

紫外線照射で構造物のひび割れを発光させ検出する塗装塗膜

プラナスケミカル(株) 正会員 高橋康一

1 はじめに

日本では高度経済成長時期に建設された社会インフラである橋梁やトンネルが供用後数十年が経過し、使用されたコンクリートは中性化や塩害などの劣化により、はく落などの重大事故が発生し始めている。それらの延命化には構造物を適切な時期に適切な箇所を補修する必要がある。その補修時期、補修箇所を見極めるためには構造物のひび割れなどの劣化を定期的に検査し計画を立てなければならない。熟練点検者が不足する中、未熟練点検者による点検では技量不足による見落としやスケッチの記入ミス、点検しにくい場所は点検しないなどの手抜きが起こっている。更に、点検時間もかかり、道路であれば、交通規制による渋滞等の社会損失も大きい。こうした点検の問題を解決するために、予めそれらコンクリート構造物に特殊な塗装を行うことで、そこに紫外線を照射すると塗装後に生じたひび割れが発光し簡単に検出できるという画期的な技術の開発に取り組んだ。

2 技術概要

2.1 塗装塗膜の構成

ひび割れの発生が無い検査の対象基材の上にアンダーコート(UC)とトップコート(TC)の2層の塗装を行う。UCは蛍光顔料を含有させた柔軟な透明塗膜で厚みは約 $200\mu\text{m}$ 、TCは紫外線を遮蔽する高硬度の透明塗膜で厚みは約 $200\mu\text{m}$ で構成する。有機溶剤系塗料での塗装時の引火や有機溶剤中毒という問題点を考慮し、本技術はUC、TC共に水系アクリルエマルジョン樹脂を用いて塗料を設計した。塗装方法はローラー刷毛や吹付けにて行う。

2.2 本技術の原理

図1に示すようにコンクリートにUCとTCを塗布した状態において、コンクリートにひび割れが生じるとUCは柔軟な弾性塗膜のため、破断せずに伸びる。ところがTCは高硬度の塗膜のため、コンクリートのひび割れに追従して破断する。その結果、その破断面の下からUCが露呈し、UCに含有された蛍光物質が紫外線の照射により励起され塗膜のひび割れが明瞭に発光し、コンクリートのひび割れを検出できるという原理である。

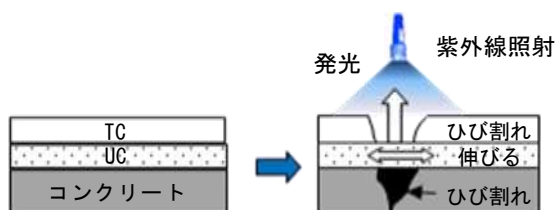


図1 ひび割れの発光原理

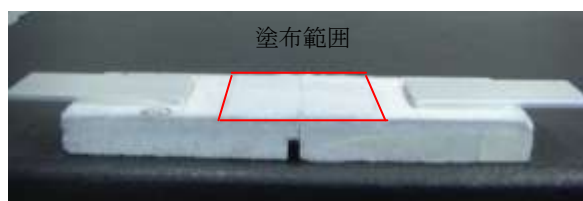


図2 静的荷重（引張り）試験体

3 実験概要

本技術によりモルタルに2層の特殊な塗膜層を付与して、その塗膜のひび割れの状態を、動的荷重を加えた場合と静的荷重を加えた場合における塗膜の状態を観察した。

動的荷重を加える試験体は、基材をJIS A 6909-2003 既定の $70 \times 70 \times 20\text{mm}$ のモルタル材で $70 \times 70\text{mm}$ 面の片面に塗膜厚みがUC、TC共に $200\mu\text{m}$ になるようにローラー刷毛にて塗装したものを3ヶ製作して1週間常温養生した。

それら試験体の塗膜を形成した面の裏側から、その中央付近にタガネを当て軽く金槌で叩きモルタルに衝撃を加えることでTCに微細な亀裂を発生させ、紫外線を照射しひび割れ状態を観察した。

静的荷重を加える試験体は基材をJSCE-K532-1999(土木学会規格)既定の $120 \times 40 \times 10\text{mm}$ のモルタル材で、 120mm 方向の中央に深さ $5\text{mm} \times$ 幅 3mm のスリットの入ったものをスリット部分で割断して再度組合せてからスリットを中心に $40 \times 40\text{mm}$ の範囲(図2 塗布範囲)に塗膜厚みがUC、TC共に $200\mu\text{m}$ になるようにローラー刷毛にて塗装したものを3ヶ製作して1週間常温養生した。それら試験体をオートグラフに固定し長手方向に $5\text{mm}/\text{min}$ の速度でTCに亀裂が生じるまで引っ張り、2種の波長の紫外線を照射しながら、塗膜の発光とひび割れ状態を観察した。

4 実験結果

4.1 動的荷重による実験

実際の試験体のひび割れ幅は 0.05mm 程度(図3左)であったがTCの塗膜のひび割れは広く 0.5mm 程度であり紫外線による発光は明瞭であった。(図3右) 衝撃による動的荷重では非常に敏感に塗膜にひび割れが生じた。

キーワード ひび割れ検出, 水性塗料, コンクリート劣化診断, 維持管理, コスト縮減

連絡先 〒458-0034 愛知県名古屋市長区若田2丁目1008番 プラナスケミカル株式会社 TEL 052-629-0170

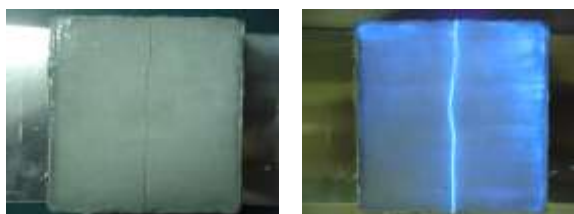


図3 動的荷重（衝撃）による結果

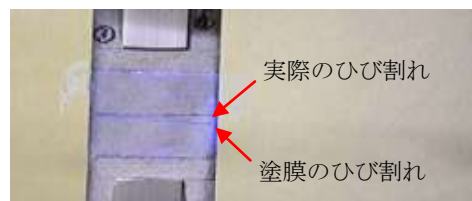


図4 静的荷重（引張り）試験による結果

4.2 静的荷重による実験

試験体を引っ張った結果、3 検体の TC の塗膜破断までの基材のひび割れ距離の平均は 0.2mm であった。図 4 に示すように塗膜亀裂は紫外線で発光が確認できたが、基材のひび割れ部位と同一の場所には亀裂は生じなかった。

4.3 ひび割れの発光

ひび割れの検出のために照射する紫外線は 365nm と 385nm の 2 種類で行なった。どちらも明瞭に発光はするが、比較すると 365nm が良好な発光が確認された。また、蛍光灯下でひび割れに明瞭な発光が認められる紫外線光量はスペクトラル応答性 300～400nm、中心ポイント 355nm の範囲で $15 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以上が必要であることを確認した。

5 実構造物への適用例

5.1 鋼構造物への適用

鋼部材で構成されている構造物では、部材のボルト・ナットによる締結部周辺に塗装してその緩みを、また溶接部や応力集中部位に塗装して、部材破断を紫外線を照射して遠望目視点検を行う。

5.2 アンカーボルト周辺での適用

アンカーボルト周辺のコンクリートに生じるコーン状破壊の対策として、アンカーボルト周辺に塗装し、コーン状破壊の予兆であるアンカーボルト周りに円形に生じる亀裂に紫外線を照射し遠望目視にて点検する。



Fig.5 塗装工事

6 結論

- 1) ひび割れ部の発光輝度が高い 点検は夜間や暗所に限らず、直射日光が当たらない場所ならば点検が可能である。図3は室内の蛍光灯下で紫外線を当て撮影したものであるが 365nm の波長で $15 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ の光量にて明瞭に発光。
- 2) 亀裂発生感度 塗膜の亀裂発生は動的荷重（衝撃）の方が静的荷重（引張り）よりも敏感にひび割れが生じるが、静的荷重でも十分な亀裂発生感度を有していることが判明した。
- 3) 安全で耐候性を有する水系塗料 本技術は水系アクリルエマルジョン樹脂を用い開発した塗料であるので、塗装中に揮発した有機溶剤に引火したり、閉鎖空間で施工者及び工事関係者の有機溶剤中毒の心配がほとんど無く安全である。さらに紫外線フェードメータ 700h 試験では異常は見られないほど耐紫外線性能を有している。

なお、本塗装塗膜は、付着強さ、耐アルカリ性、耐候性（紫外線フェードメータ 700 h）、促進中性化、しゃ水性、ひび割れ追従性、塩化物イオンしゃ断性、水蒸気透過阻止性、酸素しゃ断性、延焼性・自己消化性、発生ガスの安全性試験等の安全規格に合格している。

7 当該技術の応用（FRPM 管対応）

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。管が変形しても FRP 層に変状が生じないので、フェーム管の様に亀裂を目視できず現在点検に苦慮している。

その点検方法の提案として FRPM 管の埋設時の設計上の許容たわみ率に着目し、たわみ率が 5% を超えた場合に亀裂が入り紫外線で発光する管内面に塗布する 2 層塗料の開発を、耐水性と強度の高いエポキシ樹脂にて行った。なお、当該課題は、国土交通省 平成 26 年度 27 年度 建設技術研究開発助成制度 中小企業タイプに採択され、現在も継続的に研究開発中である。

謝辞 本研究開発の一部は平成 24 年度国土交通省 建設技術研究開発助成制度 中小企業タイプで採択され実施した成果及びその後の進展結果である。この研究には、岐阜大学工学部の国枝稔氏、並びに名古屋市工業研究所の児島澄人氏にご指導と試験協力を頂いた。また、合資会社三協建設からは本論文記載の塗装工事写真を提供された。ここに記し謝意を表す。