

(別紙 1)

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書概要版

研究課題名：地中に埋設される排水管（FRPM 管）の樹脂モルタル部分の亀裂を配管内部に紫外線を照射することで検知する塗装工法の開発

研究期間（元号）：平成 26 年～平成 27 年

代表者名：高橋康一（プラナスケミカル株式会社・代表取締役）

研究代表者名：高橋康一（プラナスケミカル株式会社・代表取締役）

共同研究者名：無

補助金交付総額（円）：24,250,000

研究・技術開発の目的：地中に埋設された排水管の長寿命化の為の維持管理が不可欠とされ、その為の配管の点検が簡便、安価に行える手法が課題とされている。今回、それらの埋設管の中で FRPM 管に特化して点検方法を研究した。FRPM 管とは管の内面、外面が FRP 層で中間に樹脂モルタル層を入れたサンドイッチ構造になったもので、内外面の引っ張り強度と中間層の圧縮強度が複合化された高強度な管である。管の樹脂モルタル部に少々亀裂が入っても FRP 層に変状が生じずに点検に苦慮している。現在は管内の全領域の内径の測長によりたわみ率を算出する点検が必要で、長時間の点検と莫大な人件費を要することになる。しかも、点検者の熟練度による検査精度のバラつきや、過酷条件下での疲労による見落とし等の点検ミスが避けられないという問題点もある。この FRPM 管変形劣化の点検方法を、弊社基幹技術の「コンクリート構造物のひび割れ検出塗装システム」(NETIS 登録 CB-120002-A) の基本原理を応用することで行うための研究を行った。

配管内部を点検者が踏査し、目視点検にてスピーディに行える工法を研究し、点検困難箇所 FRPM 管の異常検知を、点検の未熟練者でも確実に簡便、安価に行える点検方法の確立をする。

研究・技術開発の内容と成果：F/S では弊社基幹技術の「コンクリート構造物のひび割れ検出塗装システム」の基本原理（基材に 2 層の塗膜を形成し、下塗りは柔軟で蛍光顔料を含有する塗膜、上塗りは高硬度で紫外線を吸収する顔料を含有した塗膜とする。基材にひび割れ等が生じると下塗り塗膜は柔軟で破断せずに上塗り塗膜は固く、ひび割れを生じる。この部分に紫外線を照射すると下塗り層が露呈され発光することでひび割れを検出)を応用した FRPM 管樹脂モルタル部の亀裂検出のための塗料を研究した。塗料材料は配水管の内部という環境での耐水性を考慮し、エポキシ樹脂とした。そして設置済みの管内の閉鎖空間でも安全に施工できる有機溶剤中毒の心配が無いモノマー使用の無溶剤タイプで 2 液硬化型にて設計した。

当初想定した塗膜構成は 1 層目は FRPM 管の内面の FRP 層に強固に付着し耐水性がある塗料（プライマー）、2 層目はプライマーに強固に付着し、FRPM 管が圧縮変形しても亀裂が入らない弾性がある耐水性塗料（下塗り塗料）、3 層目は下塗り塗料に強固に付着し、FRPM 管が圧縮変形時に塗膜に亀裂が入る硬度を有し、紫外線を遮断する顔料が均一分散された耐水性塗料（上塗り塗料）であり、それぞれの要素技術を研究した。FRP 層の不飽和ポリエステルに強固に付着して耐水性、弾性を有する塗料が開発できたので、プライマーとひび割れ検出下塗り塗料は一体化して下塗り塗料とした。上塗り塗料はカーボンブラックという顔料を塗料に添加して紫外線を遮光した。また、塗料中にフィラーを添加することで、塗膜の表面

が滑らかで硬質で割れやすい塗膜を設計した。この様に塗膜は2層構成とした。

FRPM管試験体(幅150mmで内径500mmと900mmの2種類)に対し、管内面に試作開発した下塗り塗料を400 μ m、上塗り塗料を200 μ mにて塗装し、常温で1週間養生したものを、名古屋市工業研究所で変位-荷重計に円筒方向を変形させる様に設置して荷重をかけた。FRPM管の内径の8%前後の変形で構成した塗膜の上塗り塗膜に円筒の長手方向にひび割れが生じ、紫外線照射で明瞭に発光した。そのことで、塗装の基本構成及び、材料選定の方向性が間違っていないことが確認できた。しかし、FRPM管の樹脂モルタルの亀裂発生時にはFRP層だけでなくFRPM管自体が破壊されることも判明したので研究の方向を再考した。日本下水道協会の規格においてFRPM管の設置における設計たわみ量の許容値が5%であることに着目し、変形のたわみ量が5%前後で亀裂が入り、紫外線によって発光する塗料の研究に切り替えた。

円弧状に切断した新品のFRPM管試験体の内径側に開発した下塗り塗料400 μ mと上塗り塗料200 μ mの2層を塗装し、常温で1週間既養生したものの塗膜側に建研式引張り試験用の \square 40mmの鉄製アタッチメントをエポキシ接着剤で貼り付け引張り試験を行なった。3検体の付着強度の平均は7.25KN/(40X40)=4.53N/mm²であり、3検体共に樹脂モルタル部分での母材破壊(FRPの表層が剥がれてグラスファイバーが露出状態)を確認した。次に、積水化学工業(株)より提供された農業用排水管に35年供用された堀上FRPM管で薄膜状の汚れが付着した状態のカットサンプルに対し、汚れが乾燥状態と湿潤状態の場合の2種に対し、同じ塗料を既定の厚みで塗装し、養生後に建研式引張り試験を行なった。乾燥状態時の塗装の場合には3検体平均で3.70N/mm²の付着強度がありFRP層での母材破壊で、湿潤状態時の塗装でも3検体平均で2.973N/mm²の付着強度があり、2検体はFRP面からの界面剥離で、1検体はFRP層での母材破壊であった。本実験で湿潤状態でも本研究塗料は成膜可能で付着強度を有していることが確認できた。本研究におけるFRPM管に対する塗料の付着強度の規格は存在しないが、コンクリート防食協会における下水道用コンクリートの防食被覆材の規格で付着強度の合格値が標準状態で1.5N/mm²、吸水状態で1.2N/mm²に対して倍近い付着強度がある本塗料は、多少の汚れが付着した湿潤箇所での現場作業においても実用可能と考える。

この研究を具現化するために、埋設されたFRPM管の維持点検の発注者である東京都下水道局、北海道開発局、点検の受注者である建設コンサルタント会社、点検商材を販売する建材商社そしてFRPM管製造メーカー、及び本研究の応用範囲を調査する為に東京電力で現場ニーズの吸い上げを行った。各調査場所では本研究開発工法に対し大きな関心を示し、担当者との実用化による経済的メリット、適応箇所、要求性能の質疑応答で、有用性が理解され早期の実用化が望まれた。また、当初は想定していなかった施工条件が判明し、具体的な開発・検証事項が露わになった。更に本工法と別の点検工法との組み合わせで、より精度の高い実用性の高い工法が明確になった。

これらF/Sの成果から事業化を見据えた今後の研究必要項目として以下をR&Dで研究した。

- 1) 本研究塗膜のひび割れをFRPM管のたわみ率5%前後で発生させる。
- 2) 気温5℃湿度80%環境で、下塗り塗装後に18時間以内で上塗り塗装が可能なこと。
- 3) 点検時の塗膜面を簡単、短時間、安価に清掃する方法の考案。
- 4) 本研究工法における劣化部分の点検の為に紫外線照射器の仕様設計、及び製作。

1)2) F/Sで開発した塗料をベースにFRPM管内面に2層の塗装をし、たわみ率5%にてひび割れ、紫外線照射で劣化検出ができ、更に気温5℃、湿度80%の環境でも塗装可能な塗料を開発した。1層目はFRPM管の内面を覆っているFRP層の含浸材料の不飽和ポリエステル樹脂に付着(付着強度は樹脂モルタルとFRP保護膜との付着強度を超えること)し、FRPM管が30%の圧縮変形を受けた時にも亀裂が入らない弾性を有し、蛍光顔料が均一に分散され、気温5℃、湿度80%においてFRPM管に塗装後18時間以内に上塗り塗料が塗装できる透明耐水塗料(下塗り塗料)を試作した。一般に軟質のエポキシ塗料の硬化速度は遅く、湿潤状態で、気温が低いと尚更である。この問題点の解決策としてエポキシ樹脂の硬化剤を湿度によりアミンが大量に放出され硬化に有利に働くケチミンタイプを選定した。次に2層目は

1層目の塗料に付着し、FRPM管のたわみ率が5%前後で塗膜に亀裂が入る高硬度で紫外線を遮断する顔料が均一に分散され、気温5℃、湿度80%において18時間以内に成膜できる着色された耐水塗料（上塗り塗料）を試作した。たわみ率が5%と低くともひび割れが入るように、塗膜に脆さを与える球形の無機フィラーの選択と添加量の増加を行なった。

上述の2層の塗料を管内径500mm×幅150mmのFRPM管に塗装、養生し、5%のたわみ率を与えた時に塗膜に亀裂が入り紫外線による発光を確認できた。その塗膜の建研式引張り試験での付着強度は $6.74 \text{ KN}/(40 \times 40) = 4.21 \text{ N/mm}^2$ で十分な強度であった。次にFRPM管のカットサンプルに下塗り塗装を行い、気温5℃、湿度80%の環境に静置して18時間後に上塗り塗装が可能であることを確認した。

3)F/Sですでに温水高圧洗浄機と強アルカリ界面活性剤で汚れの付着したFRPM管の洗浄は簡単に行えることは判明していたが、強アルカリ界面活性剤を使用すると汚水を中性化処理する必要がある。界面活性剤を中性のものを選択し、それを泡状にして汚れに吹き付け、数分放置した後に温水洗浄すれば、強アルカリのものと同じ効果が得られた。

4)本研究においてひび割れを検出する紫外線照射器は管内を点検者が踏査しながら扱うので、長時間の照射が可能で、小型軽量で照射距離を調整できるものが望ましい。昨今、365nm, 385nmの紫外線波長が照射できるLEDが市販されており、365nm波長の60Wタイプ（小型リチウムバッテリー要）、6Wタイプ、250Wタイプ（電池タイプ）を照射距離の変更が可能なるものを開発した。

研究成果の刊行に関する一覧表：

雑誌名（「第10回学術講演会論文集、コンクリート構造物のひび割れを検出する塗装塗膜、PP85-86」コンクリート構造物のひび割れを検出する塗装塗膜）

刊行年月日：平成28年3月9日

刊行書店名：公益社団法人 日本材料学会東海支部

執筆者氏名：高橋 康一

研究成果による知的財産権の出願・取得状況：

知的財産権の内容	知的財産権の種類、番号	出願年月日	取得年月日	権利者名
強化プラスチック複合管用製造方法	特願 2014-204396	2014年10月3日		高橋康一

成果の実用化の見通し:セキスイ管材テクニクス株式会社と今後の実用化を視野に検討中である。