

呼び径1650内面エポキシ樹脂粉体塗装技術の確立

Development of Epoxy Resin Powder Coating Technology for the Inside of Pipes of a Nominal Diameter of 1650 mm

柳谷仁志* 山崎 薫** 金子純治*** 明渡健吾* 大津秀樹*
Hitoshi Yanagitani Kaoru Yamazaki Junji Kaneko Kengo Akedo Hideki Otsu

ダクタイル鉄管は、高い強度と優れた耐震性・耐久性を有している管路資器材であり、上下水道・工業用水道・農業用水道など幅広い用途で使用されている。下水道管路において、硫化水素起因の硫酸腐食に注意する必要がある管路については、管内面の重防食仕様としてエポキシ樹脂粉体塗装や液状エポキシ樹脂塗装が推奨されている。特にエポキシ樹脂粉体塗装は耐食性に優れた内面塗装仕様として最も推奨されているが、当社では呼び径 50 ～ 1500 のみ生産対応可能となっている。呼び径 1650 以上のダクタイル鉄管においても、内面エポキシ樹脂粉体塗装へのニーズは高く、内面エポキシ樹脂粉体塗装ダクタイル鉄管の適用範囲を拡大することは、下水道分野におけるライフサイクルコストの低減に貢献できると考えられる。また、上水道分野においても、より長期にわたって安全・安心な水道水を安定供給することに貢献できる。以上の背景を踏まえ、呼び径 1500 までしか対応できなかった従来設備の改良に加え、新たな塗装技術を見出すことで呼び径 1650 の内面エポキシ樹脂粉体塗装化を実現した。

Ductile iron pipes, which have high strength, and excellent earthquake resistance and durability, are used in a wide range of applications, such as transporting sewage and supplying water for the residential, industrial and agricultural sectors. Epoxy resin powder coating, or liquid epoxy resin coating, is recommended for the inner surfaces of sewage pipes because of its heavy-duty anti-corrosion qualities, where attention must be paid to sulfuric acid corrosion caused by hydrogen sulfide. In particular, epoxy resin powder coating is the most recommended as an internal coating because of its excellent corrosion resistance, but we can only produce nominal diameters of 50 to 1500 mm. However, for ductile iron pipes with a nominal diameter of 1650 mm or more, there is a strong need for epoxy resin powder coating of the insides of pipes, and it is conceivable that expanding the scope of applications of epoxy resin powder coating for the insides of ductile iron pipes could contribute to reducing life-cycle costs in the field of sewerage. In the field of waterworks, it can also contribute to the stable supply of safe and secure tap water over the long term. Based on the above issues, in addition to improving conventional equipment that can only handle up to a nominal diameter of 1500 mm, we found a new coating technology to realize epoxy resin powder coating of the insides of pipes of a nominal diameter of 1650 mm.

1 はじめに

ダクタイル鉄管は、高い強度と優れた耐震性・耐久性を有している管路資器材であり、上下水道・工業用水道・農業用水道など幅広い用途で使用されている。下水道では、排水区で集めた汚水を別の既設下水道幹線などへ流入させるための汚水圧送管や活性汚泥法などによって処理場で発生する汚泥を別の処理場に集めて統合処理するための汚泥圧送管などに使用されている。

下水道管路では一般的に空気存在しない満管状態では、硫化水素による硫酸腐食は生じないが、図1の赤色点線で示した空気溜まり部においては、汚水やスライム層などから発生した硫化水素起因の硫酸腐食に注意する必要がある。具体的には図2に示すように、汚水やスライム層などから発生した硫化水素ガスが好気性環境において硫黄酸化細菌の影響で、管内の酸素と反応し硫酸を生成することで硫酸腐食が促進される。そのため、その

ような管路では、管内面の重防食仕様としてエポキシ樹脂粉体塗装や液状エポキシ樹脂塗装が推奨されている。特にエポキシ樹脂粉体塗装は耐食性に優れた内面塗装仕様として最も推奨されているが、当社では呼び径 50 ～ 1500 のみ生産対応可能となっているため、呼び径 1650 以上については液状エポキシ樹脂塗装での対応を行っている。

しかし、呼び径 1650 以上のダクタイル鉄管においても、耐食性、耐酸性および水質衛生性に優れた内面エポキシ樹脂粉体塗装ダクタイル鉄管へのニーズは高く、その適用範囲を拡大することは、下水道分野におけるライフサイクルコストの低減に貢献できると考えられる。また、下水道分野に限らず、上水道分野においても、より長期にわたって安全・安心な水道水を安定供給することに貢献できる。以上の背景を踏まえ、呼び径 1650 の粉体塗装技術開発に取り組むこととした。

* パイプシステム事業部 研究部

** パイプシステム事業部 加賀屋製造部

*** パイプシステム事業部 設備管理部

2 内面エポキシ樹脂粉体塗装ダクトイル鉄管について

2.1 エポキシ樹脂粉体塗料の特徴

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、全く有機溶剤を含まず、加熱した鉄管の熱により熔融し、図3に示す硬化反応を経て塗膜形成を行う。

また、粉体塗装は以下のような特徴²⁾を持っている。

(1) 有機溶剤を含んでいない無溶剤の塗料である。

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れると共に、塗装時の有機溶剤揮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) 厚塗りが容易であり、硬化養生時間が短い。

塗料熔融時（焼付工程時）の熔融粘度が高いため、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。また、硬化性も優れており短時間で硬化が完了するため、生産リードタイムの短縮が図れる。

(4) 塗装作業性に優れている。

従来の液状塗料と比べ、生産性向上、塗装の自動化、取扱作業の省略化、回収粉体塗料の再利用など作業性の改善が図れる。

(5) 機械的性能、耐食性、耐薬品性に優れている。

ダクトイル鉄管に適用するエポキシ樹脂粉体塗料はJWWA G 112「水道用ダクトイル鑄鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装」（以下、JWWA G 112とする）かつJSWAS G-1「下水道用ダクトイル鑄鉄管」（以下、JSWAS G-1とする）に規定された機械的性能や耐食性、耐薬品性の厳しい基準を満足している。

2.2 下水道管路での通水実験について

内面エポキシ樹脂粉体塗装ダクトイル鉄管は、硫酸腐食が懸念される下水道管路においても優れた耐食性、耐酸性を発揮する。

過去には、下水道施設のし尿脱離水管路において1982年から38年間の通水実験を実施し、その効果を確認している³⁾。実験を実施したし尿脱離水管路は、し尿脱離水が満管になることはなく、腐食性が非常に強い環境であるが、内面エポキシ樹脂粉体塗装の外観は図4に示す通り、変色や膨れ、割れなどの異常は確認されず、38年間の通水後においても健全性が維持されていた。

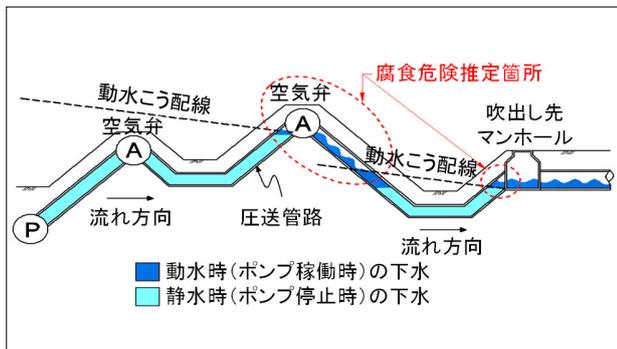


図1 圧送管路の腐食危険箇所¹⁾

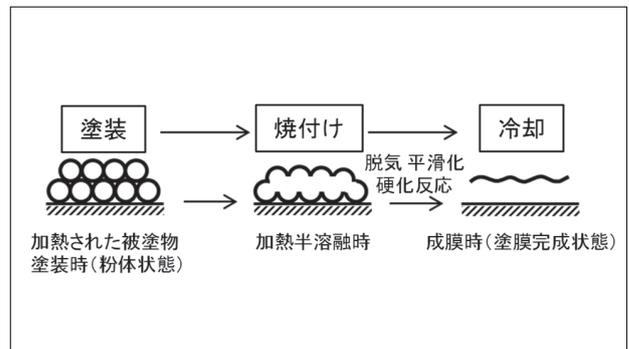


図3 粉体塗装の塗膜形成過程

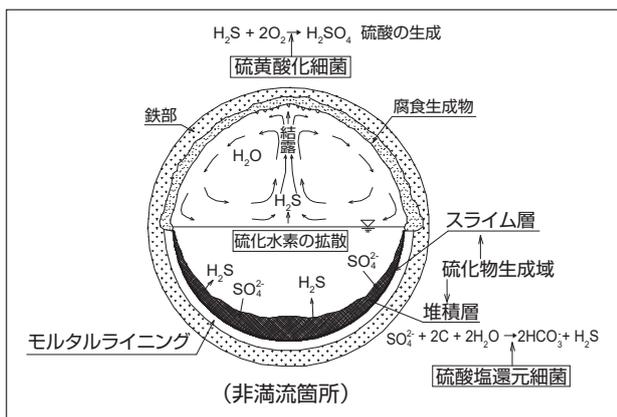


図2 硫酸腐食メカニズム模式図¹⁾



通水実験管路の外観

38年間通水試験後の管内面
(下側が管頂部)

図4 通水実験管路外観と
38年間通水実験後の管内面の状況

2.3 エポキシ樹脂粉体塗装の塗装方法

当社では、予熱したダクトイル鉄管の内面にエポキシ樹脂粉体塗料を塗装する「回転吹き付け法」という塗装方法を採用している。

図5に内面エポキシ樹脂粉体塗装の塗装工程を示す。ダクトイル鉄管は190～220℃程度に予熱した後にエポキシ樹脂粉体塗料の吹き付け塗装を行う。塗装後のダクトイル鉄管の余熱で一定時間保持させることで、エポキシ樹脂粉体塗料を硬化させることができ、後加熱などの処理を行わずに塗装を完了することができる。

3 呼び径の範囲拡大における課題と対応

3.1 製造設備的な課題と対応

当社のエポキシ樹脂粉体塗装の設備面における課題として、図5に示す粉体塗装工程の、②加熱工程と③粉体塗装工程における設備が呼び径1500までしか対応していないということが挙げられたため、呼び径1650においても塗装作業性を阻害せずに粉体塗装が可能な設備に改造を行った。

3.2 塗装技術的な課題と対応

内面エポキシ樹脂粉体塗装の品質を表1に示すJWWA G 112およびJSWAS G-1に準じて評価を行った。

表1 塗膜品質評価項目

項目	品質規定
厚さ	直部膜厚が300 μm以上あること
ピンホール	ホリデーディテクタを用い、電圧をかけ（ブラシ形状-真鍮製のワイヤ等ブラシ状：1000V、導電性のゴム板状：2000V）火花が発生するようなピンホールがない
硬化の程度	塗膜にカッターナイフを用いて、25mmで30°に交差する2本の素地に達するきずをつけ、欠けまたは剥がれが生じない
外観	異物の混入、塗りむら、塗り漏れなどがなく、表面は実用的に滑らかで、均一な塗膜である

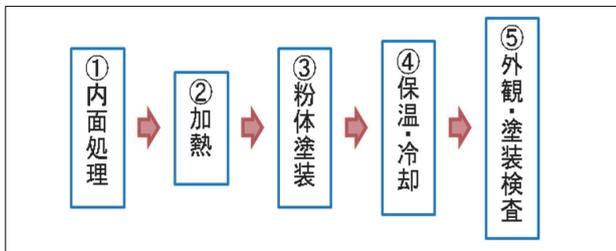


図5 エポキシ樹脂粉体塗装工程

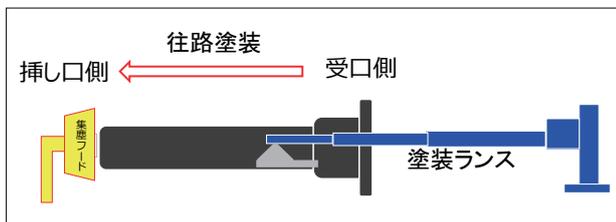


図6 塗装方法概略図

呼び径の拡大を検討する上で、特に大きな課題となったのが、エポキシ樹脂粉体塗装後の塗膜に生じるピンホール欠陥の抑制であった。ピンホール欠陥とはダクトイル鉄管内面鉄地の引け巣に起因した塗膜欠陥である。ダクトイル鉄管においては呼び径が大きくなるにつれ、管の内面に引け巣が発生しやすくなるため、ピンホール欠陥は、呼び径が大きくなるほど多くなる傾向にある。

当社のエポキシ樹脂粉体塗装機の概略図を図6に示す。呼び径900～1500における従来のエポキシ樹脂粉体塗装方法は往路での1パス塗装である。この従来の塗装方法を用いて呼び径1650の塗装を行った結果、ピンホールの発生が確認された。そのため、呼び径1650について、ピンホール欠陥を抑制する塗装条件の検討を進めた。

ピンホール欠陥抑制の手法として、要因となる引け巣を薄膜で覆い、素早く硬化させることで引け巣からのガス抜けを抑制することが効果的と考えた。塗装方法としては複数層での塗装を検討したが、塗装回数が増加することで塗装時間が長くなり、鉄管の温度低下による塗膜の硬化不良が懸念されたため、2層塗装による塗装方法で検討を進めた。具体的には図7に示すように、1層目で薄膜塗装を行い、素早く塗膜を硬化させることでピンホールの発生要因となる引け巣を覆い、2層目で規定膜厚以上となるように厚膜塗装を行う手法を検討した。

2層塗装を行う上で、1層目と2層目の塗膜比率がピンホール抑制に大きな影響を及ぼすと考えられたため、1層目と2層目の塗膜比率とピンホール抑制効果の関係を確認した。結果を図8に示すが、従来と同等レベルの膜厚を目標とし、膜厚比率を変更し評価を実施した。評価の結果、条件①のように1層目の膜厚が薄すぎると引

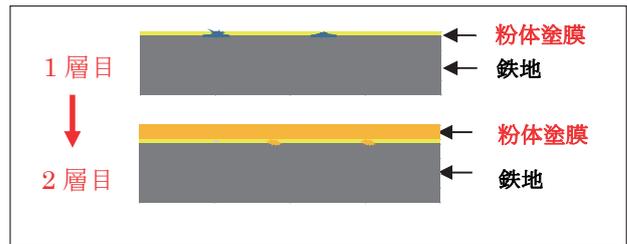


図7 2層塗装イメージ図

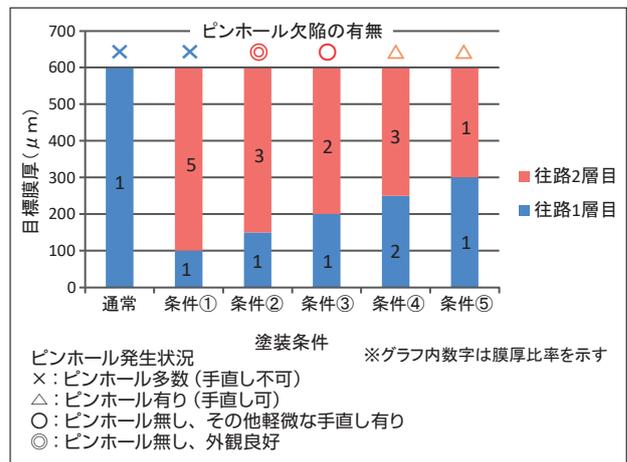


図8 塗膜比率とピンホール抑制効果の関係

け巣を十分に覆うことができずピンホール抑制効果が得られないことが確認された。条件②、条件③においては、ピンホールの抑制効果が高まる傾向が見られ、その中でも特に条件②においてピンホール抑制効果が高くなることが確認された。しかし、条件④、条件⑤と1層目の膜厚を厚くしていくとピンホール抑制効果が弱まる傾向がみられた。これは膜厚が厚くなることで塗料の熔融時間が長くなるため、引け巣から発生したガスが塗膜を貫通し易くなり、1層目のピンホール抑制効果が弱まることが要因と考えられる。以上の評価結果より、最もピンホール抑制効果に効果的であった膜厚比率は1層目と2層目の塗膜比率が1:3であることが確認された。

また、塗装方法については、往復塗装を行うと図9に示すように表面がざらつき気味の外観となった。要因として、往復塗装の場合、復路塗装において図10に示すように挿し口側に集塵されている粉体塗料ダストの一部が塗膜に降りかかり、それが表面のざらつきの原因になったと考えられる。

一方で往路2層塗装では良好な外観が得られた。以上の条件により、ピンホール欠陥を抑制し、かつ塗膜外観も実用的に滑らかな外観を得られる塗装条件を確立することができた。また、確立した塗装条件において表1に示す他の項目について確認を行ったが、全ての項目で問題ないことを確認した。

以上の結果より、今回確立した塗装条件で塗装を行う事で、呼び径 1650 についても、JWWA G 112 および JSWAS G-1 における塗膜品質項目の全てを満足することを確認した。

4 エポキシ樹脂粉体塗装化による効果

4.1 上下水道分野への効果

下水道施設において、硫化水素起因の硫酸腐食が進行すると大規模補修が必要となるだけでなく漏水などの重大事故に繋がるリスクを有している。そのため、硫酸腐食が懸念される下水道施設に対しては、リスク低減が可能な予防保全策の立案が喫緊の課題として挙げられる。

その中で、内面エポキシ樹脂粉体塗装は、硫酸腐食を防止することができるため、下水道施設の内面腐食起因による管路損傷の抑制に繋がり、ライフサイクルコストの低減に貢献できると考えられる。

また、上水道分野においても、ダクタイル鉄管の粉体



図9 塗膜外観状況

塗装の適用範囲を拡大することで、より長期にわたって安全・安心な水道水を安定供給することに貢献できると考えられる。

4.2 環境への効果

従来、呼び径 1650 の耐食塗装仕様を、溶剤を含まないエポキシ樹脂粉体塗装に置き換える事で、VOC（揮発性有機化合物）の排出量削減に貢献することができた。作業面においても、塗装従事者の溶剤への接触を抑制することができたため、人への環境負荷も抑制することができた。

5 おわりに

呼び径 1650 ダクタイル鉄管（図 11）の内面粉体塗装化を実現したことで、下水道分野のライフサイクルコストの低減に貢献でき、上水道分野においても、より長期にわたって安全・安心な水道水を安定供給することに貢献できると考えられる。

参考文献：

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：B-DASH プロジェクト No.20 下水道圧送管路における硫酸腐食箇所の効率的な調査技術導入ガイドライン（案）、国総研資料第 1012 号 p.11、p.16
- 2) 日本パウダーコーティング共同組合：粉体塗装技術要覧 第 3 版、塗料報知新聞社（2005）p.18
- 3) 西原佳和・堺貴洋・中本光二・高木啓介：下水道に使用するダクタイル鋳鉄管の内面防食材料について、下水道協会発表会講演集、公益社団法人日本下水道協会（2018）pp.776-778

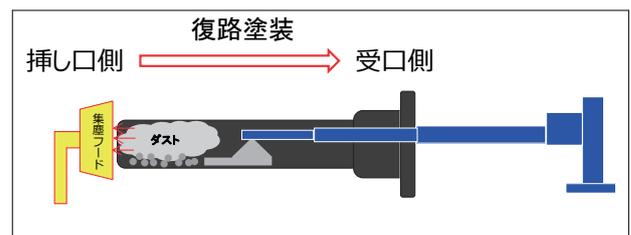


図10 復路塗装時のざらつき発生要因



図11 K形呼び径1650完成写真

執筆者：

柳谷仁志

2012 年入社

ダクタイト鉄管の研究・開発に従事



山崎 薫

1997 年入社

ダクタイト鉄管の製造に従事



金子純治

1987 年入社

ダクタイト鉄管製造設備の導入・
更新に従事



明渡健吾

2008 年入社

ダクタイト鉄管の研究・開発に従事



大津秀樹

1990 年入社

ダクタイト鉄管の研究・開発に従事

