

下水道用マンホール躯体における防食技術

宮入 篤

(一社)日本コンクリート防食協会 特別顧問

1 はじめに

全国の下水道普及率は、1965年では8%程度であったが、約50年をかけて80%まで急速に進展してきた。全国の下水道管路施設は約49万kmとなり、50年以上も経った施設は今まさに老朽化が進行している。

管路施設のうち、防食の対象となるのは、主にマンホール躯体(「マンホール本体」という呼び方もあるが、本稿では躯体という)である。マンホール躯体には、円形構造や矩形構造、特殊マンホール、マンホールポンプ場などがあり、①圧送管吐出し先②落差・段差の大きい箇所③伏越し下流部④その他腐食するおそれの大きい

箇所——などで、該当する場合に防食として被覆施工される。本稿では管路施設の防食として、施工実績が多いマンホール躯体の技術について解説する。

2 マンホール躯体における改築・修繕の対策工法

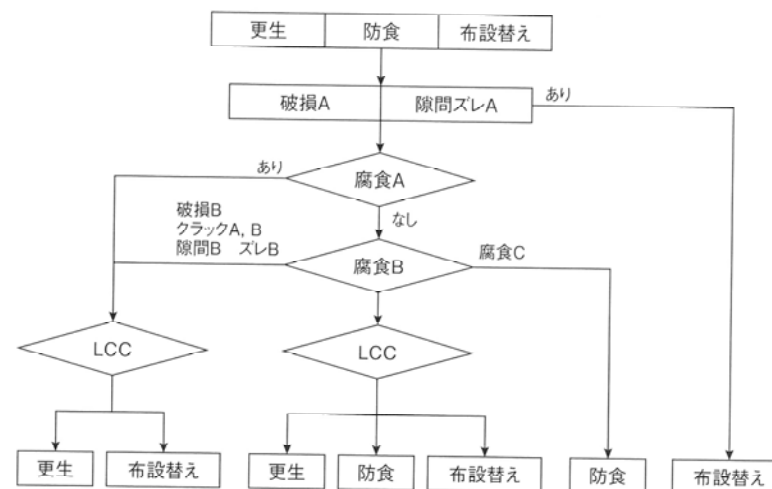
下水道施設では、硫化水素に起因する硫酸腐食が特徴的に見られ、一般的に下水道分野で「腐食」といえば、コンクリート構造物の硫酸腐食を指すことがほとんどである。したがって、腐食するおそれの大きい材質はコンクリートであり、腐食の種類は硫酸腐食を基本としている。この際に、腐食対策を目的として耐硫酸モルタルを配合したコンクリート製品やレジンコンクリートなどの耐酸性に優れたコンクリート、およびコンクリート表面への防食被覆が採用される。

また、防食以外の腐食対策では、発生源対策、腐食抑制対策などがあり、防食の目的を兼ねて管路施設の布設替えや更生工法を採用する場合も考えられる。

次に、管路施設にお

表1 マンホール躯体における改築・修繕の技術的な整理

工法	管路の区分	要求事項	構造形式	主な該当する試験方法、要求値	要求性能などに関する公的な(準じた)基準類
防食	マンホール躯体	一体対応として構築		「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」(地方共同法人日本下水道事業団)	① JIS A7502-1~3 下水道構造物コンクリート腐食対策技術 ② 「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」(地方共同法人日本下水道事業団) ③ 「下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料」((公財)日本下水道新技術機構)
修繕	マンホール躯体	部分的な補強、止水などを対象として構築	各工法が保有する技術条件による		「下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料」((公財)日本下水道新技術機構)
更生	マンホール躯体	マンホールそのものを構築	自立マンホール 複合マンホール	新設と同様の規格を適用(JSWAS A-11など)	「下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料」((公財)日本下水道新技術機構)



※現場条件で布設替えが選択不可の場合もある
 ※マンホールの置かれる環境やマンホールの構造によりLCCの対象を検討する必要がある
 ※A, Bは、マンホールの視覚調査判定基準(案)のランクを示す(表2参照)

図1 劣化状況による工法選定フロー

表2 マンホールの視覚調査判定基準

部位	調査項目	判定基準		
		Aランク	Bランク	Cランク
全体での評価	腐食	鉄筋露出	骨材露出	表面の荒れ

ける改築・修繕の流れとしては、(1)計画的な点検(2)調査・診断および計画策定の実施(3)管路施設の老朽化対策・腐食対策の検討を行うことになる。このような流れによる検討結果からマンホール躯体における対策として、長寿命化対策検討対象施設としての改築や部分対応としての修繕が選定されることになる。

なお、これらの検討を行う際の考え方(基準類)としては、(公社)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年版-」にまとめられているので、参考にしていただきたい。

改築には、更新する「布設替え工法」と内部から補強する「更生工法」、耐荷力を有するマンホールの内面腐食に対応する「防食工法」に分類される。修繕には、亀裂、クラックからの浸入水を防ぐ止水工法と、マンホールの付帯物である足掛金物の取替えやマンホールブロック、躯体の欠損をふさぐ補修工法がある。

マンホール躯体の改築・修繕に関する技術的な取扱いをまとめると表1のようになる。既設マンホール躯体の改築には、更新となる布設替え工法として躯体を取り替える方法があるが、市街地においては開削方法が困難になっており、この施工環境条件を充分考慮する必要性から非開削(部分的な開削を含む)による方法である更生工法を表1に示し、布設替え工法を除いた。また、更生工法には、既設マンホール躯体の損傷

状態に応じて、自立タイプと複合タイプがあり、使用する材料特性から防食性能を保持している技術がある。

くわえて、(公財)日本下水道新技術機構「下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料2014年」(以下、マンホール改築修繕の技術資料)において、既設マンホールの劣化状態により耐荷性能、耐震性能、水密性能などの諸性能の不足が明らかかなものもあることから、図1に示す工法選定フロー(表2を含む)にもとづき工法を選定することとしている。

なお、選定にあたり、LCC(ライフサイクルコスト)による経済性評価や、必要に応じた経済性比較による判断も行うとしている。

3 マンホール躯体における防食工法などの技術

新設や布設替えするマンホール躯体材料としては、耐硫酸性を有する樹脂系材料により工場製作されたマンホールやレジンコンクリート製マンホールがある。これに対して、既設マンホールあるいは新設マンホールのコンクリート躯体面に被覆するという防食がある。

この防食工法としては、マンホール改築修繕

の技術資料に設計や施工管理などを含めて整理し記載されている。また、(公社)日本下水道管路管理業協会『マンホールの改築及び修繕に関する設計・施工の手引き(案)平成28年7月』(以下、マンホール設計・施工の手引き(案))を参考とすることができるが、マンホール改築修繕の技術資料からの引用も多いことから、先述した表1などには記載していない。

また、防食被覆工法の規格としては、①要求性能が示されているJIS A7502-1~3 下水道構造物コンクリート腐食対策技術②要求性能および要求値が示されている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』(以下、JS防食技術マニュアル)があり、さらに先述②の具体的な解説や現場技術者の確認事項を整理した(一財)下水道事業支援センター『下水道コンクリート防食工事施工・品質管理の手引き(案)』(以下、防食施工管理の手引き(案))がある。

先述の①、②などに示されている防食被覆工法には、コンクリート表面に有機系被覆材を塗布することによって、防食被覆層を形成する塗布型ライニング工法、工場で製作した有機系被覆材の防食被覆層をコンクリートと一体化することによって、コンクリート被覆するシートライニング工法、コンクリート表面に無機系被覆材を塗布することによって、防食被覆層を形成するモルタルライニング工法がある。

マンホール躯体の防食工法において、日本下水道新技術機構による審査証明を取得している技術(2020年度審査証明対象)を表3に示した。

表3 マンホール防食工法一覧表
(2020年度審査証明取得技術の資料をもとに加筆修正)

技術名称	防食性を確保する主な材料	防食工法(注1,注2)		
		塗布型ライニング工法	シートライニング工法	
			A種, B種, C種, D種	成形品後貼り型(D種)
エコロガード工法	塗付け型のエポキシ樹脂	C種, D種(注1)	—	—
クリスタルライニング工法	水性エポキシ樹脂とセメント材の塗付けとエポキシ樹脂の上塗材	C種, D種(注2)	—	—
フラップス工法	工場製品であるビニルエステル樹脂によるFRP製シート	—	○(注1)	—
BKU防食工法	工場製品である硬質塩化ビニル樹脂製シート	—	○(注1)	—
ジックボード工法	工場製品である立体クロス複層のFRP製シート	—	○(注1)	—
PPSライニング工法	光硬化させるFRP製シート(工場で樹脂を含浸させたシート)	—	—	○(注1)
エコサルファー防食工法	工場製品である硫黄固化体の板材およびエポキシ樹脂による接着剤	—	○(注2)	—
PL-W工法	工場製品であるポリエチレン樹脂製シート	—	○(注2)	—

注1 「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(平成29年12月)」(地方共同法人日本下水道事業団)の条件を満たす
注2 「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(平成24年4月)」(地方共同法人日本下水道事業団)の条件を満たす

これらの防食工法では、円形や矩形構造、特殊マンホールの形状、1号2号などの規格、マンホール深さなどの適用可能な技術的範囲などの詳細は、日本下水道新技術機構による審査証明報告書や技術保有会社への問い合わせなどで確認することも必要である。

また、表3中の防食工法は、防食性能として、JS防食技術マニュアルの要求性能と要求値が満たされているという条件であり、マンホール躯体以外にも下水処理場やポンプ場などを適用対象として施工が可能な技術でもある。

これに対して、マンホール躯体のみを適用対象としている技術を表4に示した。これらは、表3以外の日本下水道新技術機構による審査証明を取得している技術(2020年度審査証明対象)であり、次の①~③の条件のいずれかに該当するものである。①マンホール躯体の防食性能を兼ね備えている更生工法の技術②防食性能の条件を有しない技術だが、JSWAS(日本下水

表4 防食性能を付加した工法等一覧表
(2020年度審査証明取得技術の資料をもとに加筆修正)

技術名称	防食性を確保する主な材料	防食工法(注1,注2)			更生工法または修繕工法
		塗布型ライニング工法	シートライニング工法		
			A種, B種, C種, D種	成形品後貼り型(D種)	
ジックボードJ工法	工場製品である立体クロス複層のFRP製シート	—	○(注1)	—	○自立
パーティライナー工法	光硬化させるガラス繊維入り不飽和ポリエステル樹脂材	〈管渠更生工法と同様の耐薬品性能等を保持〉			○自立
SSホールシステム	強化プラスチック複合管	〈強化プラスチック複合管の耐薬品性能等を保持〉			○自立
RMI工法	レジンコンクリート製マンホール	〈レジンコンクリート製としての耐薬品性能等を保持〉			○自立
EMR工法	耐硫酸性ポリマーセメントモルタル(充填材)と耐硫酸性アクリル樹脂(表面仕上材)	一部のD種規格(注1)	—	—	○複合
エコロガード工法ハイブリッド	塗付け型のエポキシ樹脂	〈強化プラスチック複合管の耐薬品性能等を保持〉			○複合
ジックボードM工法	工場製品である立体クロス複層のFRP製シート	—	○(注1)	—	○複合
スラスラ工法	工場製品であるポリエチレン樹脂製シート	—	○(注1)	—	○複合
PML工法	工場製品であるポリエチレン樹脂製シート	—	○(注1)	—	○複合
エバシート工法	工場製品である裏面処理のFRP製シート(SKシート)	—	○(注1)	—	○複合
MLR工法	工場製品であるビニルエステル樹脂製シート(MLRモールドG)	—	○(注1)	—	○複合
ターヤン工法	熱硬化させるポリエステル樹脂材	—	○(注2)		〈修繕工法〉
SKS工法	光硬化させるガラス繊維を含浸させたビニルエステル樹脂材	—	○(注2)		〈修繕工法〉
SGICP-M工法	熱硬化させるポリエステル樹脂材	〈強化プラスチック複合管の耐薬品性能等を保持〉			〈修繕工法〉

注1 「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(平成29年12月)」(地方共同法人日本下水道事業団)の条件を満たす
注2 「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(平成24年4月)」(地方共同法人日本下水道事業団)の条件を満たす

道協会規格)の管渠に関する耐薬品性などの耐久性を保有している更生工法の技術③更生工法には該当しないマンホール躯体の修繕工法。

表4の日本下水道新技術機構による審査証明を取得しているマンホール躯体の技術は、防食の有無を含めさまざまな条件として民間企業において技術開発され、導入(採用)されている。

の注意事項などを記載しているので参考にしていきたい。

これらのことを念頭にして、既設マンホールを対象に選定する場合の留意事項として、防食工法の塗布型ライニング工法、シートライニング工法、モルタルライニング工法ごとにポイントを表5にまとめている。本表から下水供用下

4 マンホール躯体における防食工法の選定

改築・修繕の対象となるマンホール躯体(管渠も同様)は、施工期間中に開孔部(マンホール蓋、仮設覆工板など)を常時開放することが困難で、開孔部の開放時間や施工時間などの制約条件が多くある。また、開孔部(設置数、設置規模)が限られているため換気が充分できないことなどにより通常、施工箇所は高湿度環境となることが多い。

さらに、供用下での施工作業となる場合が多く、上流ポンプ場からの送水や雨天時侵入水などにより、水位が大きく変動する可能性があることから、施工にあたっては、これらの諸条件を入念に検討して当該施設に最も適切な防食被覆工法の技術を選定しなければならない。

このようなことを含めて防食施工管理の手引き(案)には、管路施設における防食被覆工法を選定する上で、現地の管路環境における検討項目や防食被覆工法

表5 既設マンホールにおける防食工法選定のポイント

	使用材料	施工環境	養生環境
塗布型ライニング工法	マンホール内環境(流水, 硫化水素ガス濃度, 温度, 空間など)に応じた施工時間を含む施工環境や養生環境と塗付け型, 吹付け型の施工法に適した使用材料を使用する	温度5~35℃, 湿度85%以下, 表面水分5%以下とする	温度5~35℃, 湿度85%以下, 養生期間については防食被覆材料製造業者が指定する期間とする。養生中の温度, 湿度については, 防食被覆材料製造業者が指示する養生条件がある場合はその数値を適用できる
シートライニング工法	シートライニング工法の防食被覆層は, シートおよび目地材からなる防食被覆層全体を指すものである。工場製作されたシート材料をマンホール内部で組み立てる(または貼り付ける)工法であり, マンホール内環境(空間など)による施工環境に適した使用材料を使用する	『下水道コンクリート防食工事施工・品質管理の手引き(案)』((一財)下水道事業支援センター)を参考に, 施工環境温度を平均気温5℃以上または1日の最低気温2℃以上最高気温35℃以下とし, 施工環境湿度は85%以下とする	養生期間においては各工法仕様による
モルタルライニング工法	耐硫酸モルタル防食工法として, 高炉スラグセメント系モルタルとアルミナ系モルタルが用いられる	耐硫酸性モルタル防食工法の施工環境は, 温度5~35℃, 湿度50%以上から結露を生じない範囲とする	マンホールの蓋を開けた後は結露が発生しやすい環境となるため, 耐硫酸モルタルの塗付け完了から蓋を閉めるまでの時間(蓋を開けた状態での養生時間)は, 材料製造業者へ確認し, 所要の時間を確保する

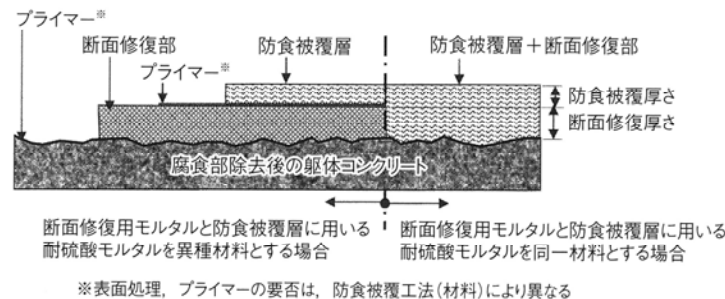


図2 モルタルライニング工法の標準的な模式図

における施工の品質管理において, 温度・湿度管理や安全管理が可能である工法を選定する必要がある。また, JS防食技術マニュアルでは, 設計腐食環境としてI~IV類の設定を検討し, 防食被覆工法の規格としてA~D種から選定することを標準としている。

5 対応事項と課題

5.1 断面修復について

JS防食技術マニュアルにおいて, 既設コンクリートの断面修復を次のように記載している。断面の修復は, コンクリート腐食部分を完全に除去したのち, 元の断面に修復し, 既設コンクリート躯体と一体化させることにより, 構造物

の機能性および耐久性を確保するとともに, 防食の被覆素地面を形成するために行うとしている。

先述の表2に示した腐食判定がAランクやBランクでは, 断面修復が必要となる。この場合JS防食技術マニュアルのモルタルライニング工法では, 二つの方式が示されている(図2)。

設計中などの現地におけるマンホール躯体の条件を把握してコンクリート面がAランクやBランクの場合に断面修復が必要となり, 断面修復用モルタルと防食被覆層に用いる耐硫酸モルタルが異種材料か同一材料かというJS防食技術マニュアルによる図2に示した二つの選択ができる。経済性を加味して同一材料で可能な工法を選択するという方法もあることから, 採用可能な工法であることを確認する必要がある。

また, 防食被覆層に用いる耐硫酸モルタルが断面修復用モルタルと同一材料である場合にコンクリート躯体の耐荷性能上も兼ね備えていれば断面厚さを低減することができるという考え方の技術もある。

5.2 耐用年数について

防食被覆工法の耐用年数は, 国の通達から内部防食の標準的な耐用年数10年を規定している(平成28.4.1 国水事第109号下水道事業課長通知)。このため一般的には, 10年を確保できる性能(耐久性など)を有する仕様として設定している(例えば, JS防食技術マニュアルに記載の性能保証書の書面提出など)。

しかし, 管路施設であるマンホール躯体や管渠を含めて50年耐用が求められることがある。例えばシートライニング工法技術の中には, 10年以上に設定することが可能な技術もあることから, 一部の工事発注機関において10年以上に設定した仕様とする事例がある。

こうしたことから, LCC, 脱炭素化, 環境負荷低減を含めた検討や, 国や自治体, 関連団体, 民間技術保有会社などによる議論や意思形成をさらに重ねていくことも求められる。

5.3 施工管理での対応と課題

マンホール躯体の防食工法は, 腐食環境や劣化状況に応じて工法を使い分けるのが望ましいが, マンホールは処理場とは違い, 道路上に設置されていることが多く, 常に汚水が流れるという条件が多く, 高湿度環境である。

例えば, 防食するにあたって, ①マンホール蓋を24時間開けた状態で乾燥状態を作れるか②汚水を止めることができるか③水替えなどの仮設工法が採用できるか——などの検討が必要である。

実際, 防食施工管理の手引き(案)などにも塗布型ライニング工法の施工環境は湿度85%以下や, 耐硫酸モルタル防食工法の場合は湿度50%以上から結露を生じない範囲などと記述されており, 当然養生の環境条件も同様となっている。特にマンホール蓋を閉めると結露が発生しやすい環境となるため留意が必要である。また, マンホールにおける防食工法の施工管理は, マンホール設計・施工の手引き(案)などに従い, 適切に行う必要がある。

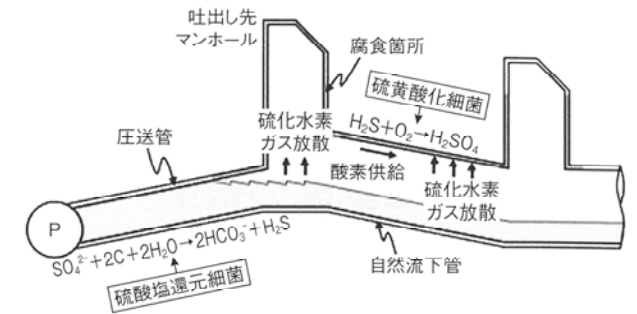


図3 圧送管吐出先の管路施設におけるコンクリート腐食の概念図(「ストックマネジメントの手引き」より引用)

6 おわりに

硫化水素に起因する硫酸によるコンクリート腐食への対策として, 防食被覆層の基本的な性能が示されている。しかし, 防食被覆層は下水が処理される過程で下水中のさまざまな成分に暴露されており, これらも防食被覆層に影響を与えることが懸念されている。有機酸によって劣化する可能性のある部位については, JS防食技術マニュアルにおいて有機酸に対する化学的安定性を要求性能とし, 耐有機酸性の品質規格を塗布型ライニング工法およびシートライニング工法で規定している。このほかの腐食要因として, 高濃度炭酸やオゾンなどに対する品質規格も研究開発, 技術の実用化を加速させていく必要がある。

また, 2015年の改正下水道法において維持修繕基準が創設され, 点検の基準として腐食するおそれ大きい排水施設については5年に1回以上の頻度で点検することとして具体的な箇所などが規定され, 事業計画に定めることが義務付けられた。図3に示すような個所が例示されており, 必要に応じた腐食対策を講じることが求められる。この際に, 防食工法の対象施設としてマンホールと接続している管渠の部分も該当する場合が考えられる。先述したように, 管渠は, 更生工法で対応する事例が多いが, 防食工法としても効果的な対策が可能であり, 具体的な考え方の整理が必要だろう。