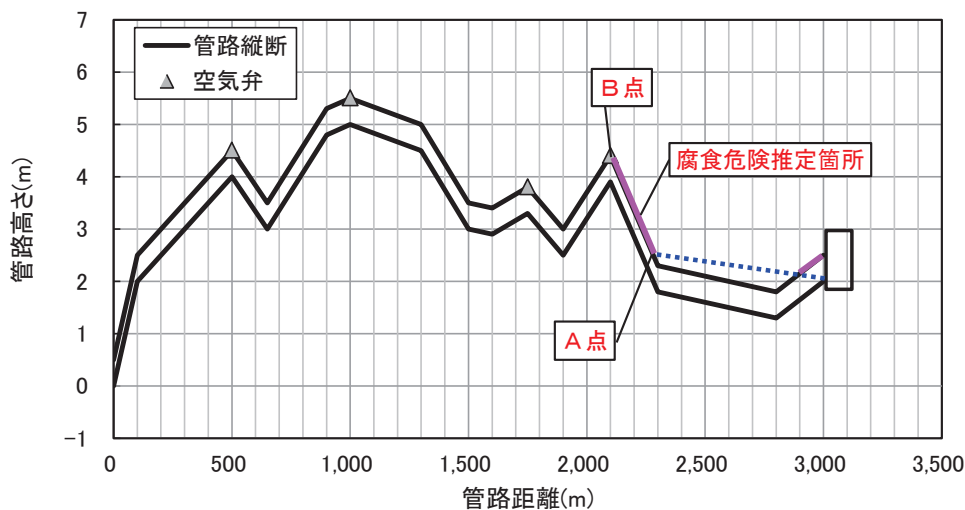


図7 腐食危険推定箇所の抽出②

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8参照)。

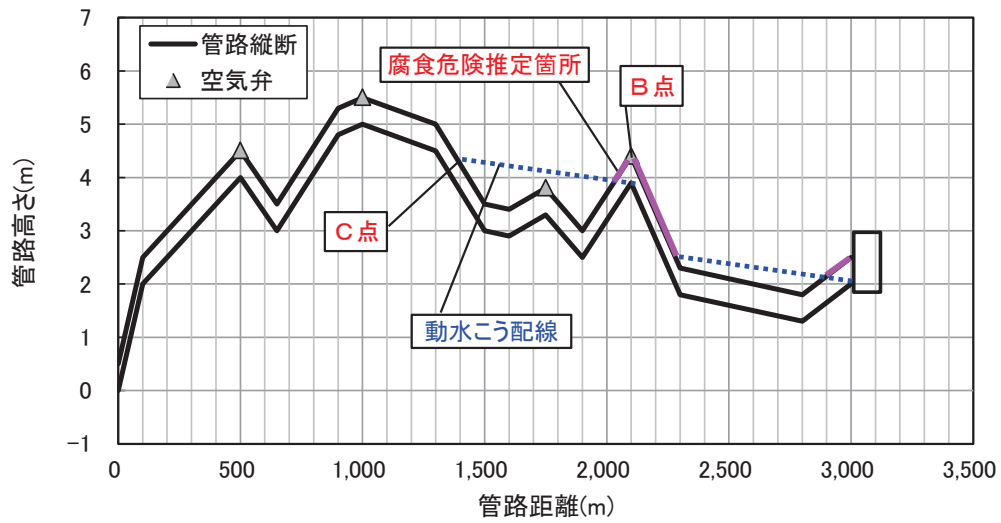


図8 腐食危険推定箇所の抽出③

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9参照)。

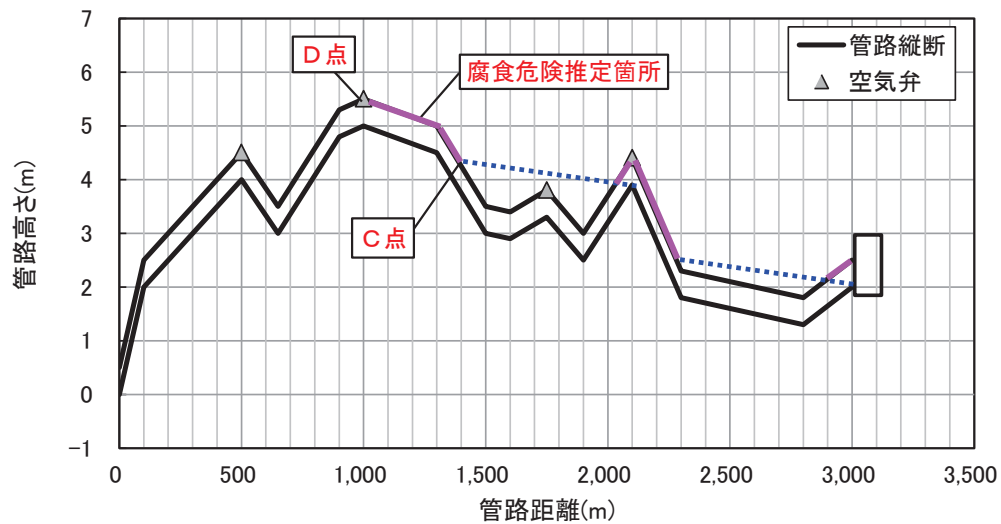


図9 腐食危険推定箇所の抽出④

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10参照)。

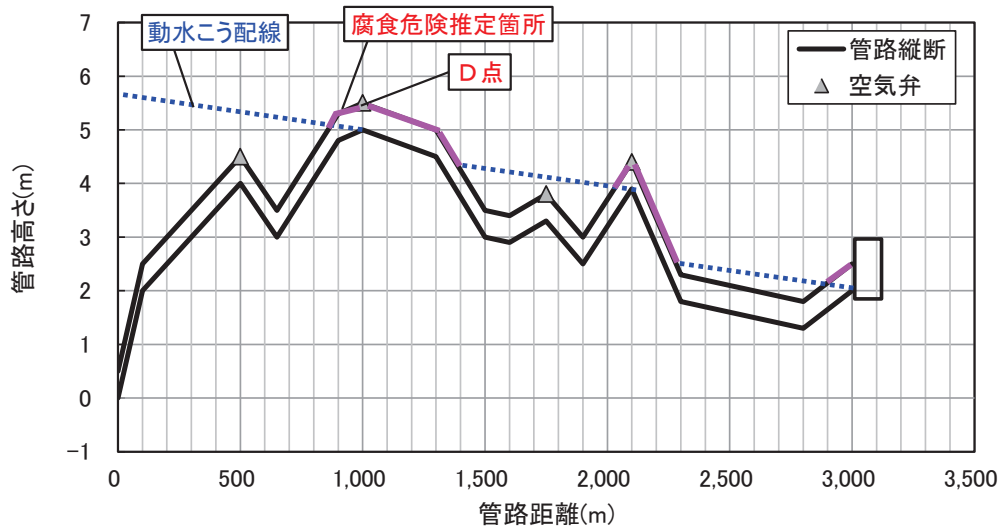


図10 腐食危険推定箇所の抽出⑤

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11に示す。

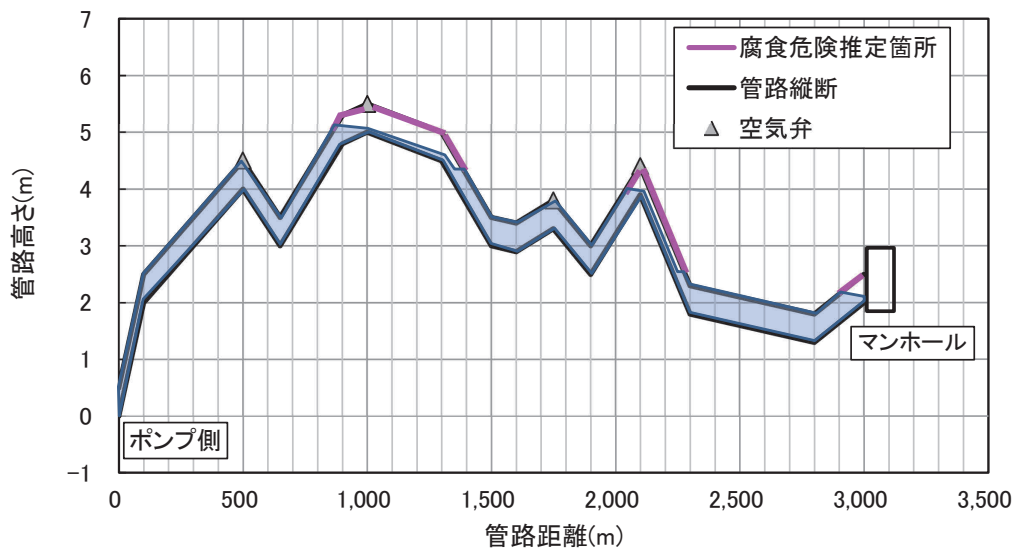


図11 管内の下水の流れのイメージ(ポンプ稼働時)

(3) 留意事項

管径が大きい場合は管内に空気溜まりができやすく、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12参照)。

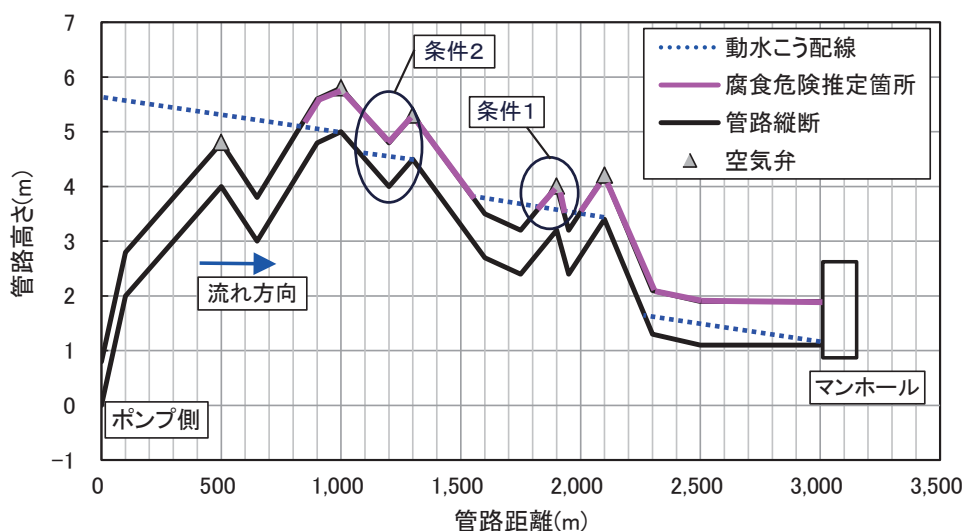


図12 管径が大きい場合の検討事例(管径800mmの事例)

1) 条件1

図12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12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13に示す。

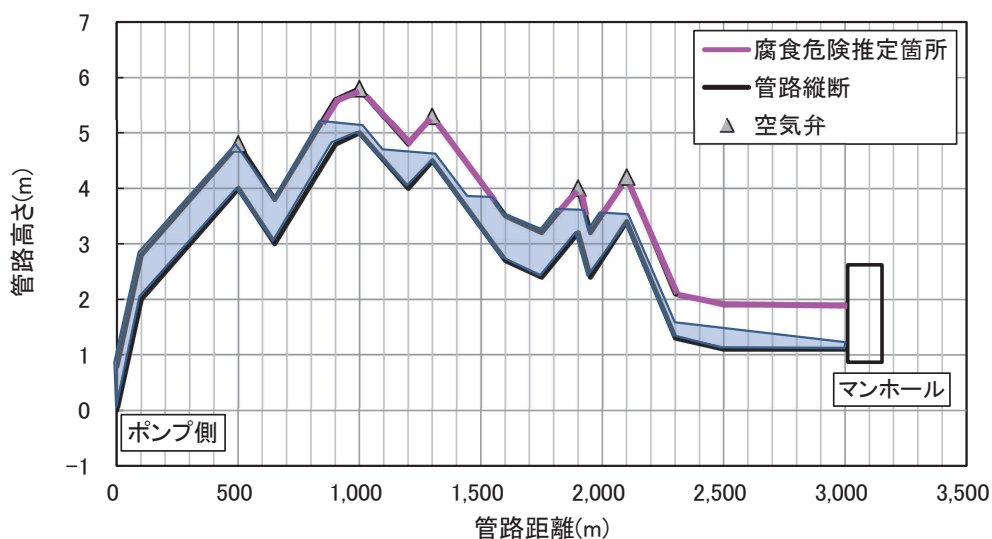
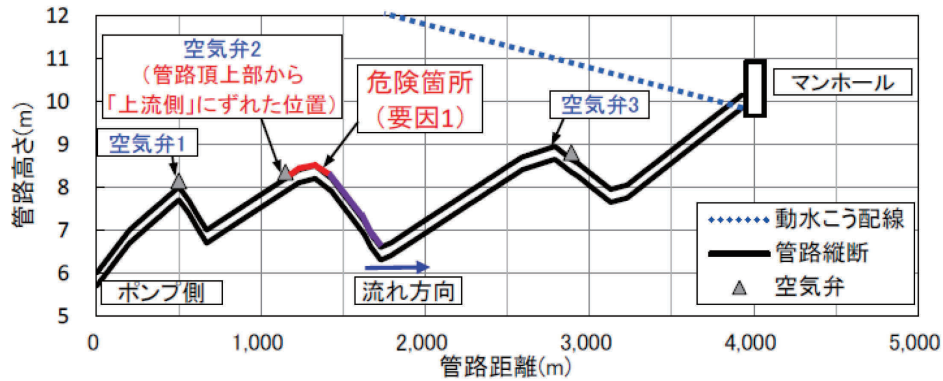


図13 管内の下水の流れのイメージ(ポンプ稼働時)

4. 4 危険箇所（要因1）の抽出

追加机上スクリーニング1では、空気弁の位置に起因した腐食危険推定箇所を抽出する。圧送管路では、ポンプ停止直後に水の流れが急激に変化することで、管路内に一時的に負圧が発生することがある（ウォーターハンマー現象）。負圧発生時に空気弁から吸気され、その空気が管路内に滞留し続ける場合に硫酸腐食が発生する。管路の位置（高さ）が動水こう配より低い場合でも、空気弁が管路頂上部から上流側にずれて設置されている箇所では管路内に空気が滞留する可能性があり、この空気弁の近傍または下流側を腐食危険推定箇所として抽出する。追加机上スクリーニング1のイメージを図14に示す。追加机上スクリーニング1で抽出された腐食危険推定箇所を、「危険箇所（要因1）」と呼ぶ。



備考) 図中の紫線の範囲の腐食発生の有無は空気弁の設置位置に依存

図14 追加机上スクリーニング1のイメージ

(1) 危険箇所（要因1）のケース

空気弁が管路頂上部から上流側にずれて設置されている箇所においては、空気弁の位置（高さ）が腐食範囲に影響を及ぼすため、それを考慮してケースA、ケースBに分けてそれぞれの現象を示す。

1) ケースA（空気弁が管路頂上部から上流側に少しずれている場合：腐食範囲は限定的）

① 検討管路は、吐出し先（マンホール）が管路縦断的に最も高く、通常は全線にわたりポンプ稼働時・停止時ともほぼ満流状態で下水が流れている（図15）。

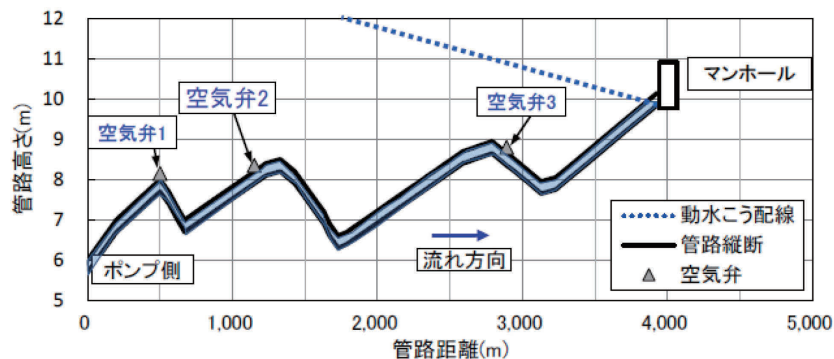


図15 管路内の下水の流れのイメージ

②ただし、ポンプ停止直後に水の流れが急激に変化することで、管路内に一時的に負圧が発生し(ウォーターハンマー現象)、空気弁から吸気される場合がある。特に、長距離管路や流速が大きい場合等にこうした負圧が発生しやすく、検討管路でも図16に示すように空気弁から吸気される可能性がある。この場合、ポンプが停止するたびに新鮮な空気が供給されることになる。

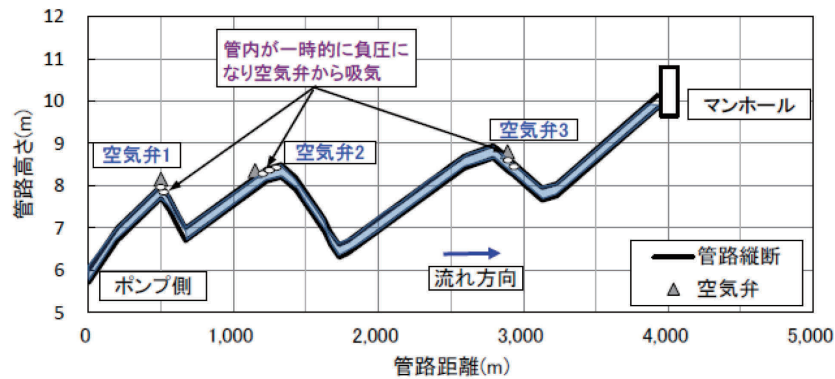


図16 空気弁からの吸気(ポンプ停止直後)

③空気弁は管路頂上部に設置されることが多く、その場合は吸気された空気は管路内の圧力変動が収まると同じ空気弁から速やかに排気されるため、こうした空気弁の周辺では硫酸腐食は発生しない(図17の空気弁1)。

④空気弁が管路頂上部から上流側にずれて設置されている場合は、吸気された空気は圧力変動が収まっても排気されず、管路内に滞留する(図17の空気弁2)。その結果、空気弁2の下流側は常に気相部が存在することになる。また、②で示したように、ポンプ停止の都度新鮮な空気が供給されるため、硫酸腐食発生の条件を満たすことになる。

⑤一方、空気弁が管路頂上部から下流側にずれて設置されている場合には、吸気された空気の大半は最終的に同じ空気弁から排気されるため、その周辺で硫酸腐食が発生する可能性は低いと推測される(図17の空気弁3)。

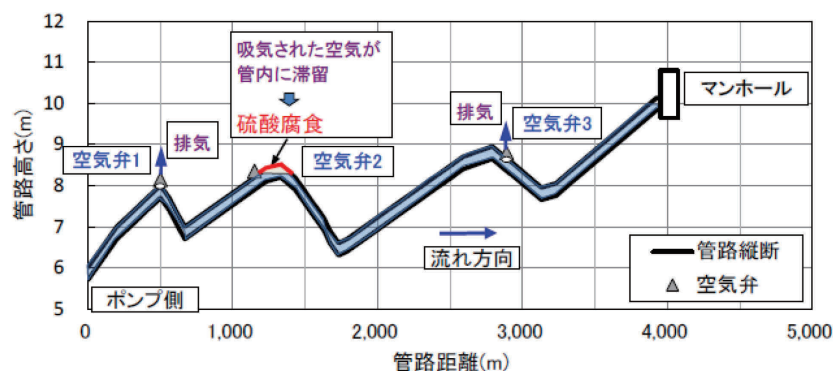


図17 管路内の空気滞留

2) ケースB (空気弁が管路頂上部から大きくずれている場合：腐食範囲は広範囲)

①図18に示すように、空気弁2が管路頂上部から大きく離れた上流側(管路縦断的に低い位置)に設定されている場合について検討する。なお、管路縦断はケースAと同じとした。

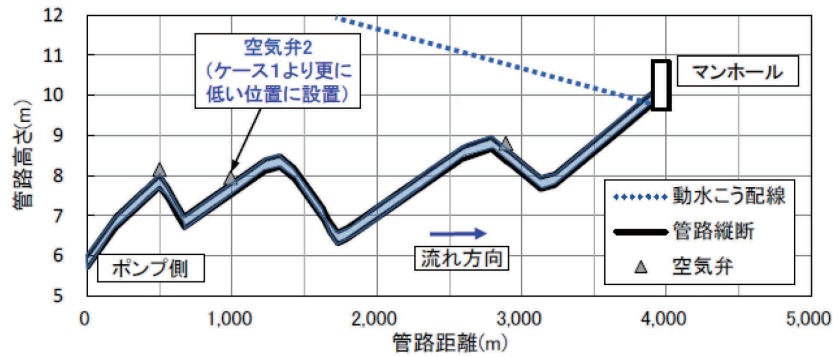


図18 空気弁が管路頂上部から大きくずれている場合(ケースB)

②ケースAと同様にポンプ停止直後に空気弁から管路内に吸気され、これを繰り返すことで、管路頂上部付近に空気が滞留していく(図19)。

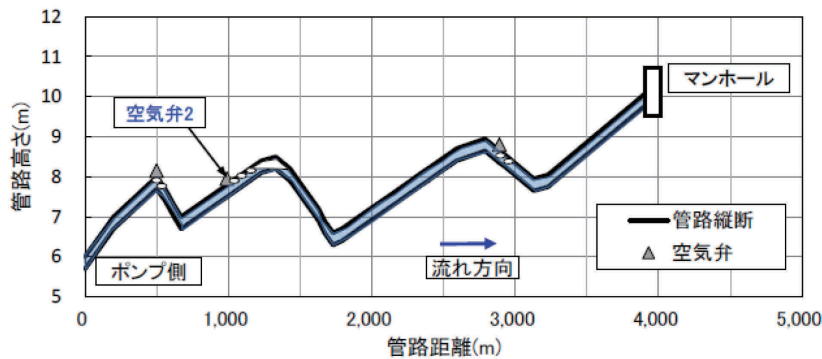


図19 管路内の空気滞留

③空気弁2が低い位置に設置されているため、管路内の圧力変動が収まっても滞留した空気は空気弁2から排出されない。そのため、空気弁2からの吸気が進むに従い、管路頂上部の更に下流側にも空気が滞留していくようになる。最終的には、管路頂上部下流側の下りこう配部のほとんどの区間で気相部が存在するようになる(図20)。

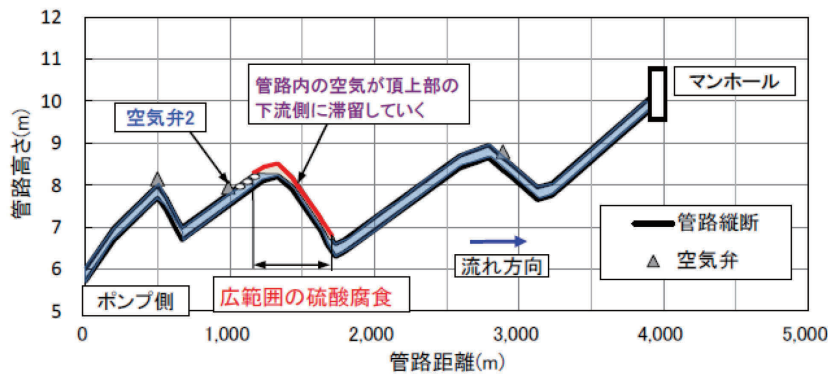


図20 広範囲にわたる硫酸腐食

このように、ケースBでは、「管路頂上部の下流側の下りこう配部」が広範囲にわたって硫酸腐食する可能性がある。実際は、ポンプ稼働時には下水が流れるため、下りこう配部が全て気相部になることはないが、気相部となる範囲を正確に予測することは困難なため、下りこう配部は全線で硫酸腐食の可能性があるとし安全側で評価することとした。

3) ケースAとケースBの境界

前述のように、空気弁の設置位置によって硫酸腐食の範囲が大きく異なる。どちらのケースに相当するか、以下の手順で判断する(図21)。

①空気弁が設置されている箇所の管頂高さH1を確認する。

②管路頂上部の管底高さH2を確認する。

③H1とH2を比較して、以下のように判断する。

- ・ H1の方がH2より高いまたは双方が同じ高さ(赤の空気弁)

- 空気弁から排気され、腐食範囲は限定的(: ケースA)

- ・ H1の方がH2より低い(青の空気弁)

- 空気弁から排気されず、下流側にも空気が滞留し腐食範囲は広範囲(: ケースB)

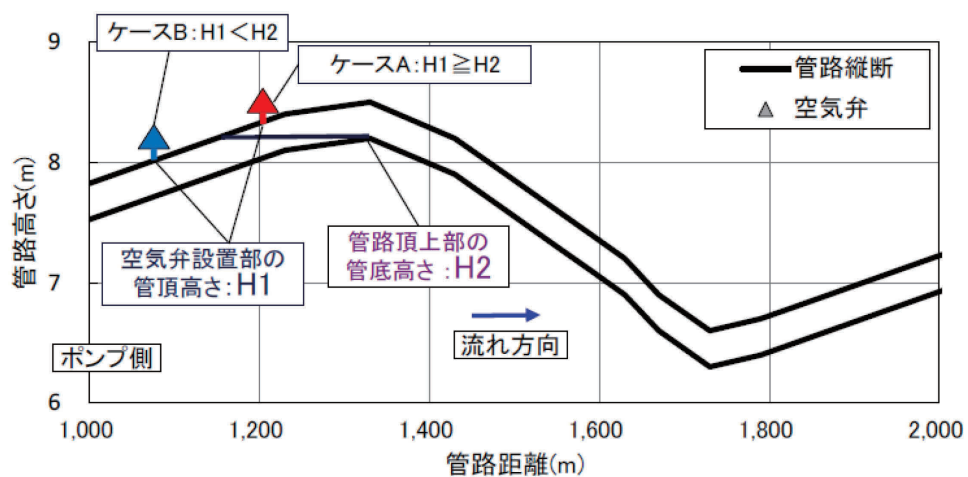


図21 ケースAとケースBの境界

(2) 危険箇所(要因1)の抽出手順

モデル管路を事例として、危険箇所(要因1)の抽出手順を以下に示す。

①閉鎖状態の空気弁を除外

4.3 腐食危険推定箇所の抽出で腐食危険推定箇所と判断されなかった全ての空気弁(図22の青色の空気弁)を対象に、空気弁(補修弁)の開閉状況を確認する。補修弁が閉鎖(空気弁が吸排気しない)状態で運用されている場合は、検討から除外する。

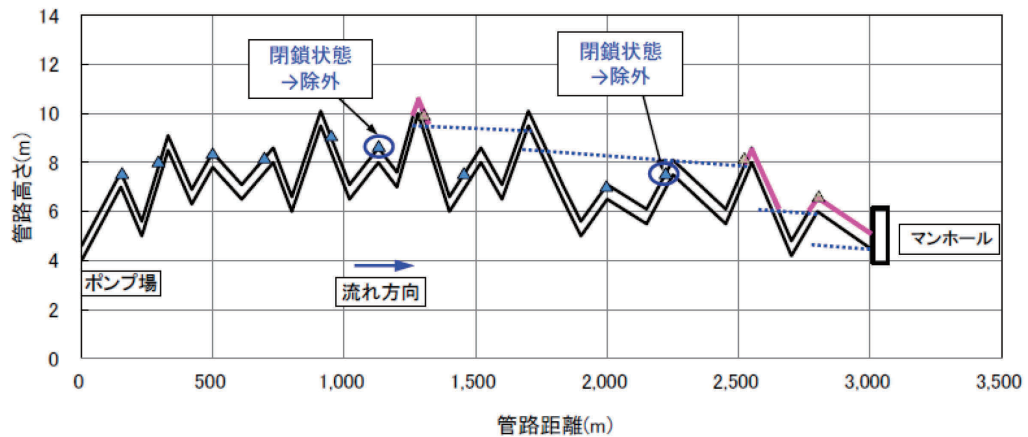


図22 閉鎖状態の空気弁を除外

②管路頂上部から上流側にずれた空気弁の抽出

①で選出された全ての空気弁の設置位置を図面上で確認し、空気弁が管路頂上部から上流側にずれて設置されているものを抽出する(図23の赤色の空気弁)。また、抽出した空気弁を対象に、空気弁と管路頂上部との高さ関係を確認し、腐食危険範囲がケースAとケースBのどちらに該当するか判断する。

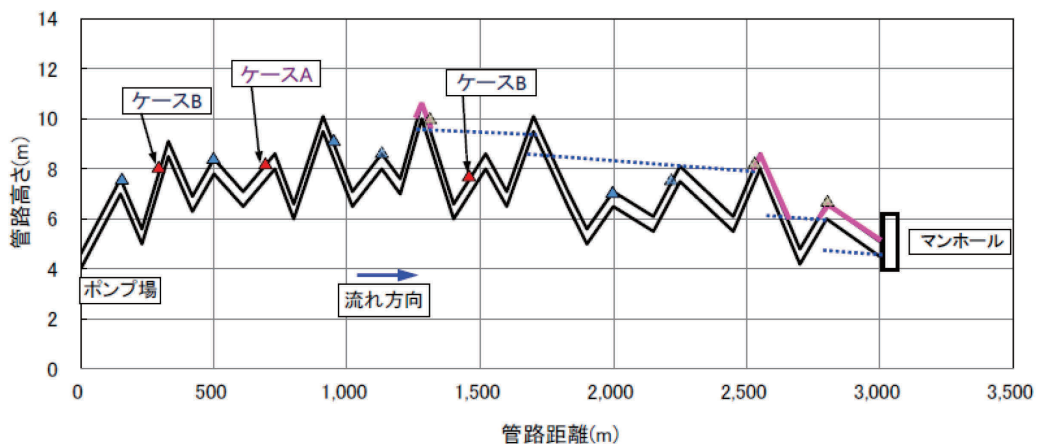


図23 管路頂上部から上流側にずれた空気弁の抽出

③気相部ができる可能性がある範囲の抽出

②で抽出した空気弁を対象に、気相部ができる可能性がある範囲(危険箇所(要因1))を抽出する(図24)。ケースAの場合、管路頂上部近傍の限定された範囲が危険箇所となる。一方、ケースBの場合には、管路頂上部の下流側の下りこう配部を全線にわたり危険箇所とする。図中の危険箇所③のように下流側に空気弁が設置されていない(または閉鎖状態で運用されている)場合は、更にその下流側の下りこう配部も危険箇所と判断する。

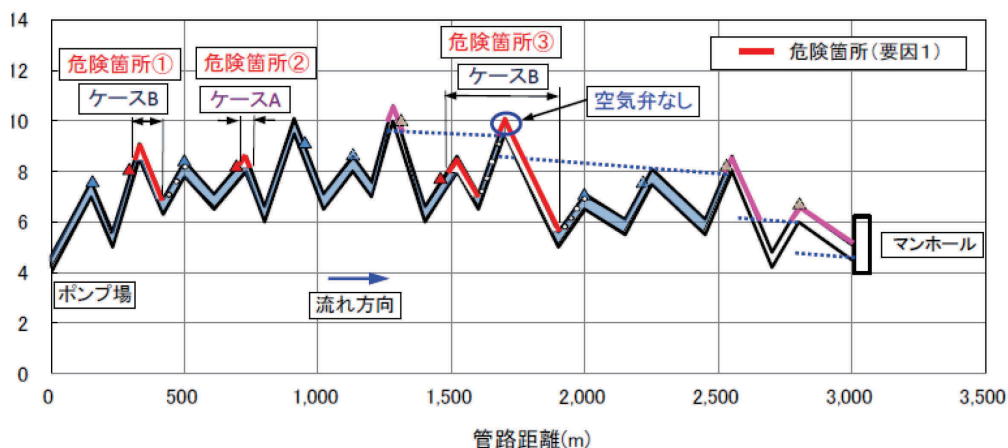


図24 危険箇所(要因1)の抽出

4.5 危険箇所(要因2)の抽出

追加机上スクリーニング2では、空気注入実施に起因した硫酸腐食の危険箇所を抽出する。

硫化水素対策として空気注入を行っている圧送管路が検討対象となる。圧送管路に流入する下水中に硫化物が既に含まれている場合、それが空気注入により気相中に硫化水素として放散されることで、空気注入点の近傍で硫酸腐食が発生する可能性がある。そのため、空気注入点下流側の下りこう配部(空気溜まり発生箇所)を腐食危険推定箇所として抽出する。追加机上スクリーニング2のイメージを図25に示す。なお、追加机上スクリーニング2で抽出された腐食危険推定箇所を、「危険箇所(要因2)」と呼ぶ。

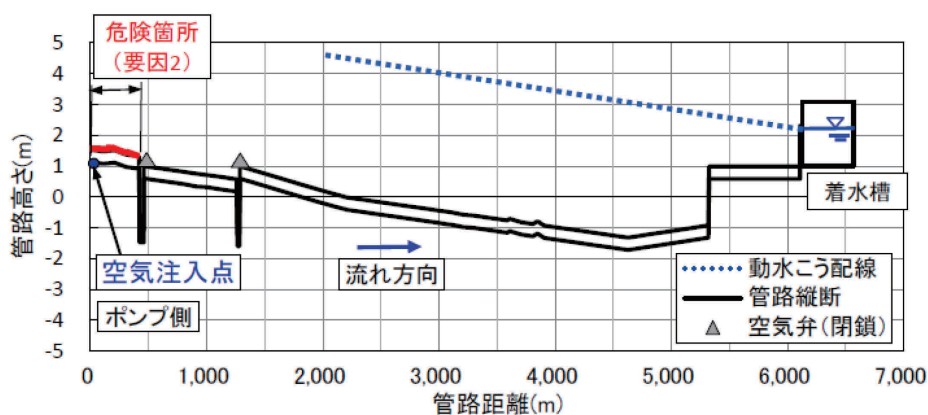


図25 追加机上スクリーニング2のイメージ

危険箇所(要因2)の抽出手順を以下に示す。

- ①空気注入点から500mの範囲の下りこう配部(空気溜まりができる箇所)を、危険箇所(要因2)として抽出する(図26)。
- ②上りこう配部及び水平部では間欠流で流れ、空気溜まりはできないものとする(図27)。

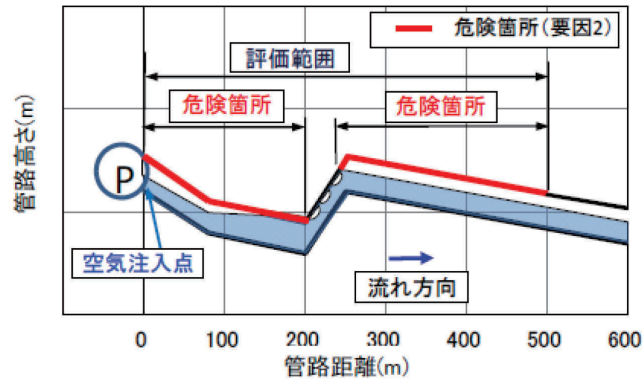


図26 管路内の空気溜まりのイメージ(下りこう配部)

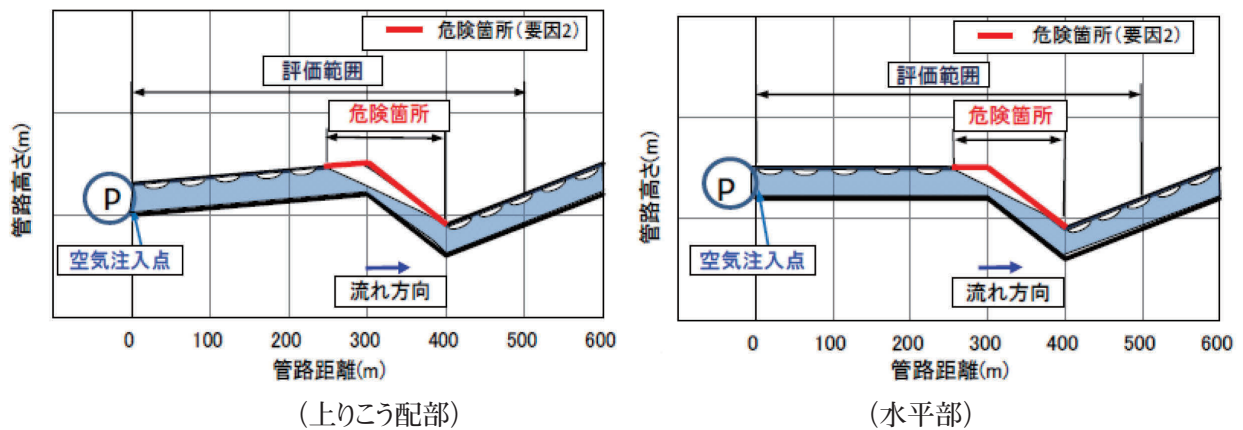


図27 管路内の空気溜まりのイメージ

4. 6 各机上スクリーニングの特徴の整理

机上スクリーニングと追加机上スクリーニングの特徴を、表4に示す。

表4 机上スクリーニングの特徴

項目	机上スクリーニング	追加 机上スクリーニング1	追加 机上スクリーニング2
腐食形態	硫酸腐食(管頂側のみが内面腐食)		
腐食発生条件	①管路内に気相部が存在する、②新鮮な空気が供給される、③耐食性の乏しい内面防食方法が使用されている、の3つが重なったときに発生		
対象管路	通常の圧送管路		空気注入を実施している圧送管路
腐食危険推定箇所	空気弁周辺の非満流区間と吐出し先マンホール上流部	管路頂上部から上流側にずれて設置された空気弁の近傍または下流側	空気注入点の下流側の下りこう配部
検討対象箇所	圧送管路の全区間	机上スクリーニングで腐食危険推定箇所ではないと評価された区間	空気注入点から500mの範囲
腐食発生箇所の管路内の圧力	内水圧ゼロ	内水圧あり(空気弁を取り外すと下水が溢れる状態)	
現地調査方法	視覚調査(空気弁から調査機器を管路内に挿入して腐食状況を直接確認)	超音波調査(管外面から超音波探傷機で管厚を測定)	
留意事項	腐食発生箇所は内水圧がかかっていないため、管内面が激しく腐食していても問題が顕在化されにくい	腐食発生箇所は内水圧が負荷されているため、漏水事故が発生したときに影響が大きい	

5. 硫酸腐食の調査手法

5. 1 腐食危険推定箇所への調査

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。

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も満水状態のため、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、4. 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)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28参照)。

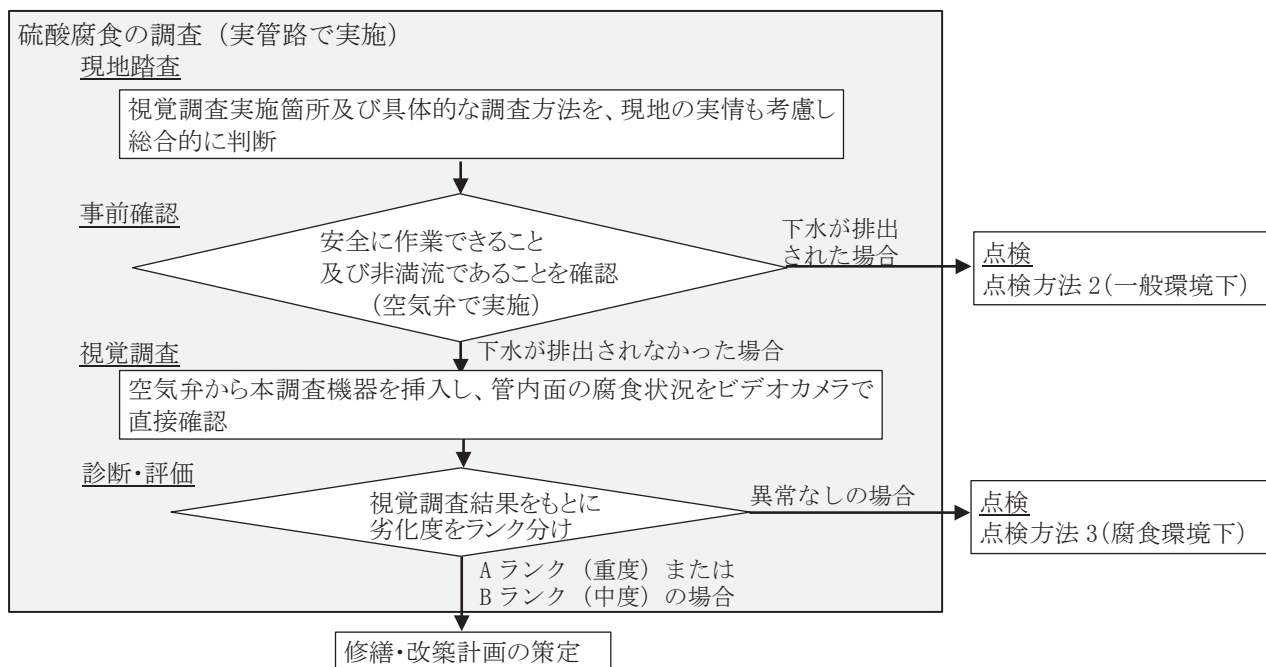


図28 硫酸腐食の調査手順

5. 1. 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 視覚調査箇所及び調査方法を検討する上での留意事項

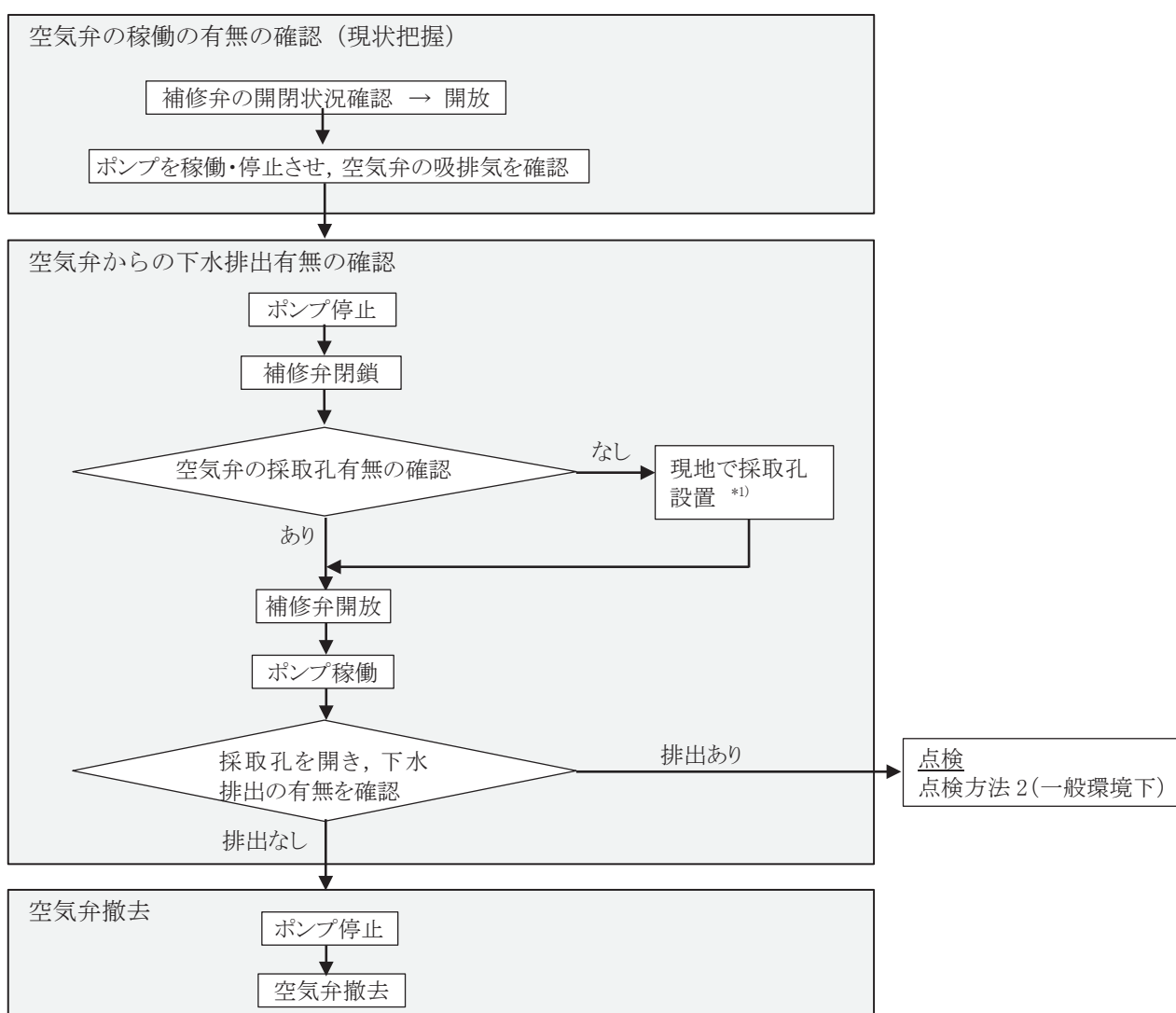
留意点	内 容
視覚調査業務を行うことによる周辺への影響の大きさ	<ul style="list-style-type: none">・渋滞発生時の道路交通への影響・周辺住民の生活への影響・周辺の学校、医療機関や企業活動に対する影響等
視覚調査実施のための仮設の要否とその費用	<ul style="list-style-type: none">・空気弁(水管橋)までの作業道が設置されていないとき等に検討が必要
他の調査結果からの類推の可否	<p>周辺への影響や仮設を考慮して視覚調査実施が困難と判断した場合には、以下に示す他の調査結果から、腐食状況を類推することを検討する。</p> <ul style="list-style-type: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

5. 1. 2 事前確認

視覚調査は、ポンプ停止状態で空気弁から調査機器を挿入し、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29参照)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。

図29 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30参照)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。

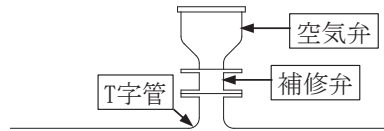


図30 補修弁の設置例

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6のように判断する。

表6 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1に採取孔の設置事例を、写真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2参照)。



写真1 空気弁の採取孔設置状況の例

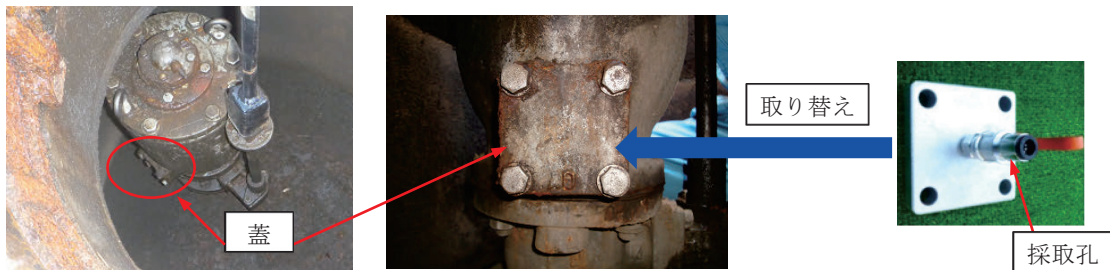


写真2 空気弁に設置された蓋と採取孔設置の例

<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7のように判断する。

表7 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。

5. 1. 3 視覚調査例

「下水道圧送管路における硫酸腐食箇所の効率的な調査技術導入ガイドライン(案)」(国土交通省国土技術政策総合研究所)に取りまとめられた、腐食危険推定箇所の視覚調査手法の例を示す。

5. 1. 3. 1 視覚調査の概要

視覚調査は、空気弁(口径75mm)から挿入可能な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31に示す。

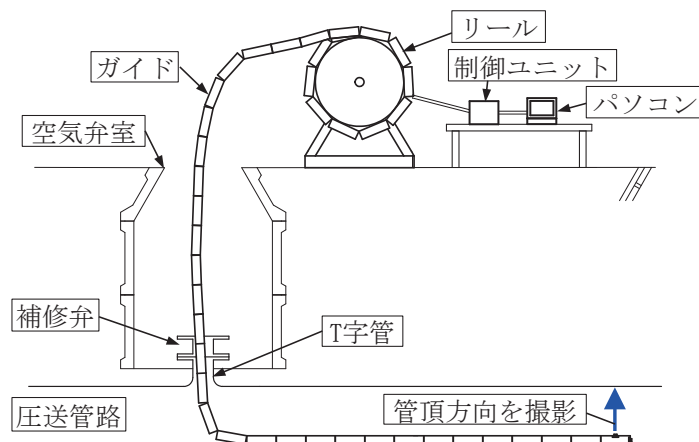


図31 調査機器のイメージ

5. 1. 3. 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) 調査機器の挿入可能箇所

調査機器は、空気弁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、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。屈曲がある管路線形においては、事前に縦断・平面図により対応可否を検討する必要がある。

(5) 対象管径

圧送方式が広く用いられている幹線管きよへの対応、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

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、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。

(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. 1. 3. 3 調査機器

調査機器のシステムの概要を図32に、仕様を表8に示す。

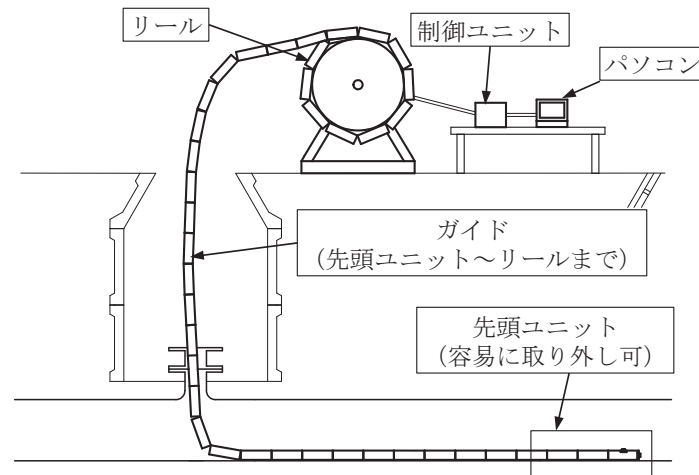


図32 調査機器のシステムの概要

表8 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 1 m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
その他	適用管径	200mm～1000mm
	全 重 量	150kg(調査距離30m)
	照 明	LED照明：100lm相当以上

5. 1. 3. 4 視覚調査の手順と留意事項

視覚調査は、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。

視覚調査の手順を図33に示す。

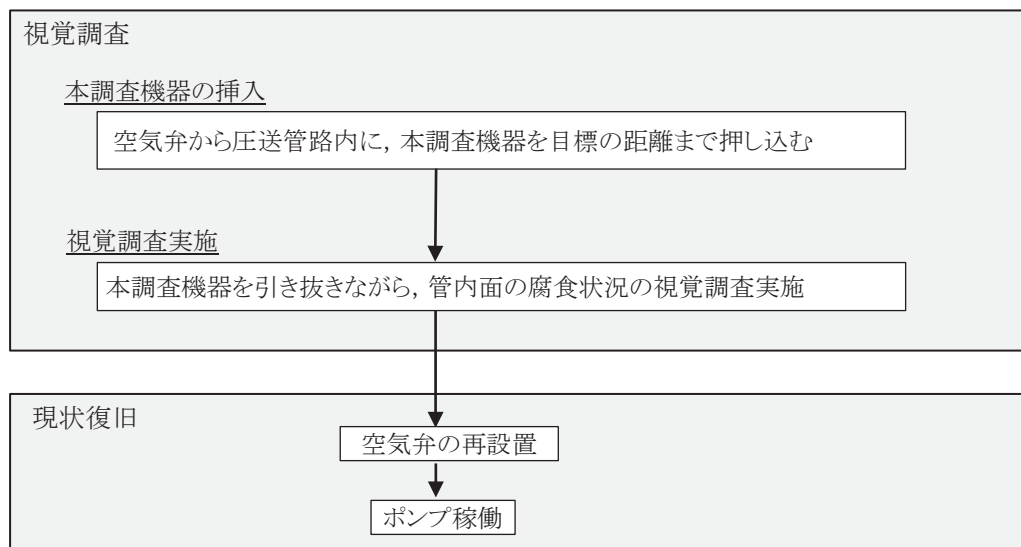


図33 視覚調査の手順

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3参照)。



写真3 調査機器挿入の状況

②その後、3～6 m/minの速度を目安に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、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、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4参照)。そこで、管径600mm以上については、図34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調査機器を押し込む。また、管径が600mm未満の場合も、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4 逆方向屈曲状況

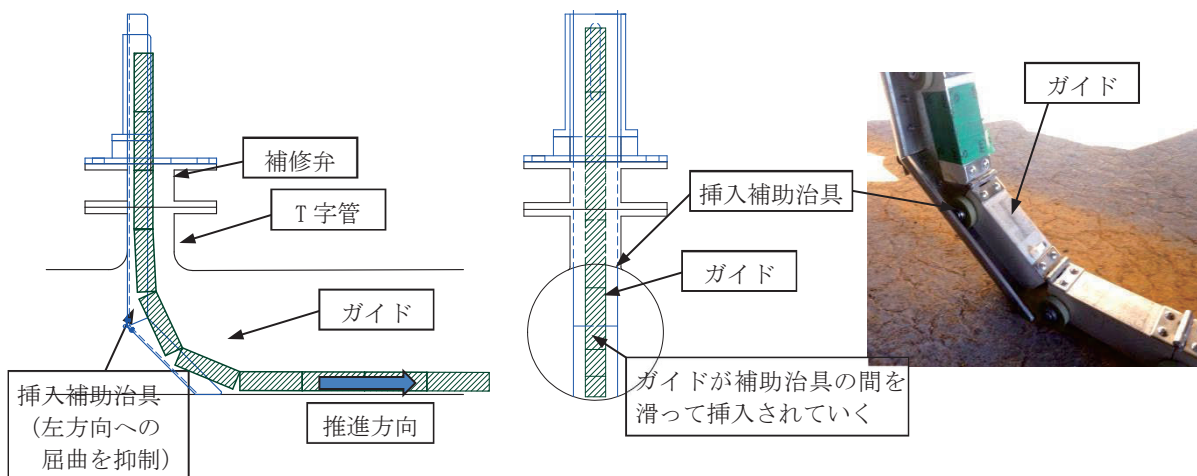


図34 挿入補助治具

(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、及び腐食や劣化が見られるボルト・ナットについては、新しいものと取り換えることとする。

その後、ポンプを稼働して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。

5. 1. 4 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. 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時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プロジェクトにおける実証研究で、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、表 9 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10に示す。

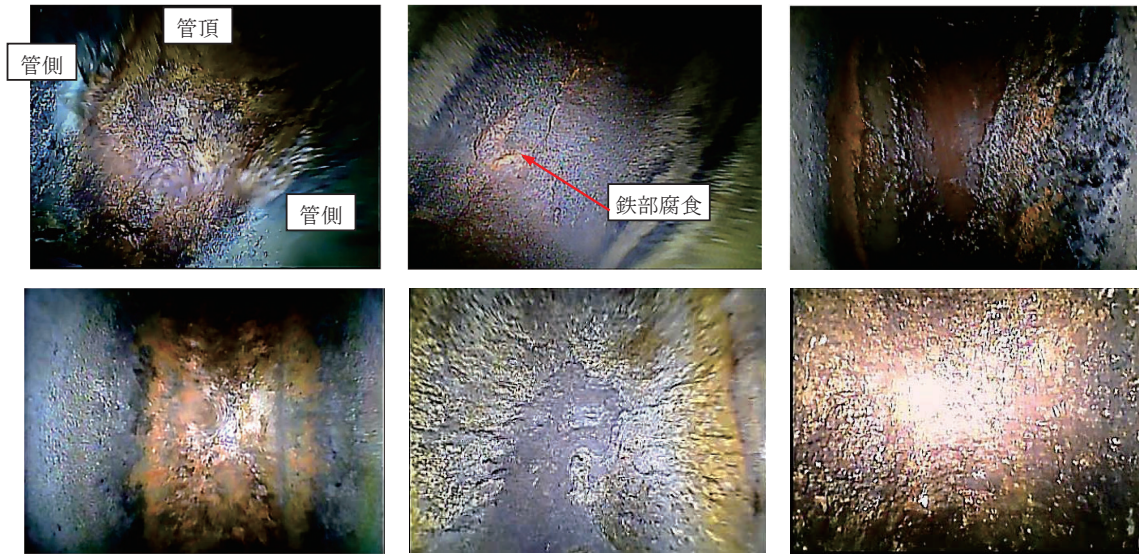
表9 圧送管路の劣化度のランク分け

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
異常なし	モルタルライニング表面が全面均一*1)

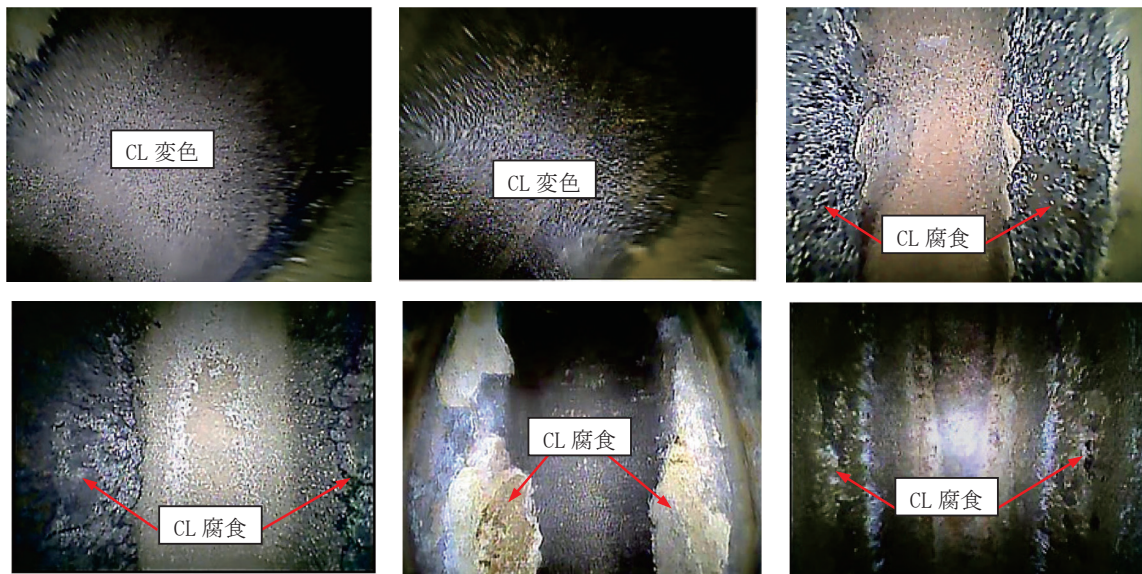
*1) モルタルライニング表面に生物膜が付着していることが多い。

表10 劣化度毎の調査事例(管頂側約180°を撮影)

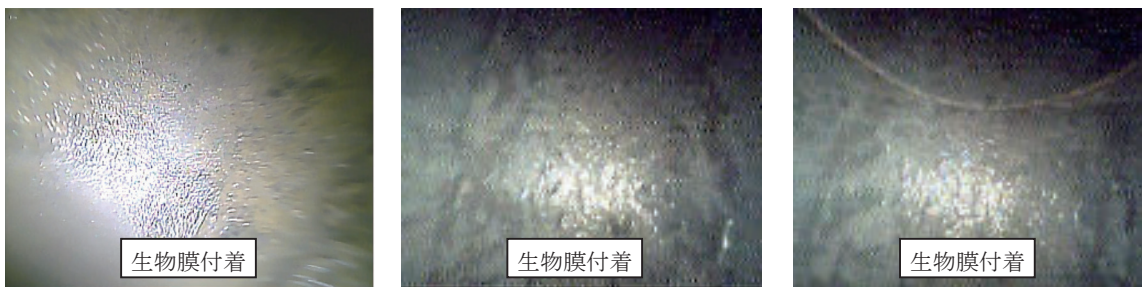
劣化度：Aランク(鉄部露出、発錆あり)



劣化度：Bランク(モルタルライニング(CL)表面が部分的に変色、腐食発生)



劣化度：異常なし(モルタルライニング表面が全面均一)



(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。

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、「腐食の恐れの高い箇所」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11に示す。

表11 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

5. 1. 5 デジタルカメラを用いた調査

圧送管路の場合、河川等を横断する場合には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、腐食危険推定箇所該当することが多い。しかしながら、水管橋に設置されている空気弁から調査機器を用いて視覚調査を行うためには、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35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12に、デジタルカメラ調査状況を写真5及び写真6にそれぞれ示す。この方法で、空気弁から5 m程度の管内面の腐食状況を確認することができる。

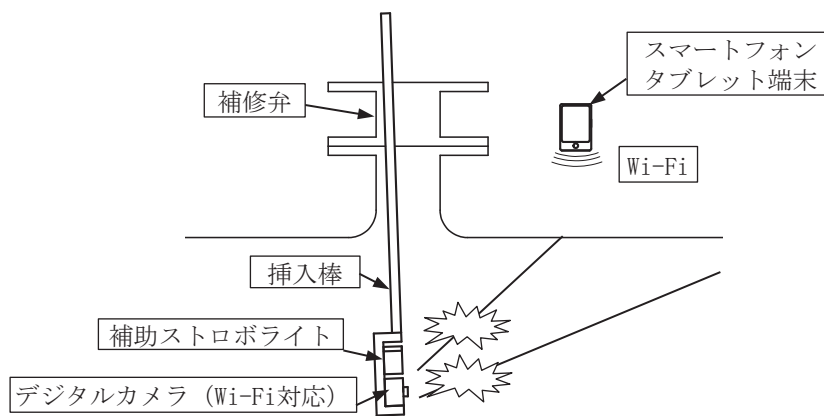


図35 デジタルカメラを用いた視覚調査

表12 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"> 空気弁から挿入可能 管径200mm～1000mmに対応可能 	<ul style="list-style-type: none"> 大きさ：縦100mm、横60mm、高さ25mm以下 Wi-Fiでリモート操作可能 挿入棒に取り付け可能
ストロボライト*1)	<ul style="list-style-type: none"> 空気弁から5 mの範囲を視覚調査可能 地上から操作可能 	<ul style="list-style-type: none"> 大きさ：縦100mm、横60mm、高さ25mm以下 ガイドナンバー：18以上 バッテリーで稼働 スレーブ機能付き 挿入棒に取り付け可能

*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2 m程度となる。

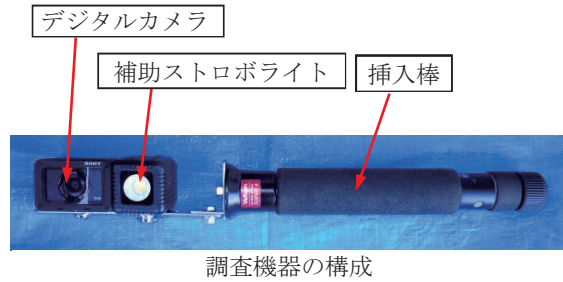


写真5 デジタルカメラ調査状況(空気弁室での調査)



写真6 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. 1. 4 診断・評価方法と同様に、管内面の劣化度を表13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14に示す。

表13 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
異常なし	モルタルライニング表面が全面均一*1)

*1) 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14 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。

5. 2 危険箇所（要因1）の調査

5. 2. 1 現地調査1の手順

追加机上スクリーニング1で、危険箇所（要因1）として抽出された箇所を対象とした現地調査（現地調査1）の手順を図36に示す。

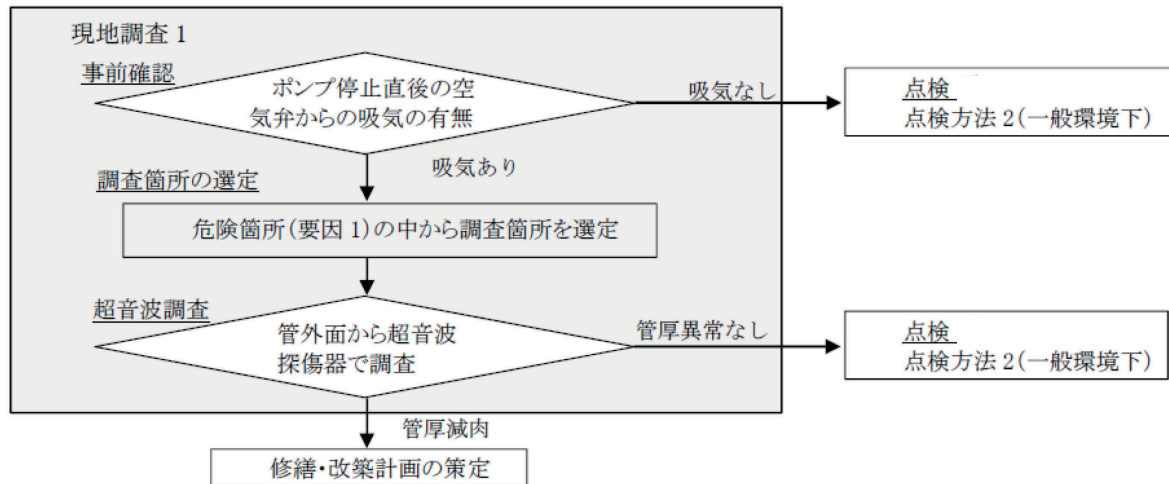


図36 現地調査1の手順

5. 2. 2 調査方法

5. 2. 2. 1 事前確認

ポンプ停止直後に管路内に負圧が発生するかどうかは、管路長、流速、管径、管路縦断等に影響され、全ての空気弁で負圧が発生するわけではない。そこで、追加机上スクリーニング1で危険箇所（要因1）であると判断した空気弁を対象に、ポンプ停止直後に空気弁から吸気しているか現地で確認する。吸気が確認された場合、腐食発生の可能性があると判断し、調査箇所の選定を行う。

5. 2. 2. 2 調査箇所の選定

現地踏査を行い、道路交通状況や周辺環境等も考慮しながら、危険箇所（要因1）の中から最適な調査箇所を選定する。

5. 2. 2. 3 超音波による調査

調査対象の管路内には常に水圧が負荷されており、空気弁を取り外すと下水が溢れるため、管路内に調査機器を入れて視覚調査を行うことは困難である。そこで、選定した調査箇所を対象に、管外面から超音波探傷器を用いて管厚調査を行う。

なお、本調査実施には調査用立坑の築造等により事前に管外面を露出させる必要がある。また、異形管の内面防食にはエポキシ樹脂粉体塗装が用いられていることが多いため、調査は直管（内面モルタルライニング）を対象に行うこととする。

超音波による調査の概要を以下に示す。

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15参照)。
- ・管内面の腐食の進行速度は一律ではなく、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7参照)。

表15 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>モルタルライニング</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)		

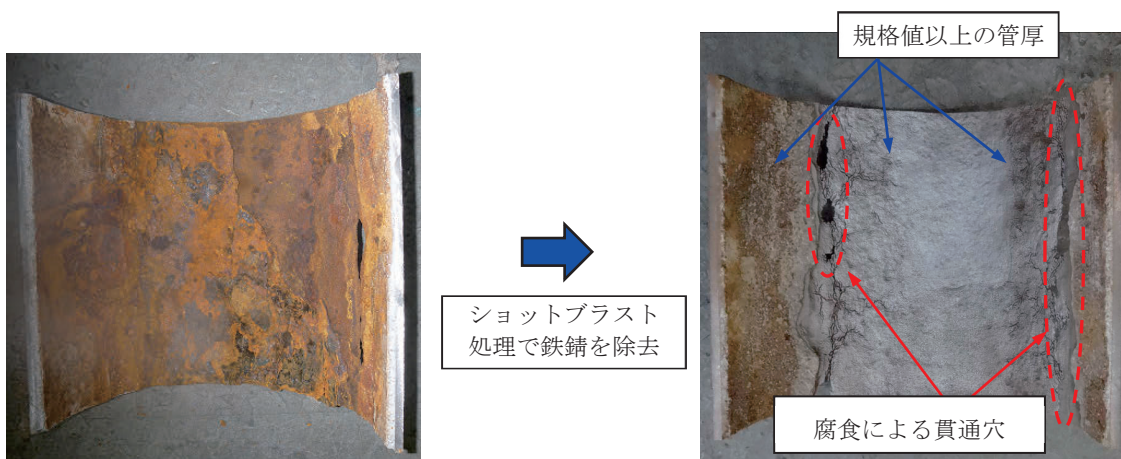


写真7 局所的な管内面の腐食進行
(腐食管の掘上げ調査事例：写真は管頂側約180°の管片)

5.3 危険箇所(要因2)の調査

5.3.1 現地調査2の手順

追加机上スクリーニング2で、危険箇所(要因2)として抽出された箇所を対象とした現地調査(現地調査2)の手順を図37に示す。

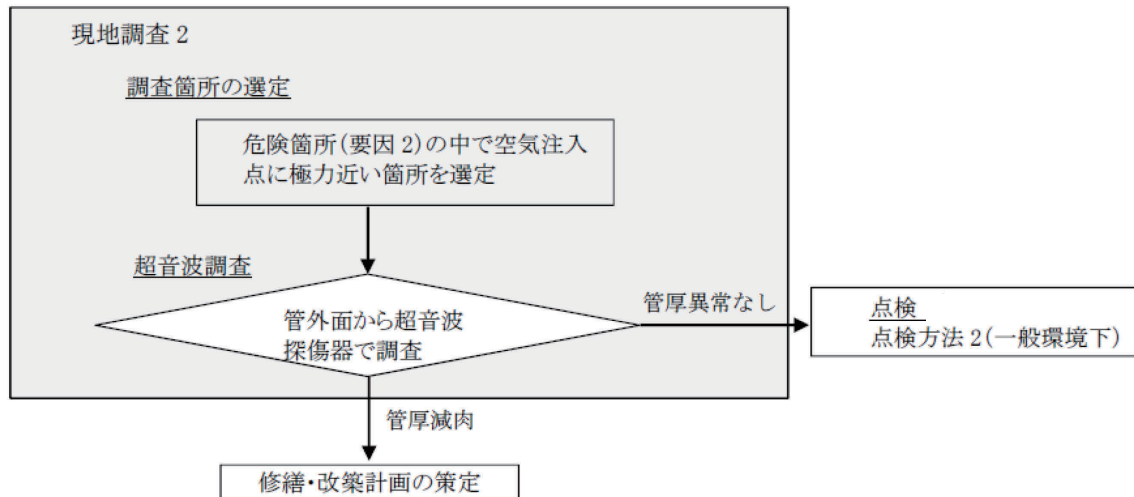


図37 現地調査2の手順

5.3.2 調査方法

5.3.2.1 調査箇所の選定

空気注入実施管路内の気相中の硫化水素濃度は、空気注入点の近傍が最も高く、流下するに従って徐々に低下していくと考えられる。そのため、危険箇所(要因2)の中から空気注入点に極力近い箇所での腐食調査を行うことが望ましい。現地踏査を事前に行い、道路交通状況や周辺環境等も考慮しながら最適な調査箇所を選定する。

5.3.2.2 超音波による調査

調査対象の管路内には常に水圧が負荷されており、調査のため空気弁を取り外すと下水が溢れるため、管路内に調査機器を入れて視覚調査を行うことは困難である。そこで、選定した調査箇所を対象に、管外面から超音波探傷器を用いて管厚調査を行う。

なお、本調査実施には調査用立坑の築造等により事前に管外面を露出する必要がある。また、異形管の内面防食にはエポキシ樹脂粉体塗装が用いられていることが多いため、調査は直管(内面モルタルライニング)を対象に行うこと。

超音波による調査の概要は、5.2.2.3 超音波による調査を参照のこと。

6. 圧送管路の点検

6. 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16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、**5. 硫酸腐食の調査手法**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16 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*1)
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*1)
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*2)

*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。

6. 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ていると、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

6.3 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ためと判断し、硫酸腐食の調査に進む。

点検方法2の手順を図38に示す。

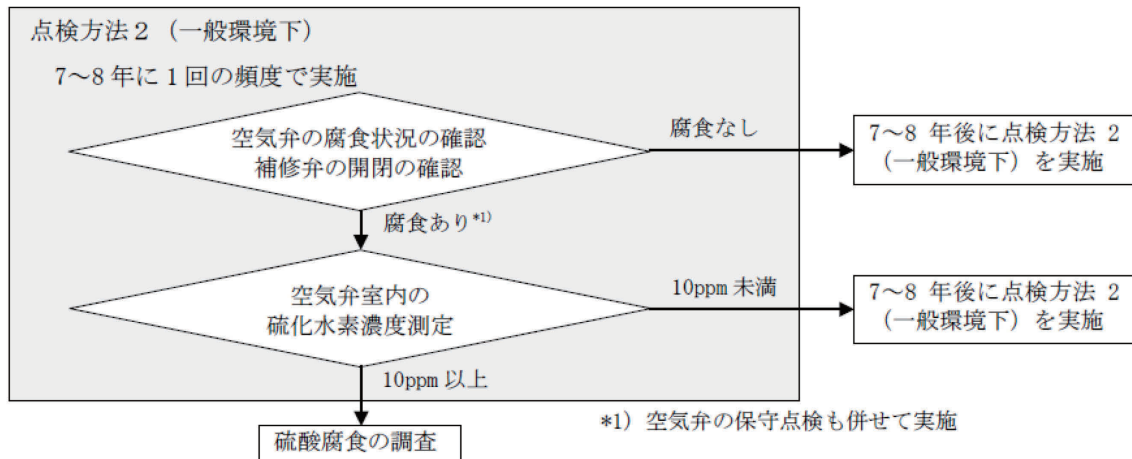


図38 点検方法2の手順

6.4 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、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39に示す。

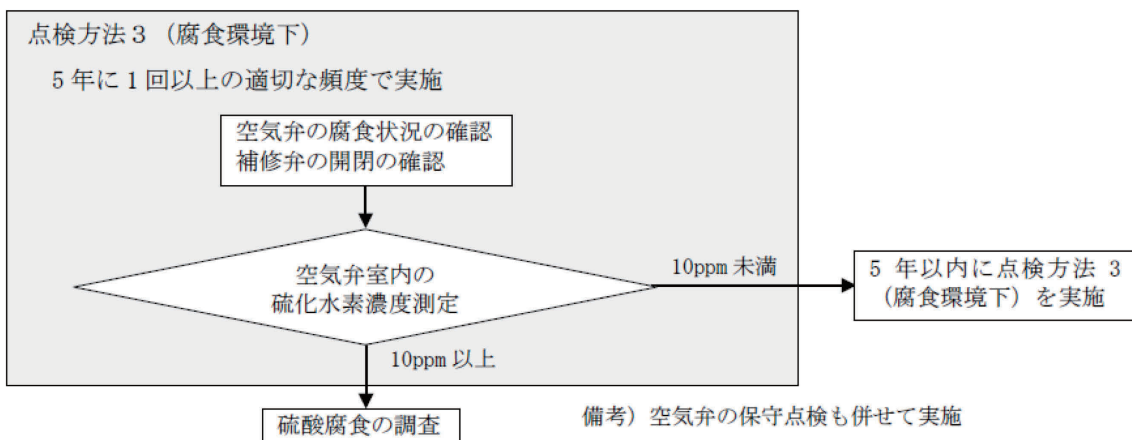


図39 点検方法3の手順(空気弁の場合)

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、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40に示す。

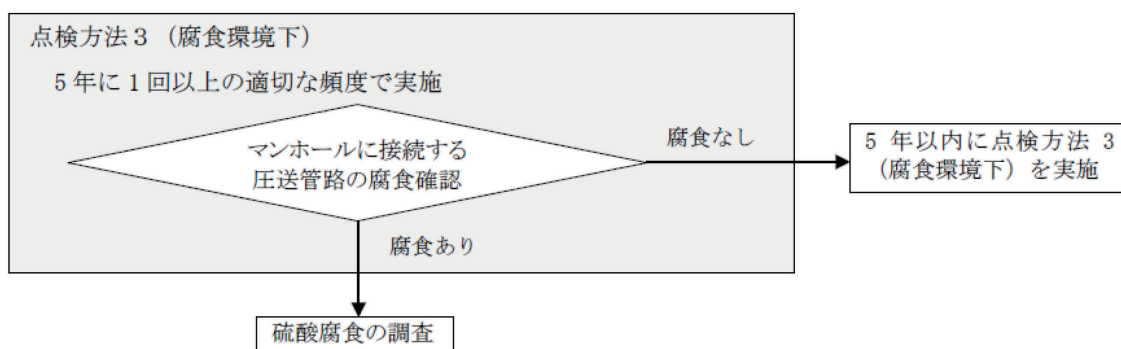


図40 点検方法3の手順(吐出し先マンホールの場合)

7. 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、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。

(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、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及び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))(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(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、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8に示す。

また、**5. 1. 2 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17に、酸素濃度と酸素欠乏症の症状等との関係を表18に、それぞれ示す。



写真8 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17 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 (臭覚の限界)	
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(臭覚疲労)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		
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	眼 結膜炎(ガス眼)、眼のかゆみ、痛み、砂が眼に入った感じ、まぶしい、充血と腫脹、角膜の混濁、角膜破壊と剥離、視野のゆがみとかすみ、光による痛みの増強
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18 酸素濃度と酸素欠乏症の症状等との関係

段階 (ヘンダーソンの分類による)	空气中酸素		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、単純計算まちがひ、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・梯子からの転落死・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、チェー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】

「下水道圧送管路における硫酸腐食箇所の効率的な調査技術導入ガイドライン(案)」(国土交通省国土技術政策総合研究所)

「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)の机上スクリーニングの実施に関する留意事項」(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)

技術資料の内容は、製品の仕様変更などで予告なく変更される場合があります。当協会のホームページから最新の技術資料がダウンロードできますので、お手持ちの技術資料をご確認ください。

一般社団法人

日本ダクタイル鉄管協会

<https://www.jdpa.gr.jp>

本部・関東支部	東京都千代田区九段南4丁目8番9号（日本水道会館） 電話 03（3264）6655（代） FAX 03（3264）5075
関西支部	大阪市中央区南船場4丁目12番12号（ニッセイ心斎橋ウエスト） 電話 06（6245）0401 FAX 06（6245）0300
北海道支部	札幌市中央区北2条西2丁目41番地（札幌2・2ビル） 電話 011（251）8710 FAX 011（522）5310
東北支部	仙台市青葉区本町2丁目5番1号（NL仙台広瀬通ビル） 電話 022（261）0462 FAX 022（399）6590
中部支部	名古屋市中村区名駅3丁目22番8号（大東海ビル） 電話 052（561）3075 FAX 052（433）8338
中国四国支部	広島市中区立町2番23号（野村不動産広島ビル） 電話 082（545）3596 FAX 082（545）3586
九州支部	福岡市中央区天神2丁目14番2号（福岡証券ビル） 電話 092（771）8928 FAX 092（406）2256