

内面エポキシ樹脂粉体塗装 ダクタイル鉄管について

JDPA T 47



一般社団法人

日本ダクタイル鉄管協会

目 次

はじめに	1
1. エポキシ樹脂粉体塗料	2
2. エポキシ樹脂粉体塗料の性状及び成分	3
2.1 性状	3
2.2 成分	3
3. エポキシ樹脂粉体塗料の塗装方法及び塗装工程	6
3.1 塗装方法	6
3.2 塗装工程	7
4. 内面ライニングに要求される防食性能	8
5. エポキシ樹脂粉体塗装の特徴	9
5.1 耐久性	9
5.2 水質衛生性	9
5.3 品質	9
6. エポキシ樹脂粉体塗膜の性能	10
6.1 耐久性に関する性能	10
6.2 水質衛生性に関する試験結果	15
6.3 塗料の性能試験結果	17
6.4 下水道腐食環境下における耐食性能試験結果	18
6.5 流速係数 C	20
7. 切管	21
7.1 切管方法	21
7.2 切管部などの補修方法	21
8. 穿孔	27
8.1 穿孔方法	27
8.2 穿孔時の留意点	27
8.3 穿孔部の防食方法	28
9. 取り扱い	29
9.1 取り扱い方法	29
9.2 保管方法	29
10. エポキシ樹脂粉体塗装規格の変遷	30
11. エポキシ樹脂粉体塗装管の採用理由	31

はじめに

近年、水道水の水質に対する関心が高くなってきた。従来は水質を維持するために洗管作業をするのが一般的であり、現在も行われているのが実状である。しかしながら、水資源の有効利用や維持管理業務の軽減といった面から、今後は洗管作業を減らしていく必要があるものと考えられる。

ここに紹介するエポキシ樹脂粉体塗装は、その優れた性能が評価され、小口径異形管においては1973年(昭和48年)頃から、また小口径直管においては1978年(昭和53年)頃から実用に供されて今日に至っている。

以下に、エポキシ樹脂粉体塗装の特徴と内面エポキシ樹脂粉体塗装ダクタイル鉄管の現場作業における留意事項などについて述べる。この内面エポキシ樹脂粉体塗装ダクタイル鉄管によってよりレベルの高い管路を構築し、水質を維持するための洗管作業を削減すると共に、今後の水質に対するニーズに貢献することができれば幸いである。

1. エポキシ樹脂粉体塗料

一般の溶剤型塗料（液状塗料）は、塗膜を形成する樹脂、顔料、添加剤などと溶剤とからなり、塗布した後、溶剤の揮発、樹脂成分の硬化反応を経て塗膜を形成する。

これに対してエポキシ樹脂粉体塗料は、エポキシ樹脂、硬化剤、顔料、添加剤などの成分からなる粉末状塗料で、まったく溶剤を含まず、加熱した被塗物の熱エネルギーにより溶融し、硬化反応を経て塗膜を形成する。

液状塗料と粉体塗料による塗膜形成過程は次の通りである。

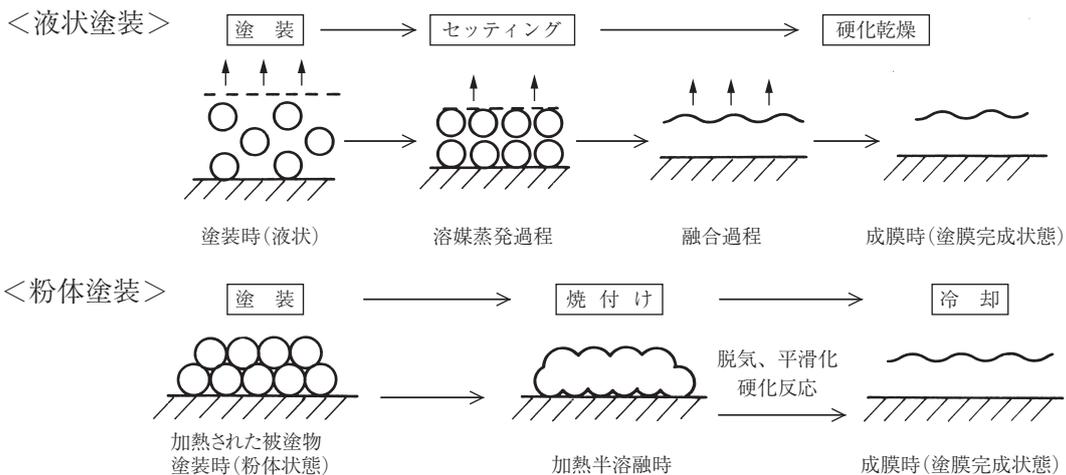


図1 液状塗料、粉体塗料の塗膜形成過程

エポキシ樹脂粉体塗料は以下の特徴をもっている。

- ① 有機溶剤を含んでいない。
塗料の製造時や使用時において公害問題(大気汚染など)、危険物取り扱い、衛生問題、省資源などの面で改善が図られるとともに、塗装時の有機溶剤蒸発に伴う形成塗膜への悪影響（外観、塗膜性能など）が少ない。
- ② 高分子量樹脂を使用している。
従来の液状エポキシ樹脂塗料と異なり、有機溶剤に対する溶解性の制約がないため、高分子量のエポキシ樹脂の使用が可能となり、エポキシ樹脂の持つ優れた塗膜性能を確保している。
- ③ 厚塗りが容易である。
塗料溶融時（焼付工程時）の溶融粘度が高いため、被塗物へのエッジカバー性に優れ、一回の塗装で所定の塗膜厚が得られ有効な保護被膜を形成できる。
- ④ 塗装作業性に優れている。
生産性向上、塗装の自動化、取扱作業の省力化、回収粉体塗料の再利用など、従来の液状塗料と比べて作業性の改善が図られる。

2. エポキシ樹脂粉体塗料の性状及び成分

2.1 性状

粉体塗料は一種の合成樹脂粉末の集合体であることから、従来の液状塗料とは全く異なる独特な性状をもっている。

(1) 粒形

粉体塗料の粒形は原料の種類や製造方法により変化するが、一般的には不定形で多面体である。

(2) 粒度分布

粉体塗料の粒度(粒径)は、5～150 μ mに分布している。

(3) 比重

粉体塗料の固形分の比重は、配合原料や配合量により決定される。一般的な真比重は、1.2～1.8である。

2.2 成分

エポキシ樹脂粉体塗料の成分例を表1に示す。

表1 エポキシ樹脂粉体塗料の成分例

成分	割合(wt%)
エポキシ樹脂	58～62
硬化剤	2～5
顔料	30～40
添加剤	0.5～2.5
合計	100

(1) エポキシ樹脂

粉体塗料の性状および塗膜性能は、主として使用される樹脂の特性によって支配される。そのため樹脂の選択は非常に重要な事項であり、従来の液状塗料の場合と異なり、下記事項が追加要求されるため粉体塗料として特別に設計された樹脂を用いて配合される。

- ① 保存性：常温で固体であるとともに夏場(35℃)でも融着することのないこと。
- ② 他原料との混合性、機械破碎性：適当な粉末樹脂が容易に調整できること。
- ③ 分散性、外観：溶融時の樹脂粘度が低く流動性に富むこと。
- ④ 製造作業性、塗装作業性：溶融温度(硬化温度)と樹脂の分解温度との差が大きいこと。また、静電特性が優れていること。
- ⑤ 品質：硬化塗膜性能が優れていること。

粉体塗料に使用されるエポキシ樹脂は、ビスフェノールFとエピクロロヒドリンから合成される固形エポキシ樹脂である。

従来、ビスフェノールAとエピクロロヒドリンから合成される固形エポキシ樹脂を用いていたが、1998年にエポキシ樹脂粉体塗料に含有されているビスフェノールAが、厚生労働省にて、環境ホルモン作用の疑いのある物質（67物質）の一つとして取り上げられた。その後、環境ホルモンの疑いのある67物質のリストが廃止され、毒性が指摘されている約1000物質から改めて評価されることになった。2005年3月には環境省より、哺乳類に対して影響は認められないが、メダカに対し内分泌かく乱作用を有することが推察されたとの報告がなされた¹⁾。このように、ビスフェノールAの環境ホルモン作用の有無については、未解明な点が多く、結論付けられてはいないが、当協会では、より安全性を考慮し、ビスフェノールFとエピクロロヒドリンから合成される固形エポキシ樹脂を用いることとした。

1) 「化学物質内分泌かく乱作用に関する環境省の今後の対応方針について-ExTEND2005-」 2005年3月、環境省

(2) 硬化剤

粉体塗料の塗膜性能を左右する主原料が樹脂であるとすれば、その樹脂の特性を引き出し、十分な塗膜性能を発揮させる役目を果たすのが硬化剤といえる。粉体塗料の焼付工程時において樹脂と化学反応を起こし、熱硬化性の高分子塗膜を形成させる重要な役割を担っている。

硬化剤に要求される特性は下記の通りである。

- ① 常温で固体であり、粉体塗料製造時においては、使用樹脂との化学反応は起こさず、また、他原料との混合性に優れていること。
- ② 粉体塗装焼付工程での焼付条件（160～230℃）において、使用樹脂と化学反応を起こし、かつ、短時間で反応が完結し、完成塗膜が期待通りの塗膜性能を確保できること。
- ③ 他の配合原料に対して安定であり、保存中も常に硬化剤としての特性を保有していること。

(3) 顔料

粉体塗料の着色はそのほとんどが顔料によって行われる。顔料は粉末（固体）であり、ほかの固体原料とともに混合（分散）使用される。

1) 着色顔料

着色顔料は、一般に、堅牢性、耐薬品性、耐候性、耐熱性、耐溶剤性などの優れた特色をもっている。

粉体塗料に使用される主な着色顔料はカーボンブラック、酸化チタンなどである。

2) 体質顔料

体質顔料はそれ自体着色力はほとんどもたず、次のような目的のために使用される。

- ① 作業性改善：（製造）混練性、粉碎性改善
（塗装）流動性調整
- ② 性能付与：性状改善、電気特性、難燃性

③ 外観変化 : 艶消し、流れ性調整

粉体塗料に使用される主な体質顔料には、硫酸バリウム、シリカ、炭酸カルシウムなどがある。

(4) 添加剤

粉体塗料に対する基本的な性能付与は、樹脂、硬化剤、顔料の選択と配合量の決定によって行われるが、それ以外の関連特性を付与するため、各種添加剤が使用されている。添加剤に要求される事項は次の通りである。

- ① 少量添加にて充分なる効果を発揮できること。
- ② 添加により、粉体塗料の性状、特性、品質に目的以外の変化を発生しないこと。

粉体塗料用添加剤には以下の目的がある。

1) 発泡防止剤

粉体塗装焼付工程時に塗面に発生する大小の発泡を防止し、塗膜の平滑性を確保する。

2) 粉体の流動性付与剤

粉体塗料の粉末状での流動性を改善し、塗装作業性を向上させる。

これら添加剤の添加量は通常粉体塗料に対して0.5～2.5%程度であり、その成分は化学薬品、合成樹脂、金属酸化物などである。

3. エポキシ樹脂粉体塗料の塗装方法及び塗装工程

3.1 塗装方法

粉体塗料の塗装方法としては、

- ① 回転吹き付け法
- ② 静電塗装法
- ③ 流動浸漬法
- ④ 溶射法

など種々の方法があり、各々特徴がある。

一般に、ダクトイル直管には回転吹き付け法、異形管類には静電塗装法が採用されている。

(1) 回転吹き付け法

空気などを利用してエポキシ樹脂粉体塗料を圧送し、回転する管に吹き付けて塗装する方法である。

この方法は主に直管に採用されており、均一に塗装するため、予熱した管（160～230℃）を回転させながら塗装する。

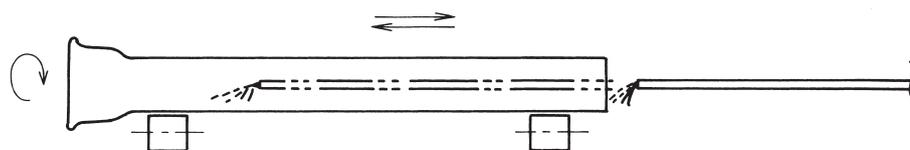


図2 回転吹き付け法

(2) 静電塗装法

粉体塗料をスプレーガンに送り、そのノズルの先で高電圧（4万～8万ボルト）によりイオン化された空気によってマイナスに帯電させ、あらかじめ予熱しておいた被塗物にクーロン力で付着させ、粉体塗料が溶融して塗膜とする方法で、均一な塗膜厚が得られるため異形管類に主に使用されている。

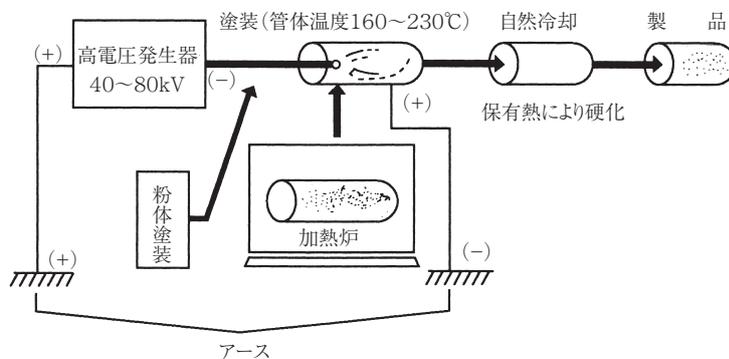


図3 静電塗装法

(3) 流動浸漬法

管を予熱しておいて、流動化したエポキシ樹脂粉体塗料槽に浸漬し、管の表面に塗料を融着させた後、管の保有熱でそのまま硬化させるか、またはその後必要に応じて加熱焼き付けさせる。この方法は、接合部品に用いることがある。

(4) 溶射法

粉体塗料をスプレーガンの先端で炎によって熔融させて、予熱された被塗物に吹き付ける方法であるが、塗膜の品質にバラツキが生じ易いため、現時点ではあまり利用されていない。

3.2 塗装工程

内面粉体塗装管の塗装工程例を図4に示す。

(参考としてモルタルライニング管の工程も併せて示す)

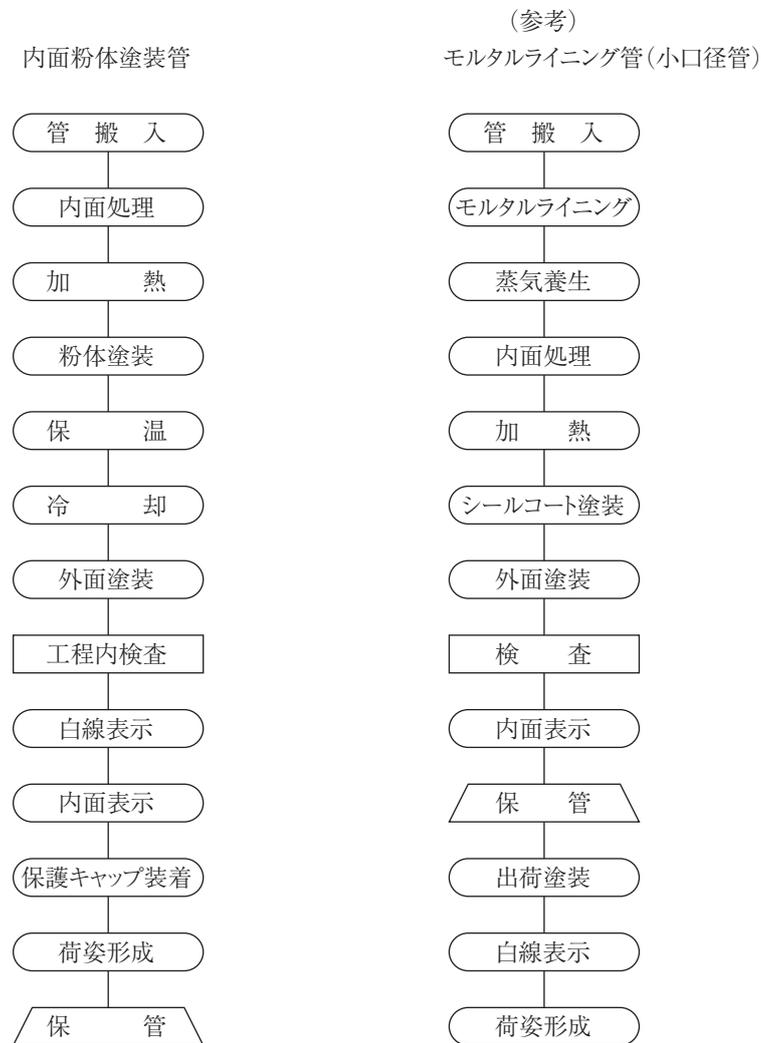


図4 内面エポキシ樹脂粉体塗装の工程例

4. 内面ライニングに要求される防食性能

ダクタイル鉄管の内面は、長期間いろいろな水と接触するため次のような防食性能が要求される。

- ① 水質に悪影響を与えないこと。
- ② 管に対する防錆力が優れていること。
- ③ 管の内面への密着性が優れており、長期間の通水によっても密着力の低下がないこと。
- ④ 塗膜が損傷されにくいこと。
- ⑤ たとえ局部的な損傷を受けた場合でも、これが起点となって塗膜の密着性が低下しないこと。

5. エポキシ樹脂粉体塗装の特徴

エポキシ樹脂粉体塗装は溶剤型塗装に比べて、多くの優れた特徴がある。

5.1 耐久性

(1) 材料

塗料は本来、より高分子の樹脂を活用するほうが、塗膜性能の向上が図れる。

粉体塗料に使用するエポキシ樹脂は低粘度のエポキシ樹脂塗料（現地塗装に用いる無溶剤型塗料）や溶剤型塗料に比べて基本的には高分子の樹脂が用いられるため、耐水性や耐塩水性など防食性能が優れている。

(2) 密着性

一般にエポキシ樹脂は、いろいろな樹脂の中でも特に優れた密着性を有し、エポキシ樹脂粉体塗膜の密着性も良好である。塗膜の密着力を測定したところ、 $4.9\sim 9.8\times 10^6\text{ N/m}^2$ （ $50\sim 100\text{ kgf/cm}^2$ ）の値が得られた。

5.2 水質衛生性

一般に、溶剤型塗料は硬化乾燥が不十分であった場合、臭気などで水質に悪影響を与えることがある。一方、エポキシ樹脂粉体塗料は高分子のエポキシ樹脂を用いた溶剤を含まない焼付型塗料であるため、飲料水に対して溶剤臭を与えたりせず、水に溶解する低分子化合物もないなど衛生性に優れている。

5.3 品質

エポキシ樹脂粉体塗装は異形管のような様々な形状でも、静電塗装方法を用いれば、所定の膜厚が得られる。また、焼付塗装であり、乾燥工程がないため塗装ラインを自動化することができ、より高度な品質管理を行うことが可能である。

6. エポキシ樹脂粉体塗膜の性能

6.1 耐久性に関する性能

エポキシ樹脂粉体塗膜の耐久性を調べるために行った、種々の性能試験結果を以下に示す。

(1) 耐水性

侵食性の強い地下水(遊離炭酸=約60mg/L、pH=5.8、ランゲリア指数=-2.6)が流れる管路で、約15年間にわたって試験を行った。

その結果、エポキシ樹脂粉体塗膜は良好であった。なお、同時に行ったタールエポキシ樹脂塗装には、塗膜の膨れが多く発生していた。

通水試験結果を表2に示す。

表2 通水試験結果(15年間)

No.	内面塗装仕様	塗膜の厚み(mm)	観察結果
I	エポキシ樹脂粉体塗装	0.3~0.4	異常は認められず良好
II	タールエポキシ樹脂塗装	0.3~0.4	φ1~φ2の膨れが多く認められた

(2) 耐塩水性

クロスカットを入れた試験片を3%食塩水中に約5年間浸漬した。

その結果、クロスカット部の一部に軽微な発錆はあるものの、塗膜のはがれ・膨れ・しわなどの異常は見られず良好であった。

その結果を写真1に示す。

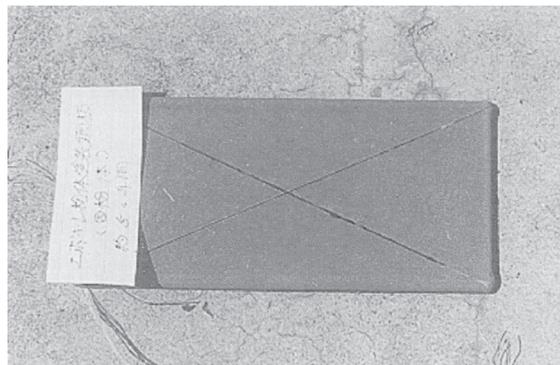


写真1 3%食塩水浸漬試験結果(5年間)

(3) 耐冷温水繰り返し性

55℃の温水と15℃の冷水が4時間ずつ交互に流れる試験管路で、約5年間にわたって通水試験を行った。

その結果、エポキシ樹脂粉体塗膜は良好であった。その試験結果を写真2に示す。

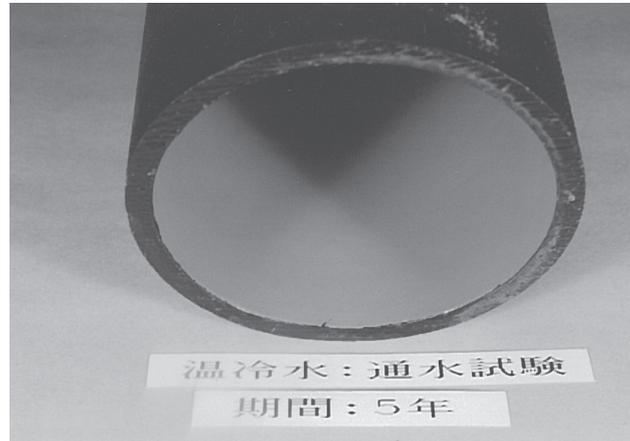


写真2 耐冷温水繰り返し試験結果（5年間）

(4) 耐酸性

塩酸を用いて調整したpH2の強酸性水が流れる試験管路で、約13年間にわたって通水試験を行った。

その結果、エポキシ樹脂粉体塗膜は良好であった。その試験結果を写真3に示す。

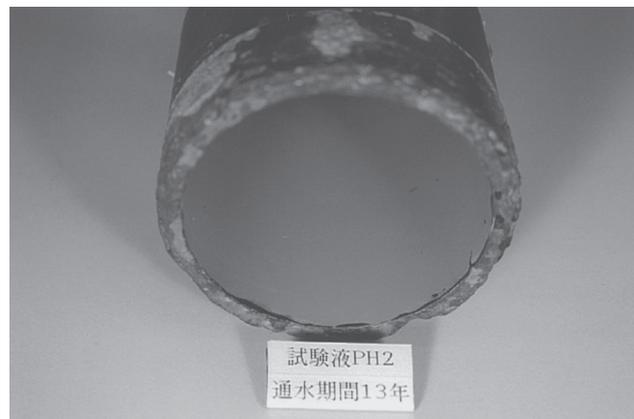


写真3 耐酸性試験結果（13年間）

(5) 耐摩耗性

エポキシ樹脂粉体塗膜は、硬く、耐摩耗性にも優れている。このことを確認するために、以下の2種類の試験を実施した。

1) 摩耗輪による試験

JIS K 7204「摩耗輪によるプラスチックの摩耗試験方法」に規定されているプラスチックの摩耗試験法に準じて、試験を行った。

その結果は、エポキシ樹脂粉体塗膜の摩耗量はタールエポキシ樹脂塗膜に比べて摩耗質量が約半分であった。

(試験条件：摩耗輪=GC-150H、塗装片の回転数=1000回、塗料片の荷重=9.8N)

2) スラリ通水試験

水と珪砂を混ぜたスラリを、約2.5m/秒の高流速で流すという厳しい摩耗条件での通水試験を、約1年間にわたって行った。

その結果、エポキシ樹脂粉体塗膜には、摩耗はほとんど認められず良好な状態を維持していた。

(6) 耐候性

非常に過酷な条件の中近東で約4年間、その後国内で7年間、計約11年間にわたる暴露試験を実施した。

その結果、塗膜表面に白亜化(チョーキング)現象は認められたものの、塗膜の水質への悪影響は認められず、また塗膜の密着力の変化は、認められなかった。

(7) 耐真空性

エポキシ樹脂粉体塗装管の両端に栓をした後、管内の真空度を72%まで減圧し、1時間静置したが、塗膜の外観、密着性に変化は認められなかった。

(8) 掘り上げた経年管の各種性能

最長39年間使用された経年エポキシ樹脂粉体塗装管を掘り上げ、耐久性に関する調査を行った結果を以下に示す。

調査結果より、内面エポキシ樹脂粉体塗装管は、優れた耐久性を有していることが確認された。

① JWWA G 112「水道用ダクタイル鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装」の規定項目の調査結果

塗膜外観、塗膜厚さ、ピンホールの有無を調査した結果、JWWA G 112に示す品質を保持していることを確認した。

掘り上げ管を半割りにし、管内面を水洗いした後の塗膜外観を写真4～写真6に示す。

いずれの粉体塗膜も、発錆等の異常は認められず良好であった。

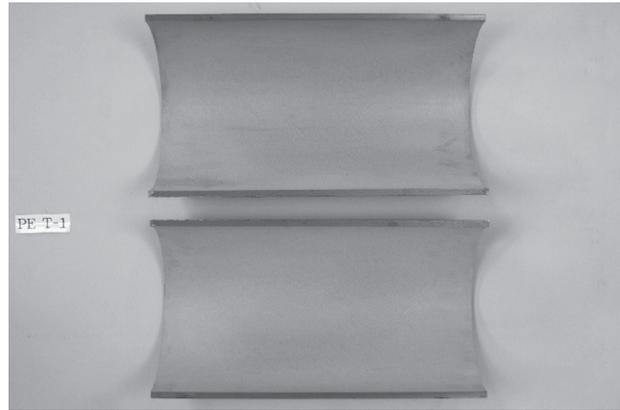


写真4 39年間使用された粉体塗膜
(異常認められず良好、呼び径200直管)



写真5 35年間使用された粉体塗膜
(異常認められず良好、呼び径150 45° 曲管)



写真6 30年間使用された粉体塗膜
(異常認められず良好、呼び径100 45° 曲管)

② 耐久性に関する調査結果

粉体塗膜の付着強さを図5に、吸水率を図6に、インピーダンスを図7に、塗膜表面からの塩素浸透深さを図8に示す。布設後39年後においても、塗膜の付着強さは新品と同等、吸水率は低い状態を維持し、インピーダンスは優れた防食性能を示す領域にあった。塩素浸透深さは、塗膜の厚さ300 μm に対して20 μm 以下で、塗膜厚さの1割未満と小さな値であった。以上のことから内面エポキシ樹脂粉体塗装は優れた長期耐久性を有することが確認できた。

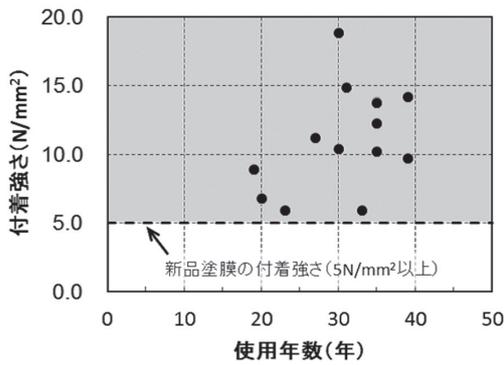


図5 塗膜の付着強さ
(JIS K 5600-5-7)

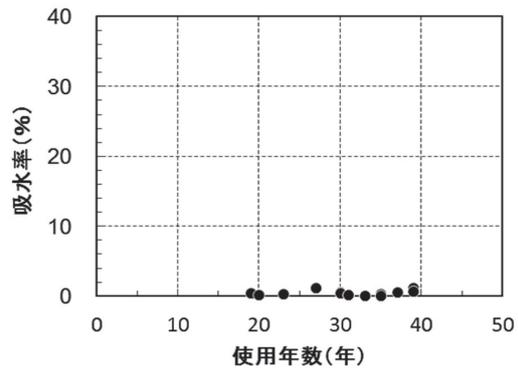


図6 塗膜の吸水率
(JIS K 7209)

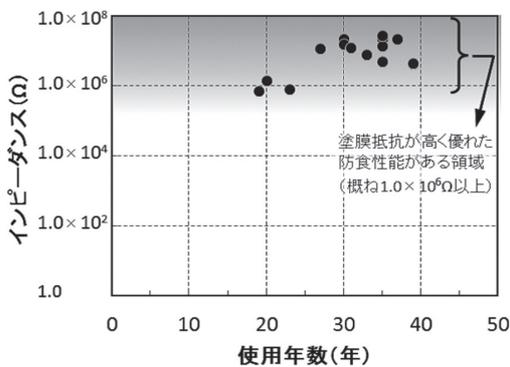


図7 塗膜のインピーダンス
(JIS K 5400-2001)

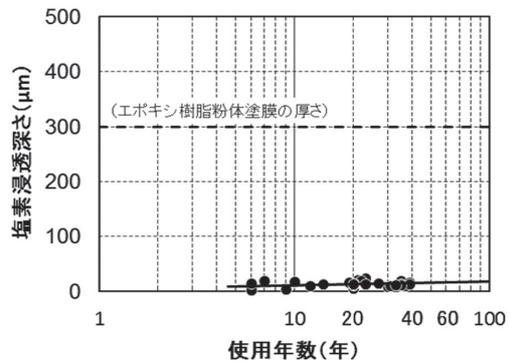


図8 塗膜の塩素浸透深さ
[EPMA (電子線マイクロアナライザ) による]

6. 2 水質衛生性に関する試験結果

(1) JWWA G 112に基づく浸出試験

JWWA G 112「水道用ダクタイル鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装」に基づく浸出試験を行った結果、全ての項目とも基準値を満足した。

(2) JWWA G 113, 114附属書2に基づく浸出試験

JWWA G 113, 114附属書2「水道用ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品浸出性及び浸出試験方法」に基づく浸出試験を行った結果、全ての項目とも基準値を満足した。

(3) 水質基準（1992年）

浸出水が水質基準項目、快適水質項目及び監視項目（計85項目）を満足するかどうかを試験した結果、全ての項目とも基準値又は目標値を満足した。

なお浸出条件は、JWWA K 139「水道用ダクタイル鋳鉄管合成樹脂塗料」に準じた。

(4) 長期間湛水試験

JWWA G 113, 114附属書2「水道用ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品浸出性及び浸出試験方法」により浸出操作を行い、水質変化を調査した。なお、供試管はφ75×300mm Lとし、管の中に供試水を入れて、両端に栓をし、約2週間にわたって行った。また、ブランクとしてガラス製容器にも充水し同様の調査を行った。その結果を図9～図11に示す。

エポキシ樹脂粉体塗装管はpH上昇が認められず、残留塩素消費量は少なかった。

また、TOC（全有機炭素）浸出量も少なかった。TOCについては、液状エポキシ樹脂塗装管は、規定の浸出時間（16時間）で規格を満足している。（滞留時間が極端に長くなった場合、TOCが上昇する傾向にある。）

(5) 変異原性試験

変異原性試験（Ames試験）は、化学物質の発ガン性のスクリーニング試験として用いられている。この試験を、塗膜浸出水（浸出時間=24時間）について行った結果、変異原性は認められなかった。

(6) 亜急性毒性試験

硬化粉体塗膜について、人の口に入った場合の長期毒性に対する安全性を評価するため、化学物質審査規制法の毒性試験法ガイドラインに基づきスクリーニング毒性試験を実施した。

この試験では、哺乳類（ラット）に28日間反復的に粉体塗膜を投与した後に、ラットの成育状況調査、体重測定、摂餌量調査、臨床検査、病理検査を行った。

その結果、投与群に異常は認められなかった。

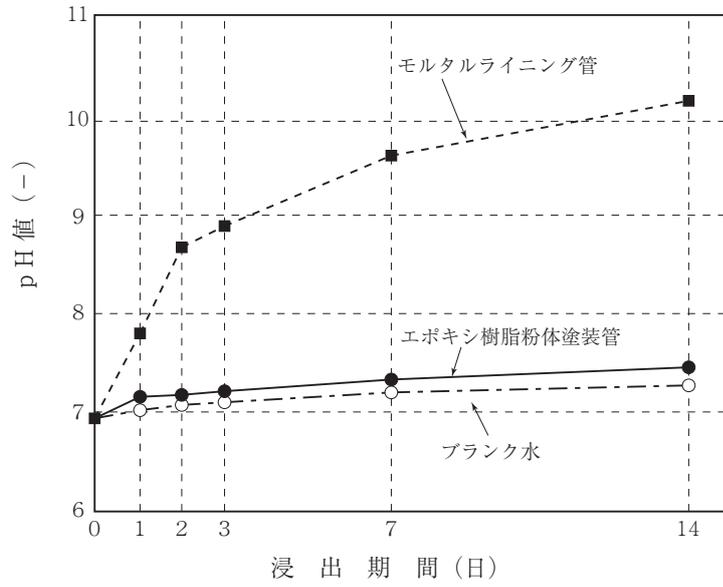


図9 pHの経時変化

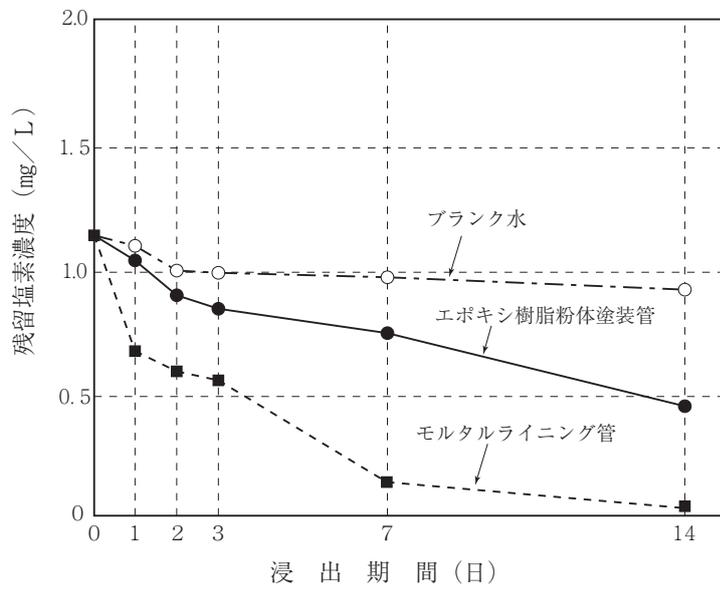


図10 残留塩素濃度の経時変化

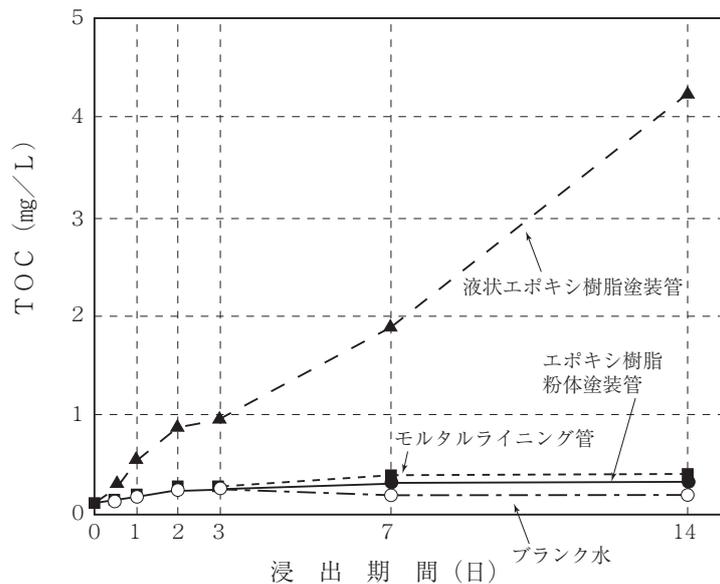


図11 TOC (全有機炭素) の経時変化

6.3 塗料の性能試験結果

JDPA Z 3001「ダクタイル鋳鉄管エポキシ樹脂粉体塗装」による塗料の物性試験結果例を表3に示す。

表3 エポキシ樹脂粉体塗料の性能試験結果例

試験項目	試験結果	規格値 (JDPA Z 3001)
塗膜の比重試験	1.48	1.8以下
付着性	分類0	試験結果の分類で0又は1
耐おもり落下性	割れ、剥がれはできなかった	衝撃による変形で割れ又は剥がれない
耐カッピング性	割れ、剥がれはできなかった	割れ又は剥がれない
引っかき硬度	異常はなかった	硬度Hの鉛筆で異常がない
耐中性塩水噴霧性	さび、膨れ、剥がれはなかった	さび、膨れ、又は剥がれない
耐低温・高温繰返し性	割れ、剥がれ、膨れ、白化などはなかった	割れ、剥がれ、膨れ又は白化がない
耐摩耗性	23.3mg	摩耗質量が100mg以下

6.4 下水道腐食環境下における耐食性能試験結果

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¹⁾の塗布型ライニング工法の品質規格 D種規格と同等またはより厳しい条件で試験を行った。

試験の結果、10%の硫酸水溶液に25箇月（D種規格の6倍以上の期間）浸漬しても塗膜内に硫黄は全く侵入しておらず、塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出等の異常はなく、極めて厳しい強酸下でも、エポキシ樹脂粉体塗装は十分な耐酸性と長期耐久性を有していることが確認された。

また、耐アルカリ性、密着性及び透水性についても、D種規格以上の性能を有することが確認された。

(1) 試験の概要

1) 試験項目及び試験方法

供試管の製品規格は下水道用ダクタイル鋳鉄管JISWAS G-1とし、エポキシ樹脂粉体塗装の厚さは300 μ m以上とした。

試験項目と試験方法を表4に示す。

表4 試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法	D種規格で規定された必要な性能
硫黄侵入深さ	10%の硫酸水溶液に25箇月間浸漬し、EPMA（波長分散型分析装置）で硫黄の侵入深さを測定した。	10%の硫酸水溶液に120日（4箇月）間浸漬した時の硫黄侵入深さが、設計厚さに対して5%以下であること、かつ、100 μ m以下であること。（本件では、塗装厚300 μ m \times 5%=15 μ m以下）
耐酸性	10%の硫酸水溶液に25箇月間浸漬し、状況を確認した。	10%の硫酸水溶液に60日（2箇月）間浸漬しても塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。
耐アルカリ性	水酸化カルシウム飽和水溶液に60日（2箇月）間浸漬し、状況を確認した。	水酸化カルシウム飽和水溶液に60日（2箇月）間浸漬しても塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。
接着性	JIS K 5600-5-7 に準拠	接着力 1.5MPa以上
透水性	JIS A 1404:2015 に準拠	透水量が0.15g以下

2) 試験片の作成方法

50mm \times 150mm \times 厚さ1.7mmの鉄板にエポキシ樹脂粉体塗料を焼付けて塗装した。

(2) 試験結果

1) 硫黄侵入深さ試験及び耐酸性試験

試験結果を表5に示す。

- ① 10%の硫酸水溶液に25箇月浸漬した後、塗膜内に硫黄が全く侵入していないことが確認された（写真7-1参照）。
- ② 塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出等の異常も全く認められなかった（写真7-2参照）。
- ③ このように極めて厳しい強酸下でも、エポキシ樹脂粉体塗装は十分な耐酸性と長期耐久性を有していることが確認された。

表5 硫黄侵入深さ及び耐酸性試験結果

試験項目	試験条件	試験結果	評価
硫黄侵入深さ	10%の硫酸水溶液に 25箇月浸漬	塗膜内への硫黄の侵入は全く認められなかった。	◎
耐酸性		塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出は全く認められなかった。	◎

◎：D種規格と同等以上の性能を有する。

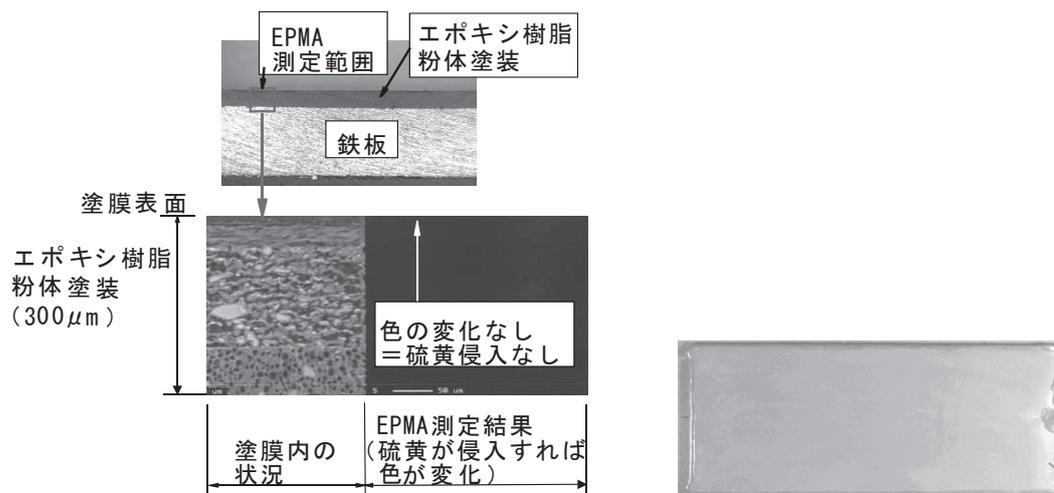


写真7-1 硫黄侵入状況
(EPMAで測定)

写真7-2 耐酸性試験後の
供試体の状況

2) 耐アルカリ性、接着性、通水性の試験結果

試験結果を表6に示す。

- ① 水酸化カルシウム飽和水溶液に60日間浸漬しても塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出はなく、十分な耐アルカリ性を有していることが確認された。
- ② 密着性、透水性もD種規格と比較して十分な性能を有していた。

表6 耐アルカリ性、接着性及び透水性試験結果

試験項目	試験結果	評価
耐アルカリ性	水酸化カルシウム飽和水溶液に60日(2箇月)間浸漬しても塗膜にふくれ、われ、軟化、溶出は全く認められなかった。	◎
接着性	接着力 10MPa以上	◎
透水性	透水量 0.05g	◎

◎：D種規格と同等以上の性能を有する。

参考文献 1) 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(2012年4月)

6.5 流速係数 C

試験管路での内面エポキシ樹脂粉体塗装の Hazen・Williams (ヘーゼン・ウィリアムス) 式における流速係数 C の測定結果を 3 つの事例にて表 7、表 8、表 9 に示す。
本試験の流速係数 C は、全ての事例及び条件で 150 以上となった。

表 7 流速係数 C の測定結果(事例 1 呼び径 100)

試験 No.	流量 (m ³ /sec)	流速 (m/sec)	摩擦損失水頭 (mm)	流速係数 C
1	0.0040	0.49	19	153
2	0.0082	1.01	64	162
3	0.0122	1.49	131	163
4	0.0164	2.00	218	166
5	0.0204	2.49	327	166
6	0.0244	2.98	454	167

備考) 供試管は内面エポキシ樹脂粉体塗装の呼び径 100 直管 (内径測定平均値 102.1mm)、測定区間は 8.00m。

表 8 流速係数 C の測定結果(事例 2 呼び径 150)

試験 No.	流量 (m ³ /sec)	流速 (m/sec)	摩擦損失水頭 (mm)	流速係数 C
1	0.0098	0.55	17	155
2	0.0191	1.07	59	156
3	0.0290	1.62	124	158
4	0.0388	2.17	215	157
5	0.0486	2.71	318	159
6	0.0579	3.23	441	159

備考) 供試管は内面エポキシ樹脂粉体塗装の呼び径 150 直管 (内径測定平均値 151.0mm)、測定区間は 9.54m。

表 9 流速係数 C の測定結果(事例 3 呼び径 200)

試験 No.	流量 (m ³ /sec)	流速 (m/sec)	摩擦損失水頭 (mm)	流速係数 C
1	0.0147	0.45	78	151
2	0.0202	0.62	134	155
3	0.0250	0.77	200	155
4	0.0302	0.93	276	157
5	0.0360	1.11	373	159
6	0.0397	1.22	465	156
7	0.0456	1.40	580	159
8	0.0503	1.55	689	160

備考) 供試管は内面エポキシ樹脂粉体塗装の呼び径 200 直管 (内径測定平均値 203.3mm)、測定区間は 84m。

7. 切管

7.1 切管方法

粉体塗膜は、モルタルライニングに比べて熱に弱く、ガス切断などは塗膜が軟化し熱変形が生じて、管と塗膜の密着が損なわれるため、絶対に行わないこと。

現在使用されている一般的な切管方法として次のものが推奨できる。

- ① ダイヤモンドブレードによる切断
- ② バイト式のカッターによる切断
- ③ 電動のメタルソーによる切断

従来から使用されている、切断砥石（レジノイド）で切断した場合、使用する切断砥石が新しければ、切断速度（周速）が早く、きれいに切断できるが、砥石が摩耗すると切断速度が遅くなるため、切断に時間を要し切断面はきれいにならないことが多い。

ダイヤモンドブレードの場合は、切削性能が変化しにくいので、きれいに切断できる。

なお、手動式のパイプカッターによる切断も可能である。

切断後は、内面に飛散した粉塵などを清掃して切断面の補修を行う。

7.2 切管部などの補修方法

(1) 補修塗料による補修

1) 補修塗料

切管部の補修は専用の切管鉄部用塗料（常温硬化型の一液性エポキシ樹脂）を用いて行う。切管鉄部用塗料の硬化乾燥時間例を表10に示す。

表10 切管鉄部用塗料（一液性エポキシ樹脂）の硬化乾燥時間

硬化乾燥時間	10℃	30分
	20℃	15分
	30℃	15分

また、管内部の塗膜を損傷した場合の補修用塗料としては、専用の内面補修用塗料（常温硬化型の二液性エポキシ樹脂）がある。この塗料の硬化乾燥時間例を表11に示す。

表11 内面補修用塗料（二液性エポキシ樹脂）の硬化乾燥時間

硬化乾燥時間	10℃	16時間
	20℃	8時間
	30℃	6時間

2) 切管部の補修

- ① 切り口端面（内面側）を 2° 又は 2^R 程度の面取りを行う。
（図12.1）

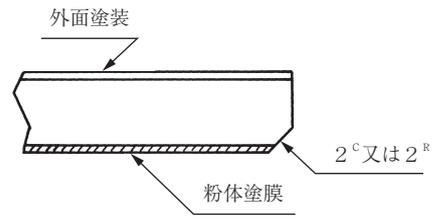


図12.1

- ② 塗膜に損傷部があればこの部分を除去する。（図12.2）

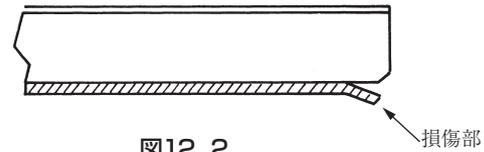


図12.2

- ③ 損傷部が大きい場合には、塗装面と損傷部の金属面をグラインダ及びサンドペーパー（#160程度）で研磨する。（図12.3）

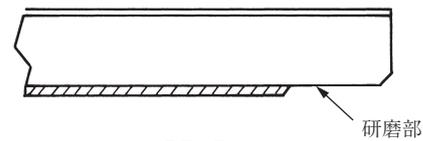


図12.3

- ④ 切管鉄部用塗料（一液性エポキシ樹脂）を刷毛で均一かつ平滑に塗装する。一回塗りで所定の膜厚が得られない場合は、塗装間隔を守って、同様の方法で重ね塗りをを行う。外面塗装の上への塗装はできるだけ避けること。（図12.4）

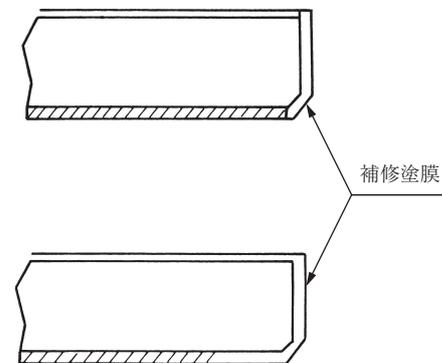


図12.4

3) 管内部の損傷塗膜の補修

- ① 損傷した塗膜を除去する。
(図13. 1)

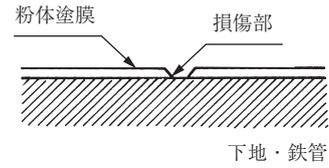


図13. 1

- ② 損傷部周辺(約5mm)の塗膜面と損傷部の金属面をグラインダ及びサンドペーパー(#160程度)で研磨する。(図13. 2)

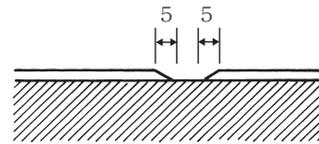


図13. 2

- ③ 内面補修用塗料(二液性エポキシ樹脂)を所定の配合で混合し、十分攪拌する。

- ④ 内面補修用塗料を刷毛で均一かつ平滑に塗装する。一回塗りで所定の膜厚が得られない場合は、塗装間隔を守って、同様の方法で重ね塗りを行う。
(図13. 3)

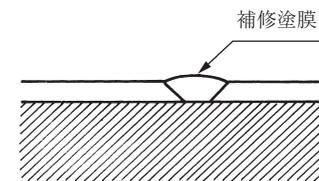


図13. 3

(2) 防食ゴムによる防食

切管部の防食対策として、エチレンプロピレンゴム（EPDM）製の防食ゴムを用いて防食を行う。

① K・T形防食ゴム（呼び径75～350）

挿し口端面をゴムでカバーし、ゴム内面を固定リングで押さえて固定する。

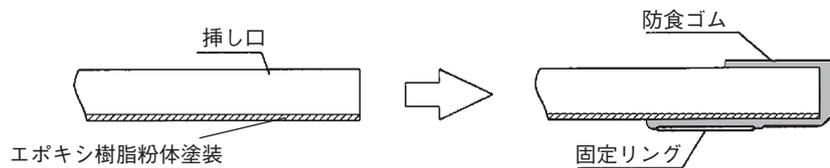


図14 K・T形防食ゴムの装着方法

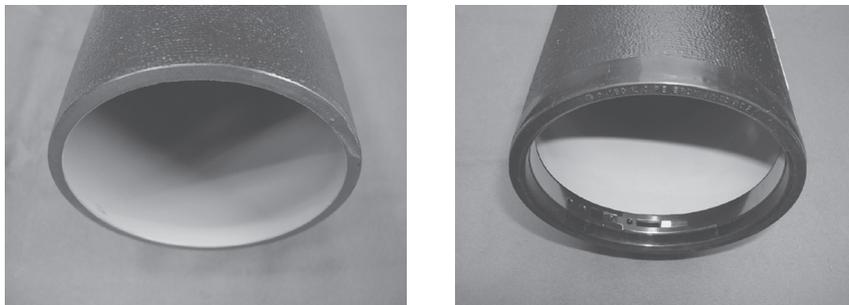


写真8 K形およびT形挿し口に防食ゴムを取り付けた状態

② NS形管

- ・NS形防食ゴム（リベットタイプ呼び径75～250）

挿し口溝部を溝用テープで防食する。また、挿し口端面をゴムでカバーし、ゴム内面を固定リングで押さえて固定する。



図15 防食ゴムの装着方法（リベットタイプ）

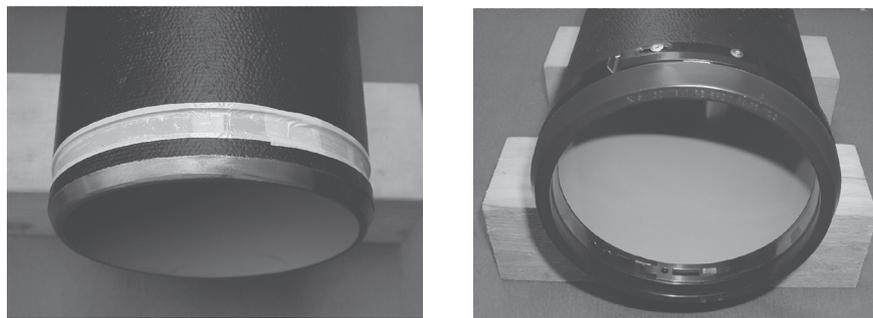


写真9 挿し口に防食ゴムを取り付けた状態（リベットタイプ）

- ・NS形防食ゴム付き切管用挿し口リング（タッピンねじタイプ呼び径75～350）

挿し口溝部を溝用テープで防食する。また、端面をゴムでカバーし、その上からカバーリングと切り管用挿し口リングで押さえ固定する。

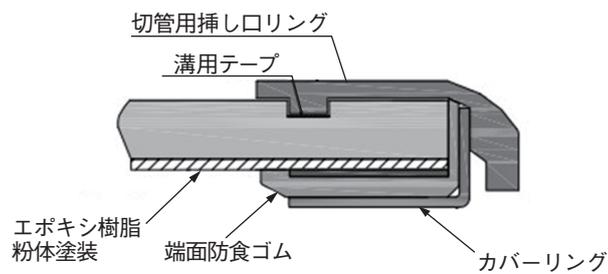


図16 防食ゴム及び切管用挿し口リングの装着方法（タッピンねじタイプ）

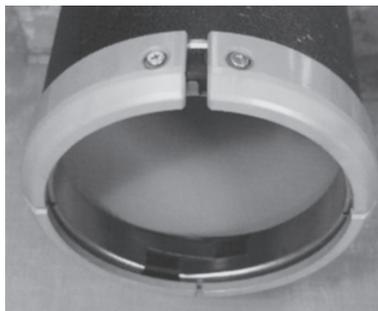


写真10 挿し口に防食ゴム及び切管用挿し口リングを取り付けた状態（タッピンねじタイプ）

③ GX形管

・GX形防食ゴム（タッピンねじタイプ呼び径75～250）

挿し口溝部を溝用テープで防食する。また、挿し口端面をゴムでカバーし、ゴム内面を固定リングで押さえ固定する。

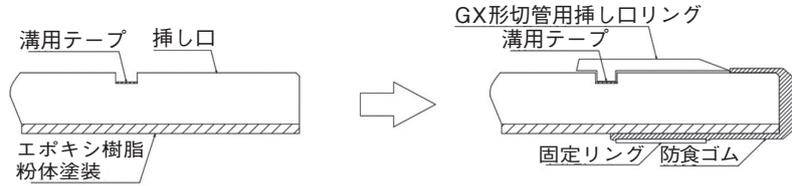


図17 防食ゴム及び切管用挿し口リングの装着方法（タッピンねじタイプ）

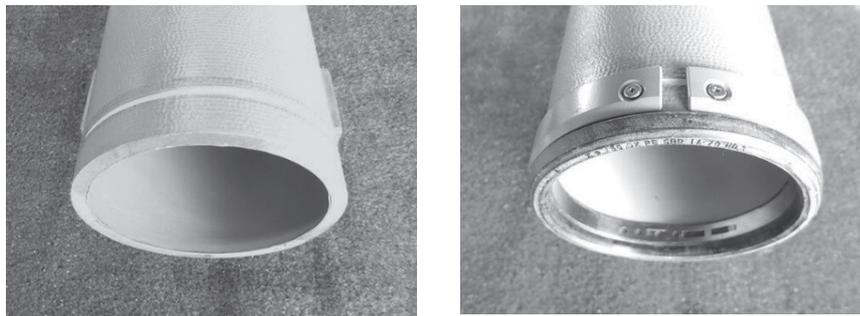


写真11 挿し口に防食ゴム及び切管用挿し口リングを取り付けた状態（タッピンねじタイプ）

(3) 防食キャップによる防食

GX形防食キャップ（呼び径75～300）

挿し口端面に防食キャップをあて圧着ローラを用い、端面全体に接着剤が接着するよう押しつけ装着する。

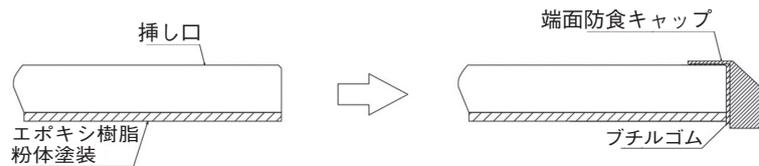


図18 GX形防食キャップの装着方法

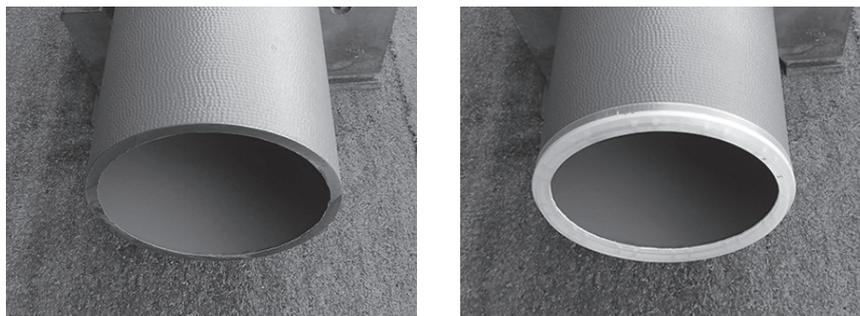


写真12 GX形挿し口に防食キャップを取り付けた状態

8. 穿孔

8.1 穿孔方法

現在、モルタルライニング管の穿孔に用いられている穿孔用ドリルは図19の様な形状となっており、ドリルの摩耗度などに十分な管理が行われていれば、エポキシ樹脂粉体塗装管の穿孔も問題なく行えるが、管理が不十分な場合には、

- ① 「塗膜の貫通不良」…ドリルが塗膜を貫通せず、また、切削により発生する熱のため塗膜が浮き上がる現象
- ② 「塗膜の欠け」……穿孔部周辺の塗膜がドリル切削不良により必要以上に欠け落ちる現象

などが発生し易くなる。

これらの不具合を解消するため、図20に示すように先端角が小さく、ねじれ角の大きいエポキシ樹脂粉体塗装管専用ドリルを採用することが望ましい。

8.2 穿孔時の留意点

エポキシ樹脂粉体塗装管を穿孔する際の留意点を以下に示す。

- ① 穿孔機は電動方式が望ましい。
- ② 穿孔用ドリルは、図20の様な先端角とねじれ角をもっていることが望ましい。
- ③ $\phi 30$ 以上の穿孔を行う場合は、センタードリル付ホールソーを用いることが望ましい。
- ④ 不断水穿孔時においては、穿孔作業開始と同時に十分な排水を実施し、切削片を管外へ排出させるよう留意することが必要である。

排水量と切削片の排出率の関係を図21に示す。

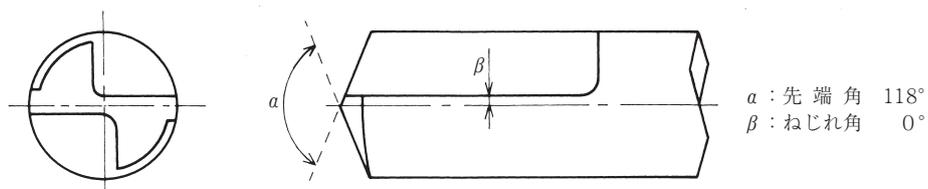


図19 モルタルライニング管用ドリル

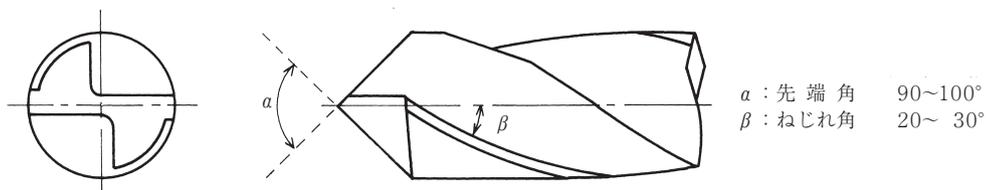


図20 粉体管用ドリル

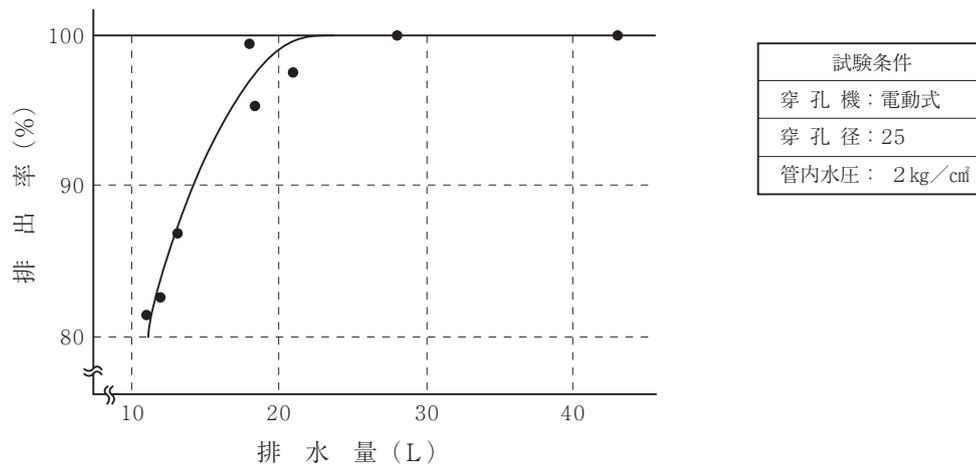


図21 排水量 (L) と切削片の排出率 (%) の関係

8.3 穿孔部の防食方法

配水管に穿孔を行って給水装置を取り付けた後、長期間（数ヶ月以上）にわたり給水休止状態が継続すると穿孔部が発錆し、穿孔部を閉塞させることがある。これまでは、このようなトラブルを防止するために銅コアが用いられてきたが、現在では分岐穿孔部での発錆を無くすことを目的として、ゴム被覆コアや樹脂被覆コアが実用化されている。

ゴム被覆コアの例を写真13、写真14に示す。



写真13 粉体管用ゴム被覆コア (1)



写真14 粉体管用ゴム被覆コア (2)

9. 取り扱い

9.1 取り扱い方法

基本的にはモルタルライニング管と同様の取り扱いが良いが、挿し口端面までエポキシ樹脂粉体塗装がされているので、この部分の塗膜を損傷させないように留意する必要がある。また、ハッカで管を吊る場合には、ゴムなどの軟らかい当て物をする必要がある。

その他、継手接合用の部品、工具類などを管内へ投げ込むと、内面の塗膜を傷付ける恐れがあるので、絶対に行ってはならない。

9.2 保管方法

内面粉体塗装直管及び異形管の受口部と挿し口部には、保護キャップ、シートなどが装着されている。従って、保管にあたっては保護キャップ、シートが受口部と挿し口部の両方にしっかりと装着されていることを確認することが必要である。

10. エポキシ樹脂粉体塗装規格の変遷

1950年代に内面モルタルライニング直管が開発され、広く用いられるようになるに伴って、赤水・出水不良などの給水障害発生件数は激減した。

しかし、異形管は依然として瀝青質系の薄い塗装であったため、赤水発生原因の一つとなっていた。そこで異形管用の新しい塗装として、エポキシ樹脂粉体塗装が開発され、1973年頃から関西地方の都市で採用され始めた。年々この塗装を採用する都市が増加し、2017年時点では、呼び径1000以下のダクタイル鋳鉄管生産量の約80%がエポキシ樹脂粉体塗装管である。

この間、1977年に異形管専用の塗装規格として、日本鋳鉄管協会（現日本ダクタイル鋳鉄管協会）規格、JCPA Z 2006「水道用ダクタイル鋳鉄異形管粉体塗装」が適用呼び径75～250の範囲で制定された。その後、直管の内面にもエポキシ樹脂粉体塗装を採用する都市が増えたことや、事業者から赤水対策として少しでも適用呼び径の拡大を要望する声が強くなったので、その適用呼び径を75～350までとし、直管・異形管共に適用できる規格として、1980年に日本水道協会規格JWWA G 112（水道用ダクタイル鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装）が制定された。

さらに、1982年に日本水道協会規格JWWA G 113（水道用ダクタイル鋳鉄管）が制定され、モルタルライニングと同様に、粉体塗装が標準化された内面防食法として規定された。

また、エポキシ樹脂粉体塗装は上水道以外の分野、例えば硫化水素ガスの発生しやすい下水道管路や工業用水管路でも採用されるようになり、上水道以外にも適用できる規格として1984年に日本工業規格JIS G 5528（ダクタイル鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装）、日本下水道協会規格JSWAS G-1（下水道用ダクタイル鋳鉄管）が制定され、適用呼び径も75～600となった。

その後、技術の進歩や関連規格の改正などを背景に、2002年に日本水道協会規格JWWA G 112（水道用ダクタイル鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装）が改正され、塗料組成の限定や、その原料に適した試験項目、方法が定められた。JIS G 5528は2014年に改正され、適用口径の規定はしないこととなった。

国際規格では、ISO18468-2017「Ductile iron fittings, accessories and their joints and valves-Epoxy coating」が新規制定され、世界的にも上水道及び下水道の分野でエポキシ樹脂粉体塗装の範囲が拡大している。

11. エポキシ樹脂粉体塗装管の採用理由

これまでに示したようにエポキシ樹脂粉体塗装管は多くの特徴を持っている。これらの特性をうまく活用した管路として以下の例がある。

- ① 水道ビジョンの実現に向けた、おいしい水を安定供給できる水道管路。
- ② 酸性水や遊離炭酸を多く含む侵食性の強い水が流れる管路。
- ③ 新規住宅団地などの残留塩素やpH上昇の対策が必要な配水管路。
- ④ 重量が軽いことが要求される水管橋など。
- ⑤ 汚水や汚泥などにより硫化水素対策が必要となる下水管路。

次に、実管路での採用例をあげる。

(1) F市水道局

1923年に給水を開始して以来、市民すべてにいきわたる水道が建設されてきた。21世紀の水道管路のあり方を検討された結果、以下の理由から1992年より配水管（呼び径300以下）を全てエポキシ樹脂粉体塗装（直管、異形管、バルブを含む）とされた。

- ① 流向、流速がたえず変動することに耐える塗装である。
- ② エポキシ樹脂粉体塗装の実績が異形管などで実証されてきた。
- ③ バルブ及びダクトイル直管にも採用することにより内面塗装が高級化される。
- ④ 滞留水が発生しやすい末端部や、開発中の造成地域などでも、安定した水質の水を供給できる。

(2) T市水道局

1978年度に土地区画整理組合の事業として宅地開発を行った地区（計画入居人口：5000人）では、当時、計画入居人口に達するまでにかかなりの年数がかかることが予想された。そこで、水の停滞による水質劣化を軽減する目的で、直管、異形管ともにエポキシ樹脂粉体塗装管が採用された。

1990年7月（約11年経過後）にその管路を調査された結果、エポキシ樹脂粉体塗装は良好であった。そこで、既に採用されているエポキシ樹脂粉体塗装の異形管、弁栓類に加え直管にも採用するために検討委員会を設けて以下の事項に関する検討が行われた。

- ① サドル分水栓分岐による塗膜の損傷。
- ② 管切断による塗膜の損傷。
- ③ 不断水T字管分岐による塗膜の損傷。
- ④ 管切断面の防食方法。
- ⑤ その他（粉体管の表示方法、採用の適用口径、粉体塗装の仕様、防食コア、ポリピグの仕様など）。

これらの結果をふまえ、1993年より全ての管路（導水、送水、配水）にエポキシ樹脂粉体塗装管を採用された。

(3) A市水道局

1979年第3期拡張計画で、2条の導水管（呼び径800×780m）にエポキシ樹脂粉体塗装管を採用された。

ここの水源となっている川は、強い酸性の湧水（温泉水）の影響をうけ、湧水期にはpHが3.4～4.0程度まで下がり、コンクリート製の堤防が侵食され、骨材の砂利がむきだしになっていた。このため、上流の湧水（水温80℃、pH1.2）で、2年間各種の塗装やライニングの耐久性試験を行った結果、エポキシ樹脂粉体塗装管を採用された。

(4) H市水道局

大規模住宅団地の造成では、建設当初は住居人口が計画より遙かに少ない状態が数年続く傾向があり、新管布設当初は残留塩素の確保や、pH対策などで夜間、定期的に管末からの放水を余儀なくされていた。

これを解消するため、新規宅地造成団地において、直管、異形管ともエポキシ樹脂粉体塗装管を採用された。

(5) T下水道局

共同溝内の污水圧送管（呼び径150～900）及び汚泥圧送管（呼び径250）にエポキシ樹脂粉体塗装管を採用された。主な理由は以下のとおり。

- ① 污水の温度上昇及びポンプの間欠運転による污水の滞留等によって硫化水素ガスの発生が起りやすい環境にあった。
- ② 当地区は段階的に整備される計画であり、特に始動期には汚水量も少なく、污水の滞留時間も長くなるため、高濃度の硫化水素の発生が懸念された。
- ③ 汚水中には砂等の固形物も多く含まれているため、耐摩耗性に優れた塗装を選定する必要があるがあった。
- ④ 硫化水素の発生に伴い、その箇所には腐食が発生し易いことから、防食性に優れた塗装を選定する必要があるがあった。

(6) S市下水道局

下水の污水・汚泥圧送管路内に発生する硫化水素対策として、直管呼び径75～1200、異形管呼び径75～1500までにエポキシ樹脂粉体塗装管を採用された。

一般社団法人

日本ダクタイル鉄管協会

[http://www. jdpa. gr. jp](http://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(オーク仙台ビル) 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