

「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 日本下水道事業団編)」の改訂について

地方共同法人 日本下水道事業団 技術戦略部 技術基準課

桑 嶋 知 哉

一般財団法人 日本塗料検査協会 西支部 検査部 佃 洋 一

1. はじめに

「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」は、1987年に制定された「コンクリート防食塗装指針(案)」及び1991年に制定された「コンクリート防食指針(案)」をベースに2002年に制定された技術書で、2007年に改訂された後、2012年に「平成24年4月版」としてリニューアルされた。本マニュアルは、下水道施設内で生成する硫化水素に起因する硫酸によるコンクリート構造物の腐食対策として、設計・施工及び維持管理に関する具体的な手法を示すもので、コンクリート構造物の耐用年数を可能な限り長く保持することを目的として作成されている。今回、本マニュアルで改訂された内容の一部について解説するとともに、各腐食対策工法の品質規格に基づく試験に関し、方法の概要及び実施状況等を紹介する。

2. コンクリート被覆工法

従来、下水道関連施設での処理場(ポンプ施設、水処理施設、汚泥処理施設等)に適用するために作成された「コンクリート防食指針(案)」は、コンクリート構造物を腐食環境から遮断し、健全な状態で維持することを目的に定められた。腐食抑制技術としては、主に、有機系防食被覆材料により防食被覆層を形成させる防食工法(コンクリート被覆工法)が有効なコンクリート腐食対策として採用されてきた。技術の進歩により、現在では、セメントモルタル及びポリマーセメントモルタル等の無機系材料の研究開発が進み、モルタル単独使用で防食被覆層の形成が可能で、十分な耐硫酸性と耐久性を有する「耐硫酸モルタル防食工法」が新たなコンクリート被覆工法として確立されている。また、被覆層の耐用年数を高めるために、材料自体の耐硫酸性の向上や、コンクリート躯体のクラックに対する追従性を高めるための開発が進められてきている。コンクリート被覆工法は、定期的な点検・補修・改築が必要であることは言うまでもなく、工事の施工上の安全管理や被覆層廃棄時の対応についても配慮が必要である。コンクリート被覆工法には、以下の工法があり、設計腐食環境別に適用される工法を選択する。なお、設計腐食環境は、H₂Sガスの発生 の程度に基づき、腐食環境がⅠ～Ⅳ類に分類され、点

検・補修・改築の難易により、防食設計の判断基準が分類されている。詳細については、3.2に示す。

①塗布型ライニング工法

コンクリート表面に防食被覆材料を塗布することで、被覆層を形成する工法であり、点検・補修・改築が困難とされる設計腐食環境Ⅰ類を除く(点検・補修・改築が容易な場合は適用可)Ⅰ～Ⅳ類に適用されており、A・B・C・D種の工法がある。各工法の品質規格を表-1に示す。

表-1 塗布型ライニング工法の品質規格

項目	工法規格	A種	B種	C種	D種
被覆の観		被覆にしわ、むら、はがれ、われのないこと。	同左	同左	同左
コンクリートとの接着性		標準状態 1.5N/mm ² 以上 吸水状態 1.2N/mm ² 以上	同左	同左	同左
耐酸性		pH3の硫酸水溶液に30日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。	pH1の硫酸水溶液に30日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。	10%の硫酸水溶液に45日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。	10%の硫酸水溶液に60日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。
腐食侵入深		—	—	10%の硫酸水溶液に120日間浸漬した時の侵入深さが設計厚さに対して10%以下であること、かつ、200μm以下であること。	10%の硫酸水溶液に120日間浸漬した時の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。
耐アルカリ性		水酸化カルシウム飽和水溶液に30日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。	同左	水酸化カルシウム飽和水溶液に45日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。	水酸化カルシウム飽和水溶液に60日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。
透水性		透水量が 0.30g以下	透水量が 0.25g以下	透水量が 0.20g以下	透水量が 0.15g以下

注) 腐食侵入深さにおける設計厚さは、各工法の防食被覆材料製造業者が規定する設計厚とする。

②シートライニング工法

工場作製した耐硫酸性成形シートで被覆する工法であり、ライニング材自体が工場製作のため、シート自体の欠陥がなく、塗布型ライニング工法と比較して、施工による腐食性能への影響が少ないと考えられている。より高い要求性能が求められる設計腐食環境Ⅰ類及び点検・補修・改築が困難とされる設計腐食環境Ⅱ類での適用が可能である。シートライニング工法の品質規格を表-2に示す。

表-2 シートライニング工法の品質規格

項目		工法規格	D種
被覆の外観	種類		被覆にしわ、むら、はがれ、われのないこと。
コンクリートとの固着性			0.24N/mm ² 以上
耐酸性			10%の硫酸水溶液に60日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。
腐食侵入深さ	シート部		10%の硫酸水溶液に120日間浸漬した時の侵入深さが設計厚さに対して1%以下であること。
	目地部		10%の硫酸水溶液に120日間浸漬した時の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。
耐アルカリ性			水酸化カルシウム飽和水溶液に60日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。
透水性			透水量が0.15g以下

注1) 目地部の腐食侵入深さは、樹脂系目地材について適用する。樹脂系目地材以外の目地処理材については、シート部の腐食侵入深さを適用する。
 注2) 腐食侵入深さの設計厚さは、各工法の防食被覆材料製造業者が規定する設計厚とする。

③耐硫酸モルタル防食工法

コンクリート表面に耐硫酸性に優れるモルタル材料を塗布し、被覆層を形成する防食工法（平成24年4月版より追加）であり、点検・補修・改築が困難とされる設計腐食環境Ⅱ類を除く（点検・補修・改築が容易な場合は適用可）Ⅱ、Ⅲ類に適用されており、本工法については3.1にて後述する。

3. 2007年版からの主な改訂のポイント

今回の改訂は、2007年の改訂から5年が経過し、新たな防食被覆工法の開発、工法規格や劣化部除去に伴う排水処理の明確化などへの対応が必要となったことから、次に挙げる方針に基づいての記載内容や構成の見直しが行われた。

・防食被覆工法の追加

従来の塗布型ライニング工法、シートライニング工法に加えて「耐硫酸モルタル」防食工法を追加

・設計腐食環境と工法規格関係の改訂

設計腐食環境（年間平均H₂Sガス濃度）と防食設計の判断基準（点検・補修・改築の難易）の組合せと工法関係の改訂

・補修工事等における劣化部除去工の排水処理事項追加

補修工事等における劣化部除去に伴い発生する排水について、関係法令に従った適切な処分に関する記載を追加

そこで、今回は防食被覆工法の追加及び設計腐食環境と工法規格関係の改訂について、以下に解説する。

3.1 新たに追加された「耐硫酸モルタル」防食工法について

耐硫酸モルタル防食工法とは、通常モルタルと比較して硫酸による腐食速度が遅いモルタル（＝耐硫酸モル

タル）を施工することにより、コンクリート構造物を防護するものである。この工法は、防食被覆層の劣化（溶解）を前提とした設計法であり、腐食環境下において時間の経過とともに厚みに変化が生じる。従って、断面変化による影響が懸念される施設には適用は困難である。しかしながら、本工法は、塗布型ライニング工法、シートライニング工法と比較した場合、湿潤環境下での施工性に優れており、作業環境や施工条件が厳しい（施工箇所が高湿度、施工に時間的制約）場合でも優位となる。なお、本工法に求められる基本的な要求性能は、①腐食環境下で生成された硫酸に対する「耐硫酸性」②生成された硫酸をコンクリート躯体または、断面修復部に浸透させないための「遮断性」③コンクリート躯体と一体化して、防食被覆層としての機能を発揮するための「接着安定性」の3項目であり、表-3に示す項目が要求性能項目として規定されており、他の品質規格（塗布型ライニング工法・シートライニング工法など）と同様、公的機関における試験において、品質規格に適合したものでなくてはならないとされている。

また、耐酸性及び硫酸浸透深さの試験は、耐硫酸モルタル単独での品質試験とし、耐硫酸モルタル表面への含浸材、表面被覆材等を施工する表面保護工法との複合工法は本マニュアルの適用範囲外とされている。

表-3 防食被覆層に用いる耐硫酸モルタルの品質規格

		B種	C種
圧縮強度	材齢28日	24N/mm ² 以上	
接着性	材齢28日	1.5N/mm ² 以上	
長さ変化率	材齢28日	-0.1%以上	
耐酸性		5%の硫酸水溶液に112日間浸漬した時の重量変化率が±10%以内であること。	
硫酸浸透深さ 注1)		5%の硫酸水溶液に112日間浸漬した時のフェノールフタレインの非呈色深さが、10.5mm以下であること。	5%の硫酸水溶液に112日間浸漬した時のフェノールフタレインの非呈色深さが、6.0mm以下であること。

注1) 5%硫酸水溶液の浸漬期間112日間で非呈色深さ2mm以下の結果となった耐硫酸モルタルは、非呈色深さを2mmとして扱うものとして試験を終了できる。あるいは、2mm以上の非呈色深さが認められるまで試験を継続して、浸漬期間112日に換算した硫酸浸透深さとしても良い。

3.2 設計腐食環境と工法規格関係の改訂

今回の改訂で追加した耐硫酸モルタル防食工法を含めた防食工法選定に使用する設計腐食環境の設定に用いられる「腐食環境分類」を表-4、「防食設計の判断基準（点検・補修・改築の難易）」を表-5に、また、「設計腐食環境と工法規格の関係」を表-6にそれぞれ示す。

表-4 腐食環境分類

分類	腐食環境
I類	年間平均 H ₂ S ガス濃度が 50 ppm 以上 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
II類	年間平均 H ₂ S ガス濃度が 10 ppm 以上 50 ppm 未満 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
III類	年間平均 H ₂ S ガス濃度が 10 ppm 未満 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
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

なお、表-4 に示す腐食環境分類は

- ① H₂S ガス濃度
- ② 気温
- ③ 湿度

④ 水の乱れによるコンクリート表面への栄養分供給等を考慮し、年間平均 H₂S ガス濃度を腐食環境の代表値として表-4 のように分類を行っている。

表-5 防食設計の判断基準（点検・補修・改築の難易）

分類	判断基準
容易	代替施設があり、更新時に休止できる。 仮施設が建設でき、総合的に経済的である。 日常点検・定期点検が可能である。
困難	構築後、狭いため人が入りにくい。 代替施設がないので休止期間を長期間とれない。 代替施設を建設するのが、総合的に不経済である。 腐食環境の改善が困難である。 日常点検・定期点検が困難である。

表-6 設計腐食環境と工法規格の関係

		工法規格				
		塗布型ライニング工法		シートライニング工法	耐硫酸モルタル防食工法	
設計腐食環境	I類	D種	-	D種	-	
	II類	C種	D種	-	D種 C種 -	
	III類	B種	C種	-	B種 C種	
	IV類	A種		-	-	
点検・補修・改築の難易	容易	困難	容易	困難	容易	困難

また、設計腐食環境と工法規格関係の改訂に伴い、2007年版で塗布型ライニング工法の品質規格 D₁種だったものが D種に、シートライニング工法の品質規格 D₂種も D種に名称が変更されている。

4. 各試験の紹介

日本塗料検査協会では、「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（平成 24 年 4 月版）」に制定されている品質規格〈塗布型ライニング工法（A～D種）、シートライニング工法（D種）、防食被覆層に用いる耐硫酸モルタル、端部処理に用いるシーリング材、断面修復用モルタル〉についての試験が可能である。以下に試験の一部を紹介する。

4.1 防食被覆層に用いる耐硫酸モルタルについての試験例

〈試験項目：硫酸浸透深さ〉

防食被覆層には硫酸の浸透を遮断する性能が要求されるため、防食被覆層に用いる耐硫酸モルタルには、硫酸浸透深さに対する品質が規定されている。

（試験方法の概要）

5%の硫酸水溶液に 112 日間、試験体を浸漬し、割裂後、フェノールフタレインを噴霧した後、非呈色深さを測定する（図-1）。



図-1 硫酸浸透深さの試験体（フェノールフタレイン噴霧後）

4.2 塗布型ライニング工法・シートライニング工法についての試験例

〈試験項目：硫黄侵入深さ試験〉

下水道施設内で生成する硫化水素に起因する硫酸の発生により、硫酸が躯体に侵入することで、コンクリート腐食も進行し、補修が必要となる。それに伴うコストも多大なものとなり、防食被覆層は、生成された硫酸を浸透させないための遮断性が要求される。本マニュアルでは硫黄の侵入深さにより、防食被覆層の遮断性に対する品質が規定されている。

（試験方法の概要）

10%の硫酸水溶液（23 ± 2℃）に、120 日間浸漬した試験体を用い、防食被覆層表面から、どの程度の深さまで

硫黄（S）が侵入したかについて、電子線マイクロアナライザー（図-2）を用いて規定された測定条件で測定を行う。マッピング像（図-4）において、表面からの硫黄侵入深さを計測する（試料のバックグラウンドから15カウント以上の領域）。

＊硫黄侵入深さ分析条件

- 加速電圧：15 kV
- 照射電流：100 ± 10 nA
- 電子ビーム径：2 μm
- サンプリング時間：50 ms
- データポイント：512 × 512

（参考として、図-3に塗膜の断面の反射電子像を示す。）



図-2 電子線マイクロアナライザーを用いた硫黄侵入深さ試験の測定状況

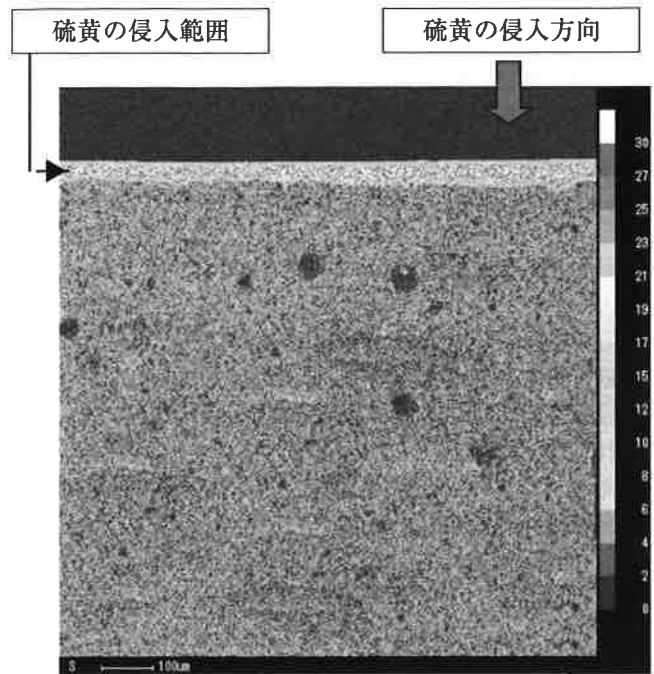


図-4 マッピング画像（測定対象：硫黄S）

<試験項目：透水性>

防食被覆層の有すべき機能の一つとして防水性がある。本マニュアルでは、防食被覆層の品質として、圧力下における遮水性能により、防食被覆層の防水性に対する品質が規定されている。

（試験方法の概要）

養生終了の試験体に0.29MPaの水圧を1時間かけ（図-5）、前後の質量差を測定し、防食被覆層の水に対する遮断性能を評価する。

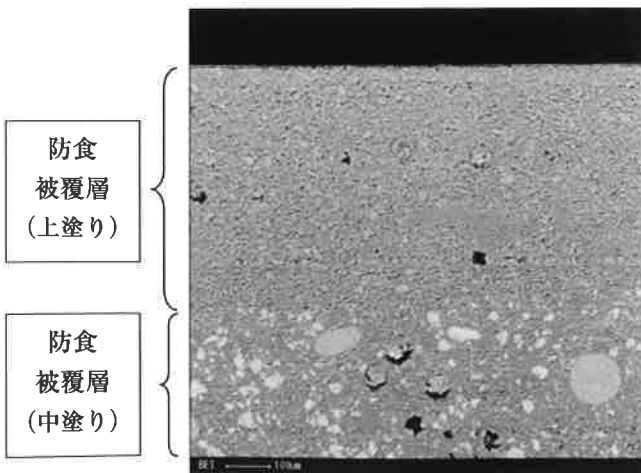


図-3 防食被覆層の断面（反射電子像）



図-5 透水性試験状況

5. おわりに

今回、5年ぶりの改訂のあった「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」について、改訂内容及び試験の一部を紹介した。当初のマニュアルから見ると、仕様規定から性能規定へと移行している。性能規定とはプロセスは求められずに結果を求める方法であり、材料や工法等のプロセスを規定しない性能規定の導入によって、技術者の裁量が広がり、新技術が導入しやすくなるため、今後も新たな工法が開発されてくるであろう。また、それに対応する新たな品質規格・試験方法も制定されて行くものと思われる。日本塗料検査協会でも、品質規格・試験方法等の新規制定・改訂があれば、すぐに対応できる体制の整備・拡充を行う所存である。なお、本解説は、以下に示す文献を参考に概要をとりまとめたものである。

- 1) 桑嶋知哉. 「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」の改訂. コンクリート工学. 2012, Vol. 50, No. 11, p. 993 - 997
- 2) 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 (平成 24 年 4 月)」