

# 下水道管渠腐食対策の調査研究

## 1. 研究の目的

近年、硫化水素に起因する下水道施設の腐食が大きな問題となってきた。特に分流式の下水道管渠においては腐食の進行が著しいこともあり、腐食に関する調査方法、評価方法、対策等の早期の確立が求められている。本研究では硫化水素の腐食に関して、その原因、機構、調査方法、判定手法等について、文献調査によりまとめるとともに下水道幹線管渠についてケーススタディーを行ったものである。

## 2. 調査対象管渠の状況

### 2.1 対象管渠状況と調査範囲

調査対象管渠状況を図2.1に示す。これに示すように下水道は約12,000 m<sup>3</sup>/日（日平均汚水量）がφ3000の幹線管渠（シールド施工）を流下し、A市内D処理区よりの約8,000 m<sup>3</sup>/日（日平均汚水量・初沈越流水）がφ350塩ビ管を流下し、人孔底部水面下で幹線管渠に合流・流下している。このA市内からの下水は高濃度の硫酸イオンを含み、腐食の原因と考えられている。

また調査対象範囲を図2.2に示す。腐食は人孔下部を中心に進行しているため、人孔を中心とした上流部・下流部を調査対象範囲としている。

(a) 管渠上流部（以後、管渠a部と称する）

人孔より上流のB中継ポンプ場までの約70 m区間

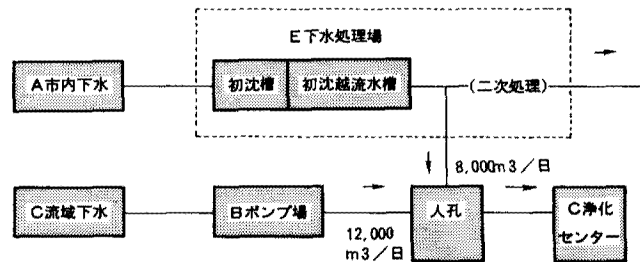


図2.1 調査対象管渠状況

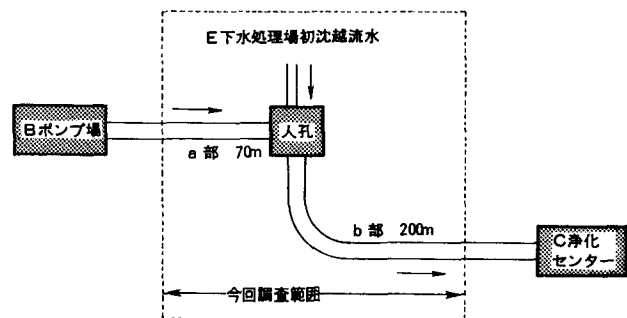


図2.2 調査対象範囲

- (b) 管渠下流部（以後、b部と称する）  
人孔より下流約200 m区間
- (c) 人孔内部の全面及び足掛けステップ金具

## 2.2 経緯

調査対象管渠の経緯を表2.1に示す。過去、調査1回、対策3回が行われている。本管渠は昭和59年供用開始後、既に昭和62年にタールエポキシ塗布による内部補修を行って現在に至っている。当時の分析により硫化水素に起因する腐食と判明し、その後、硫化水素削減の対策をとり、発生量の抑制に努めてきたが、再び腐食が進行している状況である。

今回調査は平成2年に続き2回目で、調査目的は腐食の進行程度の把握を正確に行うこと、前回調査結果をもとに比較劣化評価を行うこと、補修要否判定を行い必要に応じて適切な対策方法を検討することである。

表2.1 調査対象管渠の経緯

昭和59.10	C浄化センター供用開始、D処理区の分水流入開始
昭和62.2~8	【対策1】人孔内部、管渠補修
昭和63.5	【対策2】分水流入量削減
平成2.10	【調査1】腐食調査
平成4.2	【対策3】分水流入方法の改善 (下水の直接投入→初沈越流後投入)

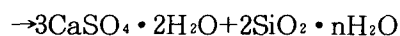
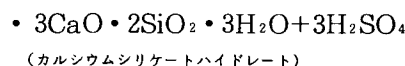
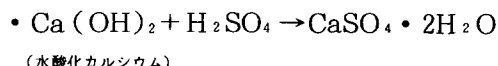
## 3. 硫化水素による腐食のメカニズム<sup>1)</sup>

既往の研究では、下水道管渠の重要な腐食原因として、下水からの硫化水素の発生が挙げられている。

下水中に流れ込む硫黄を含む有機物や硫酸塩は、嫌気条件下で硫酸還元菌の働きにより分解され、最終的に硫化水素に還元される。下水管渠では、主としてこのような条件が、水流の下部、汚水滞留部で整うことになる。液中に放出された硫化水素H<sub>2</sub>Sの一部は解離してHS<sup>-</sup>、S<sup>2-</sup>になるとともにH<sub>2</sub>Sは、ヘンリーの法則に従い気中へ放散、平衡する。

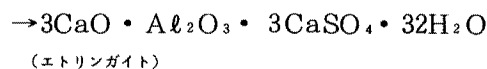
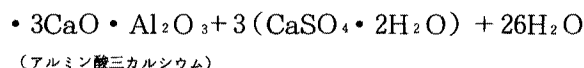
放散したH<sub>2</sub>Sは下水管の表面に凝結した水分に溶解し、チオバチラス等の硫黄酸化細菌により酸化作用を受け、硫酸態となる。この硫酸によりコンクリートが腐食する。

硫酸によるコンクリートの腐食劣化は、硫酸がセメント硬化体中の水酸化カルシウムあるいはカルシウムシリケートハイドレートと反応し、二水石こう(CaSO<sub>4</sub>・2H<sub>2</sub>O)を生成することにある。以上を反応式で示せば以下ようになる。



生成するCaSO<sub>4</sub>・2H<sub>2</sub>O（二水石こう）は水に対する溶解度が比較的小さいため、コンクリートの空孔をふさぐ作用が有り、初期には分解生成物の生成を抑えたり、酸液がコンクリート中に浸透するのを抑制する。従って初期の見かけ上の浸食が遅れる。

しかし、逆に生成した二水石こうがさらにセメント中の3CaO・Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>と反応し、以下の反応式にてエトリンガイトに変化する。



エトリンガイト生成の際には膨張圧が生じ、コンクリートのひび割れの原因となる。

硫酸によるコンクリートの腐食、劣化は、まず表面部分の硬化に現れる。硫酸と接触部分のセメント硬化体は酸により分解されて固化能力を失い、泥状の柔らかい組織に変化する。この柔らかい泥状組織が落下したり、流出したりすると骨材が露出する。さらに腐食が進むと、コンクリートは露出した骨材を保持できなくなり、骨材の剥落が生ずる。このような経過を繰り返しながら、コンクリートは次第にやせ細っていく。このような硫酸による腐食は、強度的な劣化が早く進行する点が深刻な問題となっている。

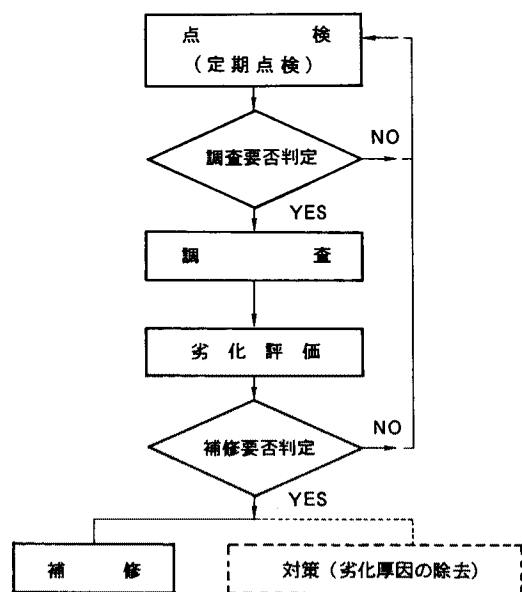
## 4. 腐食点検～対策の方法

### 4.1 手順概要

下水管渠については建設省都市局下水道部・日本下水道事業団発行の「下水道管路施設の耐久性の向上と再生・更新に関する調査」<sup>2)</sup>（以後、事業団ガイドラインと称する。）、人孔等の下水道施設については日本下水道事業団発行の「コンクリート防食指針（案）」<sup>3)</sup>（以後、防食指針と称する。）が手順について最も体系的にまとめられている。

これによれば、施設の点検、調査および腐食劣化評価の目的は、下水道施設の鉄筋コンクリート部材の腐食劣化を早期に発見し、さらに補修の要否を判定することである。これら一連の作業は、事業団ガイドラインに従って図4.1（一部加筆）に示す一

定の手順に基づいて行った。



注) 補修は、「下水道施設改築・修繕マニュアル(日本下水道協会)P-23」<sup>4)</sup>により事業種別が修繕or改築(改良or更新)に判定される。

図4.1 点検から補修・対策までのフロー

#### 4.2 点検, 調査要否判定

点検とは「下水道施設の鉄筋コンクリートの外面に顕われた腐食, 劣化を発見することを目的として行うもの」<sup>2)</sup>であり, 目視あるいはロボット等を用いて行うことを標準とする。本事例では, 以下の表4.1を用いて調査「要」と判断された。

表4.1 調査要否の判定

腐食劣化度	0	I	II	III	IV	V
項目						
かぶりコンクリートの剥離・剥落	なし	なし	一部浮きが見られる	一部剥離・剥落が見られる	剥離・剥落が多い	剥離・剥落が著しい
ひびわれ	なし	一部にひびわれが見られる	ひびわれがやや多い	ひびわれが多くひびわれ幅数mm以上を含む	ひびわれ幅数mm以上が多数	-
鉄筋の腐食	なし	コンクリート表面に点錆が見られる	一部に錆汁が見られる	錆汁が多い	浮き錆が多い	浮き錆が著しい
点検による調査の要否判定	調査の要なし (点検継続)		要調査			

#### 4.3 調査

##### 4.3.1 調査方法

調査とは, 「点検により腐食劣化が発見された場合に, その程度を調べる一連の作業」であり, 目視によるほか, 簡単な測定器具を用いて行うことを標準とする。

本事例では調査対象範囲における目視調査等と腐食コンクリートのコア抜き取りによる調査を行うこととした。

調査内容は目的から分類すると,

- ① 目視状況確認→目視調査 写真撮影, 劣化深さ
- ② 腐食深さ→中性化深さ 化学分析 (pH, SO<sub>4</sub>)
- ③ 強度測定→コンクリート圧縮試験, 鉄筋調査に分類される。管渠については二次覆工部シールド部分内での腐食であり, セグメント内鉄筋調査は不要であった。

##### 4.3.2 目視調査結果

###### ① 管渠a部

人孔から10m付近が最も劣化深さが深くなっており(80mm), 補修用被覆(タールエポキシ)の劣化, 剥離がみられ, 頂部に遊離石灰が見られた。平成2年調査よりも劣化はさらに進んでいた。人孔から55m以上の推進工法区間は劣化が認められず健全であった。

###### ② 管渠b部

人孔から25m付近が最も劣化深さが深くなっており(60mm), 50m付近で25mm程度, 100m付近で10mm程度であり, 劣化は200mまで広がっていた。補修用被覆(タールエポキシ)の劣化, 剥離もひどく, 平成2年調査よりも劣化はさらに進んでいた。

###### ③ 人孔内面

側壁部劣化深さは, 1~5mmと前回調査の0~2mmより場所による劣化のばらつきがでてきた。また, 所定の場所(1m×1m)における被覆ふくれ面積が平均86%にまで増加していた。

人孔下部の水路部についても, 常時水面以上となる水路部上部での劣化が激しく, 30~50mmに達し, 平成2年時の2mmと比較して腐食の進行は著しかった。

##### 4.3.3 腐食深さ

腐食深さは, 中性化深さ試験, pH, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等を知ることができる。一般の炭酸による中性化は, pH低下による鉄筋の発錆に対する問題として取り上げられるが, 硫酸による腐食は, pH低下部分がコンクリートの強度低下につながっているという深刻な問題も合わせ持っているのでより注意を要する。

① 管渠a部, 管渠b部

中性化は劣化層以深では認められず, pHも12.8程度を保っていた。但し, 劣化層部では, 中性化, 酸性化が認められた。

硫酸イオン濃度は, 表面劣化層部分については, 前回化学試験の結果と比較して高い値を示していたが, 表面より30mm以深については急激に濃度が低くなっており, 対コンクリート重量比で0.005%未満であった。

② 人孔内面

中性化傾向は表面の劣化層(1~5mm)までであり, それ以深ではpH12.7以上の強アルカリ状態を保っていた。

硫酸イオン濃度は, 表面から深さ0~10mm程度までは前回と比較して高い値となっていた。しかし, 10~30mm以深では濃度は低かった。

4.3.4 強度測定試験の結果

① 管渠a部, 管渠b部

圧縮強度については, 前回調査と比較して低下している箇所があった。二次覆工部分であるため構造上の強度は期待されていないが, 強度の低下が進行するとコンクリートの剥落が生じ, 下水の流下に支障をきたすことが懸念されるため対策が必要である。

② 人孔内面

圧縮強度は, 3試料のうち1試料に低下が見ら

れた。これについては測定時の劣化部分処理方法が問題も考えられ, 今後確認が必要である。

4.4 劣化評価および補修要否判定

劣化評価は, 「調査によって判定する部位・部材別の劣化度に基づき, 補修の要否判定を目的として行うもの」<sup>2)</sup>である。判定方法は, 数自治体でも独自に設定されており, 参考としてまとめたものを表4.2に示す。自治体の判定方法については「維持管理マニュアル」(日本下水道管路維持管理業協会編)<sup>5)</sup>がもととなっているようであるが, 名古屋市はさらに詳細な基準を設定している。しかしながら

表4.3 劣化評価・判定結果

調査箇所		劣化診断項目				
		表面腐食劣化	強度劣化	中性化	鉄筋腐食	改修要否
管渠a部	人孔入口より上流50~60m	I	-	/	/	否
	人孔入口より上流0~50m	II~III	I~III	/	/	要
人孔	側壁	I~III	I~II	I~II	I	要
	底板	III	-	-	-	要
	通路	III	-	-	-	要
管渠b部	人孔入口より下流0~155m	II~III	I~III	/	/	要
	人孔入口より下流155~200m	I	-	/	/	否

表4.2 自治体等における判定方法

自治体等	腐食程度		
	大 ←		→ 小
名古屋市	⑤管壁が剥がれ落ち鉄筋が露出している	④管壁が豆板状になり骨材が剥がれ落ちる ・粗骨材の形状がわかる	③管壁が全体的に豆板状になっている ・コンクリートの粗骨材が現れる
多摩市	④鉄筋が露出しているもの	③骨材が露出しているもの	
維持管理 <sup>5)</sup> マニュアル	④鉄筋が露出しているもの	③骨材が露出しているもの	
(参考)メーカー基準	④骨材が剥がれ落ち鉄筋が露出している場合	③全体的に豆板状が見られる	②管壁の表面が荒れ、若干の豆板状が見られる

今回事例の二次覆工に言及した判定基準は無い。本事例は事業団ガイドラインに基づいて劣化評価・判定した結果を表4.3に示す。

4.5 補修

本調査結果に示されたようなコンクリート腐食の表層部の劣化対策の基本的な考え方は以下の通りである。

- ① 「劣化した部分を打換え、表面をシールし、水および浸入物の浸入を防止する。」<sup>2)</sup>
- ② (そして、改築改良方法の例として) 「表層部の打換え、及び表面の塗装。」<sup>2)</sup>

本調査の結果では、管渠部及び人孔内部においては、以前に施工したタールエポキシによるコンクリート被覆が剥離して表面劣化が進行していた。ただし、一次覆工部分や鉄筋の腐食にまでは至っていなかった。この結果からタールエポキシ塗布により劣化を防止することは難しいと考えられる。補修方法としては劣化コンクリート部の欠損箇所を復元させる目的で、「断面修復剤」を施工した後、コンクリートの腐食要因を遮断する目的で「仕上げ保護剤」を用いた補修を行うのが適当であると考えられる。

4.6 対策(劣化原因の除去)の検討

腐食対策の中で劣化原因の除去は補修の一部であり、硫化水素発生防止対策を講じることは今後の施設機能保全に極めて重要である。以下に対策として可能性のあるものをあげ、図4.2に示した。

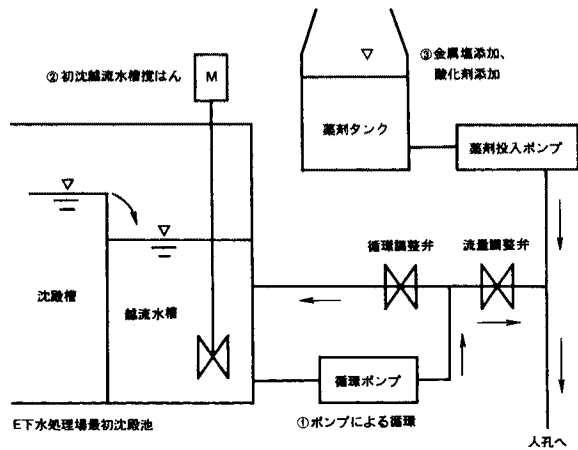


図4.2 対策方法

- ① ポンプによる循環  
人孔へ流入する汚水は、E下水処理場の初沈越流水槽下部より連続的に流下している。水の流れを予測すると、この人孔流入汚水は初沈越流水槽下部の比較的滞留物の堆積の可能性が高く、流速

の小さいところから引き抜かれていると考えられる。従って、初沈を越流したにもかかわらず、堆積物からの硫化水素の発生が予想される。従って、初沈越流水槽下部から出る人孔流入汚水管の途中に分岐管を設け、一部を初沈越流水槽に戻し、槽及び管内攪はんを行うものとする。同槽出口に汚水ポンプを設け送水するとともに、返流する水量は、バルブ調整あるいは開閉により調整する。

- ② 初沈越流水槽攪はん  
上記ポンプ循環と同じ目的で汚水の腐敗、嫌気化防止を目的として初沈越流水槽に攪はん機を取り付ける。空気の曝気は行わないが、気液面の乱れによる酸素の溶解を期待するものである。

- ③ 金属塩添加, 酸化剤添加  
添加剤の種類と目的について表4.4にまとめた。これに示す様に薬品の添加は、嫌気化防止(ORP低下防止)、硫化物固定化、硫化物酸化、殺菌等各種目的がある。そのなかで最も安価で実用的なものは塩化第二鉄であるが、最終的な流下先であるC浄化センターでの曝気槽内液のpH低下により処理性の悪化の懸念もあり、注意して運用する必要がある。

表4.4 添加剤の種類と目的

効能 添加剤	ORP 低下 防止	硫化物 の 固定化	硫化物 の 酸化	その他
①塩化第二鉄	○	○		
②硝酸塩	○			
③過酸化水素			○	酸素補給
④塩素	○		○	殺菌
⑤硫酸第一鉄		○		
⑥NaOH				pHによる固定

5. まとめ

本事例の結論は、以下の通りである。

- ① 腐食の原因とメカニズム, 調査手法, 判定手法について資料収集, 文献調査を行った。
- ② 人孔付近の腐食調査結果について検討した。その結果, 劣化部分の除去, 断面欠損部の修復, 仕上げ保護剤の施工による補修が適当であると考えられた。
- ③ 硫化水素発生防止対策について検討した。

参考文献

- 1) 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)
- 2) 建設省都市局下水道部, 日本下水道事業団「下水管  
路施設の耐久性の向上と再生・更新に関する調査」  
(平成4年度調査)
- 3) 日本下水道事業団「コンクリート防食指針(案)」  
(平成5年6月)
- 4) 日本下水道協会「下水道施設改築・修繕マニュアル」  
(平成3年12月)
- 5) (財)日本下水道管路維持管理業協会「維持管理マ  
ニュアル改訂版」(平成3年6月)

---

●この調査研究に関する問い合わせは

研究第一部長	佐藤 和明
技術部技術課長	村上 孝雄
研究第二部研究員	宮田 篤