

腐食抑制技術について

日本下水道事業団 品質管理センター次長 中沢 均



1. はじめに

下水道事業は維持管理の時代を迎えており、「事故の未然防止」も含む膨大な施設のストックの計画的な「維持管理、保全」が望まれている。下水道施設の硫酸によるコンクリート腐食問題は、まさに、将来にわたって維持管理上の重要な課題の一つである。

日本下水道事業団と(社)日本下水道協会により、はじめて実務者に参考となる3種類のテキストやマニュアル類が発刊されて、すでに4年が過ぎた。

- ① 下水道構造物に対するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術の評価に関する報告書—硫酸によるコンクリート腐食の機構と総合対策の方針— (以下、「報告書」)¹⁾
- ② 下水道管路施設腐食対策の手引き (案) (以下、「手引き」)²⁾
- ③ 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指針 (以下、「指針」)³⁾

コンクリート腐食対策に関するこれら一連の図書の作成に関与した経験を踏まえて、ここでは、「手引き」と「指針」作成の背景とポイントを簡潔に解説するとともに、「指針」の改訂方針を含む日本下水道事業団の最近の取組みについて紹介するが、詳細については、参考文献を参照していただ

きたい^{1)、2)、3)、4)、5)}。

2. 腐食抑制技術と防食技術

2.1 コンクリート腐食問題と対策の体系化

我が国で1980年代から顕在した下水道施設における硫酸による気相部コンクリートの劣化に対しては、1990年代に入り、実態調査の報告事例の増加とともに、各分野(産官学)で、さまざまな腐食対策技術が開発・実用化されてきた。

日本下水道事業団技術評価委員会の「報告書」¹⁾には、用語の定義を含む①下水道施設における硫酸によるコンクリートの腐食機構及び腐食現象の体系的な説明、②開発・採用された各種コンクリート腐食対策技術の機能の評価、③コンクリート腐食環境に応じた最適な総合的対策の選定のために必要な基本方針などが体系的にまとめられている。

報告書では、「硫酸によるコンクリート腐食の主な対策技術」(表-1)について、腐食抑制技術と防食技術に分けて、技術の分類、対象施設、原理と対策を体系化してある。ここで、腐食抑制技術とは、硫酸生成を抑制するための技術であり、防食技術とは、コンクリートの硫酸による劣化を直接的に防ぐ技術である。

管路施設における圧送管後のコンクリート劣化現象(段階①、②、③、④)のイメージを図-1に示す。防食技術だけに頼るのではなく、表-1

に示す「技術の分類」の①～⑤のある段階（あるいは複数の段階）で対策を講じることにより、コンクリート腐食の進行を防ぐ、あるいは、大幅に遅らせることが可能であり、ライフサイクルコストで判断する場合、下水道施設内の腐食環境を適正に把握した上での腐食抑制技術①～④の採用は、非常に有効な維持管理上の手段である。

2.2 指針の作成

（主として、ポンプ場・処理場）

「指針」³⁾は、表一の「技術の分類」では、⑤コンクリートの耐硫酸性向上および表面被覆の

うち、コンクリート表面の被覆（塗布型ライニング工法とシートライニング工法）の設計、施工管理、検査などを対象としているが、「報告書」の内容に基づいて、以下の新たな視点を取り入れ、大幅に「コンクリート防食指針（案）」（平成9年6月）⁶⁾から改訂されている。

- ① 硫酸によるコンクリート腐食機構と腐食対策を総合的に示し、コンクリート腐食抑制技術を含めた総合的な対策を対象とする。
- ② 補修を前提とした診断（調査・評価）に基づく最適な設計・施工を可能とする。
- ③ 腐食条件に応じた最適な防食被覆工法が選択

表一 硫酸によるコンクリート腐食の主な対策技術

（下水道構造物に対するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術の評価に関する報告書）

対策技術の分類	技術の分類	対象施設	原理と対策
コンクリート腐食の抑制技術 (硫酸生成の抑制)	①下水中の硫酸イオン濃度低下	主として管路施設	硫化水素生成ポテンシャルの低下： 工場排水・温泉排水等の規制、海水浸入の防止
	②下水あるいは汚泥中の硫化物生成抑制	管路施設	嫌気性化防止： 圧送管への空気注入、酸素注入、硝酸塩注入等 伏越し管の構造変更 ビルピット対策 自然流下の管きよでの再曝気、沈殿物の排除、 コンクリート表面の洗浄、フラッシング
		ポンプ場・処理場	嫌気性化防止： 揚水ポンプの適正運転 処理場の適正運転
	③溶存硫化物の固定と硫化水素の気相中への放散防止	管路施設、ポンプ場・処理場	液相中の硫化物の酸化・固定化： 塩化第二鉄注入、 ポリ硫酸第二鉄注入
			硫化水素の放散を抑制する構造： 合流部の攪乱防止 段差・落差の解消
④硫酸を生成する硫黄酸化細菌の活動抑制	管路施設、ポンプ場・処理場	気相中H ₂ Sガス濃度の希釈・除去： 換気・脱臭 コンクリート表面の乾燥： 換気 硫黄酸化細菌の代謝抑制： コンクリートへの防菌剤・抗菌剤の混入	
コンクリート防食技術 (コンクリートへの対策)	⑤コンクリートの耐硫酸性向上および表面被覆	管路施設、ポンプ場・処理場	コンクリート自身の耐硫酸性向上： 耐硫酸性コンクリート コンクリート表面の被覆： 塗布型ライニング工法 シートライニング工法 管更生工法

図-1 下水道施設における硫酸によるコンクリート劣化現象の予測モデルのイメージ
(圧送管後のコンクリート腐食の例)

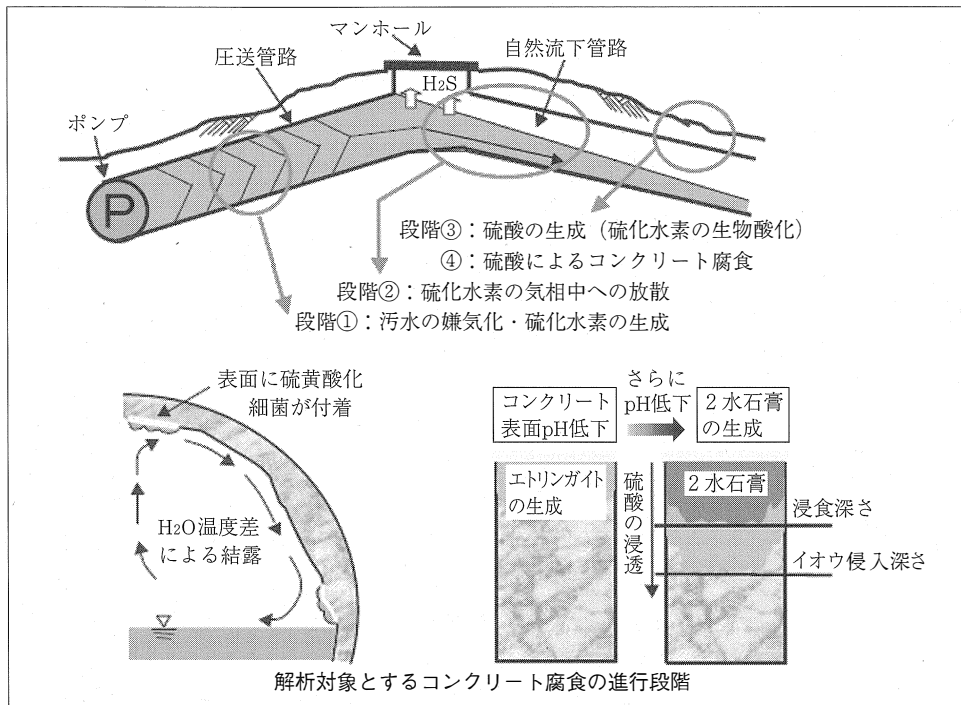


表-2 設計腐食環境の分類

(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指針)

分類	腐食環境	点検、補修、改築時の施工性の難易による設計腐食環境の分類	
		易	難
I 類	年間平均H ₂ Sガス濃度が50ppm以上で、硫酸によるコンクリート腐食が極度に見られる腐食環境	I ₁ 類	I ₂ 類
II 類	年間平均H ₂ Sガス濃度が10~50ppmで、硫酸によるコンクリート腐食が顕著に見られる腐食環境	II ₁ 類	II ₂ 類
III 類	年間平均H ₂ Sガス濃度が10ppm未満で、硫酸によるコンクリート腐食が明らかに見られる腐食環境	III ₁ 類	III ₂ 類
IV 類	硫酸による腐食はほとんど生じないが、コンクリートに接する液相が酸性状態になりえる腐食環境		

できるように、各種工法の特徴の整理、品質管理・性能保証・検査方法を明確化し、防食被覆工法の性能保証期間を義務付ける。

「指針」では、年間平均H₂Sガス濃度を指標に

施設の点検、補修および改築の難易も考慮することとして、ポンプ場・処理場内の設計腐食環境を表-2に示すようなI₁類、I₂類、II₁類、II₂類、III₁類、III₂類およびIV類に分類、再定義した。

また、設計腐食環境条件と防食被覆工法の工法

規格（D種、C種、B種、A種）を分離し、設計腐食環境条件と工法規格の関係を表一3により規定した。

2.3 手引きの作成（管路施設）

「手引き」²⁾の作成に当たっては、「報告書」¹⁾などの参考図書に基づいてコンクリート腐食が発生する箇所の特定、各種腐食対策技術の体系化を図るとともに、全国の自治体に対するアンケート調査結果の解析や追加の資料要求を行うことにより、管路施設におけるコンクリート腐食実態の把握・定量化を試みた。

「手引き」は、管路施設の腐食対策設計の実務的マニュアルとして、事例に基づいて、劣化度ランクと腐食環境条件、腐食対策の分類、一般的な

腐食箇所における対策の基本方針や特殊な腐食箇所における対策の考え方をわかりやすく整理した上で、必要となる用語の定義や各種腐食対策技術の体系化を図った。

「手引き」では、まず、管路施設における硫酸によるコンクリート腐食状況の程度を劣化度ランク（A、B、C）で判定することになっている（表一4参照）。

腐食を受けた施設の過去の実態調査やモルタル供試体暴露試験の解析結果に基づいて、硫酸によるコンクリート腐食環境を施設内の平均H₂Sガス濃度を指標として腐食環境条件（I種、II種、III種：「指針」のI類、II類、III類と、ほぼ同じ定義）と平均H₂Sガス濃度および供用年数10年未満の劣化度ランクで定義したものが表一4である。

表一3 設計腐食環境条件と工法規格の関係

（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指針）

設計腐食環境	塗布型ライニング工法の工法規格	シートライニング工法の工法規格
I ₂ 類	—	D ₂ 種
I ₁ 類、II ₂ 類	D ₁ 種	D ₂ 種
II ₁ 類、III ₂ 類	C種	
III ₁ 類	B種	
IV類	A種	

表一4 腐食環境条件と平均H₂Sガス濃度の関係

（下水道管路施設腐食対策の手引き（案））

腐食環境条件 ^{注2}		平均H ₂ Sガス濃度（ppm）	摘要
I種	硫化水素の発生要因近傍で、H ₂ Sガスの滞留が多く、腐食が激しい環境。（維持管理上、発生源対策を必要とする。）	50以上	放置した場合、供用年数10年未満で劣化度Aランク ^{注1} に達する腐食環境を想定。
II種	硫化水素の発生要因に近傍し、硫化水素ガスの滞留があり、腐食速度が緩やかな環境。（発生源対策を必要とする場合と必要としない場合がある。）	10～50	放置した場合、供用年数10年未満で劣化度Bランク ^{注1} に達する腐食環境を想定。
III種	硫化水素の発生要因に近傍しているが、硫化水素ガスの滞留は少なく、腐食速度が小さい環境。	10未満	放置した場合、供用年数10年未満で劣化度Cランク ^{注1} に達する腐食環境を想定。

注1) 劣化度ランクの定義

- ① 劣化度Aランク：鉄筋が露出している状態
- ② 劣化度Bランク：骨材が露出している状態
- ③ 劣化度Cランク：コンクリート表面が荒れた状態

注2) 管路施設の腐食環境条件のI種、II種、III種は、表一2に示すポンプ場・処理場の腐食環境の分類I類、II類、III類の定義とほぼ同じ。

管路施設内で下水が嫌気性化することによりコンクリート腐食が発生しやすい箇所や溶存硫化物を含む特殊排水が排出されることによりコンクリート腐食が発生しやすい箇所（一般的な腐食箇所）の要因と腐食環境条件の分類により、実態調査結

果から想定される腐食箇所を整理したものが表一5である。

なお、管路施設では、一般的な腐食箇所以外に、最小流速が確保できない箇所の上下流部、硫酸塩を多量に含む特殊排水が排出される箇所の下流部、

表一5 管路施設における一般的な腐食箇所での腐食環境条件
(下水道管路施設腐食対策の手引き(案))

要因 分類	圧送管吐出し先の管路施設 (マンホールポンプを含む)	ビルピット排水が排出される 箇所の上下流部	溶存硫化物を含む特殊排水 が排出される箇所の上下流 部	伏越し下流部
I 種	圧送管延長が1,000m以上 で、上流より硫酸塩等の硫 黄成分を多量に含む特殊排 水の流入がある場合。			
II 種	圧送管延長が500m以上で、 水量が比較的多い場合。			
III 種	圧送管延長が500m未満で、 水量が比較的少なく、かつ、 硫酸塩等の硫黄成分を含む 特殊排水の流入がない場合。	比較的小規模なオフィスビ ルのビルピットから排出さ れる場合。		伏越し管内での滞留時間が 1時間以上に及ぶ可能性が ある場合。

表一6 一般的な腐食箇所における対策の基本方針
(下水道管路施設腐食対策の手引き(案))

要因 分類	圧送管吐出し先	ビルピット	多量の溶存硫化物を 含む排水	長大伏越し
I 種	環境			
	対策			
II 種	環境	維持管理面や周辺地域環境条件等により発生源対策を併用する必要がある場合と、発生源対策を必要とせず耐強酸性の管材 のみで対策が十分な環境。		
	対策	<ul style="list-style-type: none"> ●耐強酸性を有する管材を使用する。 (樹脂あるいはセラミック材料等により管材が構成されている材料) ●耐強酸性を有する材料をコンクリート管の内面に被覆し一体化する。 (樹脂やセラミック材料あるいはシートをコンクリート内面にライニングしたもの) 		
III 種	環境	防菌・抗菌コンクリート等の防食材料が使用可能な環境。		
	対策	耐強酸性の管材や硫酸酸化細菌の増殖抑制効果を有する防食材料を使用する。 (樹脂やセラミック等の管材や防菌・抗菌コンクリート)		

管内貯留部、海沿い部で海水を含む地下水の浸入がある箇所の下流部などでコンクリート腐食がさらに顕在化することがある。

表一五に示した一般的な腐食箇所における腐食対策の基本方針を腐食環境毎に環境と対策についてまとめたものが表一六である。

2.4 腐食抑制技術の活用 (新設時の対応と建設後の対応)

表一五と表一六に示した管路施設を例にすれば、圧送管吐出し先の管路施設(腐食環境条件I種)では、耐強酸性の管材等の採用のみでは対応が困難で、発生源対策の併用が不可欠であり、また、Ⅲ種の腐食環境条件では、新たに、防菌・抗菌コンクリート等の防食材料が使用可能な環境と位置付けられており、幅広い範囲での腐食抑制技術の採用が期待される。

硫黄酸化細菌の働きを抑制する防菌・抗菌コンクリートには、(財)下水道新技術推進機構で建設技術審査証明を取得している技術^{7)、8)}があり、このうち、「下水道用ビックリート管」は、平成16年10月に(社)日本下水道協会のⅡ類資器材に登録されている。

下水道施設を新設する場合には、腐食環境に関する実測値がないため、「指針」や「手引き」を参考にして、さらに、類似の既存施設での情報を活用して、腐食抑制技術を含む総合的な腐食対策を設計、施工することになる。

一方、既存施設の対応は、計画的な定期点検などにより、腐食箇所や腐食条件を特定できれば、ライフサイクルコストを最小にする最適な腐食対策の組合せの選択が可能になる。この場合、図一1にイメージを示したようなコンクリート劣化現象の予測モデル(段階1:汚水の嫌気化・硫化水素の生成、段階2:硫化水素の気相中への放散、段階3:硫酸の生成(硫化水素の生物酸化)、段階4:硫酸によるコンクリート腐食)を活用することが、危険箇所・範囲を特定する上で有効である。

この予測モデルでは、日本下水道事業団と鹿島建設㈱が、『下水道施設における硫酸によるコンク

リート劣化現象の予測モデルの開発』について共同研究(平成12年度～平成15年度)を実施した成果もある。

発生源対策の腐食抑制技術の例としては(表一1)、空気、酸素あるいは硝酸塩の注入(嫌気性化防止)、ビルピット対策(嫌気性化防止)、塩化第二鉄注入(液相中の硫化物の酸化・固定化)、換気・脱臭(気相中のH₂Sガス濃度の希釈・除去)等がある。

3. 指針改訂の方向性

平成13年3月に「報告書」が、また、平成14年11月に「指針」が発刊されてから(財)下水道業務管理センターの刊行物として)、平成18年6月現在の販売実績は、それぞれ1,500部、6,500部であり、硫酸によるコンクリート腐食の対策については、幅広く認知されてきている。

「指針」の発刊からはほぼ4年が経過したこともあり、現在までの実績、指摘されている課題を踏まえて、日本下水道事業団では、本年度中の改訂を予定している。

主な改訂点は、塗布型ライニング工法とシートライニング工法を対象に、以下のとおりである。

- 設計編と施工編の分離、維持管理の位置付け
- JIS改訂などに伴う試験方法の変更(参考資料)
- 耐用年数(10年保証)の条件整理
- 施工管理における専門技術者の資格要件
- 「新設」と「既設の補修」の明確な区分

なお、日本下水道事業団技術開発部では、防食技術に位置付けられる「コンクリートの耐硫酸性の向上」に関する共同研究の成果を踏まえて、平成18年1月に、日本下水道事業団技術評価委員会の松尾友矩会長(東洋大学学長)へ「耐酸性モルタル防食技術」を諮問しているが(答申予定は、平成19年3月)、今回の「指針」改訂への反映は予定していない。

4. おわりに

「報告書」、「手引き」、「指針」の発刊により、ようやく実務者は手探りの状態を脱し、硫酸によるコンクリート腐食問題に対する腐食抑制技術をはじめとする総合的な対策を手中にしたが、「手引き」の第5章には、以下の課題が整理されている。

①管路施設内調査が不十分、②気相部への硫化水素ガス放散量の定量化、③維持管理を含む総合的な腐食対策が不可欠（発生源対策、腐食抑制、防食、防臭）、④維持管理のしやすい管路施設の構造基準の見直し、⑤維持管理面（定期点検、排水指導、安全対策）

「手引き」等の発刊から4年が過ぎたが、今でもなお、実務者のこの問題に対するさらなる理解と情報の公表・集約化など、まだまだ、解決すべき課題は多い。さらに、密閉された下水道施設の中で進行しているコンクリート腐食問題への対応には、幅広い知識と経験が求められるため、「2007

年問題」（組織・人材の弱体化）に象徴される『下水道技術の継承問題』の解決も残された重要な課題である。

<参考文献>

- 1) 「下水道構造物に対するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術の評価に関する報告書—硫酸によるコンクリート腐食の機構と総合対策の方針—」日本下水道事業団技術評価委員会、平成13年3月21日
- 2) 「下水道管路施設腐食対策の手引き(案)」(社)日本下水道協会、平成14年5月
- 3) 「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指針」日本下水道事業団、平成14年11月
- 4) 中沢均：「わかりやすいコンクリート腐食診断と腐食対策選定の考え方」月刊下水道Vol.24、No.15、2001年12月号
- 5) 中沢均：「『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指針』と『下水道管路施設腐食対策の手引き(案)』解説」月刊下水道Vol.26、No.2、2003年2月号
- 6) 「コンクリート防食指針(案)」日本下水道事業団、平成9年6月
- 7) 建設技術審査証明第0303号「ビククリート(防菌コンクリート)」(財)下水道新技術推進機構、2004年3月3日
- 8) 建設技術審査証明第0401号「ゼオマイティ(コンクリート用抗菌剤)」(財)下水道新技術推進機構、2005年3月3日

VS NEWS NEWS NEWS NEWS NEWS NEWS NEWS NEWS NEWS NEWS NEWS NEWS NEWS NEWS NEWS NEWS

雨水技術情報交換会：

下水道研発後、堺市の雨水対策等を紹介 ——幹事に国総研の吉田研究員加わる

下水道研究発表会後の会場における開催が恒例となった「雨水技術情報交換会」（幹事：古米弘明東京大学大学院工学系研究科教授、榊原隆さいたま市建設局副理事）が7月27日、大阪・アジア太平洋トレードセンター（ATC）において開催された。



満席の会場には、立ち見が出た

今回は、まずこの4月に政令指定都市になったばかりの堺市の上下水道局下水道部・三谷吉文副参事が、同市の下水道計画や10年間で改善する合流式下水

道に関する事業概要等を説明した。次に、国土技術政策総合研究所下水道研究室で雨水対策をメインテーマに研究している吉田敏章主任研究員がノンポイント対策について解説、ノンポイント汚濁の調査結果や簡易な負荷量把握手法なども紹介した。また、総合的な都市浸水対策について話題提供した東大の古米教授は、「効果など何もかもわかってから進む時代は終わった。「総合的」ということをもう一步前進させるためには、不確実な現象に対しても、モニタリングとモデルを組み合わせて取り組んでいくべき」ことを強調した。

参加者は80名以上で、予備のイスが設けられているにもかかわらず立ち見が出た。

なお、「都市排水モデルに関する国際会議」が2009年に東京で開催されること、2011年に開催される「第12回都市雨水排除に関する国際会議」の開催国がブラジルに決まったこと等が報告された。また、今回より幹事に加わった吉田主任研究員は、「多くの先達の集う雨関連の会議に、幹事として参画することができ、気が引き締まる思いです。情報の共有化等を通じ、雨対策の技術の発展に貢献したい」と抱負を述べた。