

平成30年4月20日

公益信託 NEXCO関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ信託銀行株式会社 宛

研究概要書

研究課題：高速道路のひび割れを検出する方法の開発

研究代表者：東京工業大学物質理工学院 准教授 道信 剛志

共同研究者：土木研究所先端材料資源研究センター 主任研究員 百武 壮

はじめに

インフラ構造物の高齢化が進む中、建設時に想定されていなかった巨大地震や天災などの潜在的な重大事故リスクを低減させるための長寿命化研究のニーズが高まっている。一般的な打音検査や最先端装置を用いた大掛かりな点検技術は高コストになるため、新しい安価な日常的モニタリング技術の開発が求められている。また、それによって効率的かつ安心安全な社会インフラが実現できる。

1. 研究の目的

本研究では、特に高速道路や箱桁橋の安全に焦点を絞り、コンクリートのひび割れを高感度で検出するためのセンサー塗料を開発することを目的とした。安価に大量生産するために有機高分子材料からなる塗料とすることを選択した。高分子は溶剤に溶かすとインクとなるため実用的価値が高い。また、センサー素材として酸素濃度に応答して発光強度が変化する有機色素を塗膜中に少量混合しておく。これにより、塗膜のひび割れ部位に侵入した酸素に応答して消光が起こるため、ひび割れを高感度で検出することができる。この方法は高分子光学酸素センサーの原理を上手に活用しており、酸化セラミックス等の無機材料を用いたセンサーより安価で簡便に作製でき、大量生産にも対応できる^[1]。最終的には、高速道路内壁および箱桁橋内壁に塗布してそれらを定常的に計測する技術として確立する。今回は長期間安定にセンサー機能を発揮できるように、耐久性を付与する構成について調査した。また、安価でディスプレイなセンサー塗料の開発も試験した。

2. センサー塗膜の構成成分最適化

前年度は季節や緯度に関係なく安定したセンサー機能を実現するため、金属ポルフィリンの発光挙動から温度依存項を差し引く方法論を確立した^[2]。今年度は、センサー膜を多層化することで性能を落とさずに耐久性を高める構成を整理した。センサー層をシンプルにするため、温度応答性色素（Eu 錯体）は添加せず、温度依存性については考慮しなかった。また、Pd ポルフィリンの代わりに化学的安定性に優れた Pt ポルフィリン（図1：PtTFPP）を用いた。

まず、PtTFPP（0.02-0.1wt%）と気体透過性が高いポリトリメチルシリルプロピン（PTMSP）（1wt%）のトルエン溶液をエアブラシを用いてガラス板上にスプレーコートして発光塗膜を作製した。この状態では大気中の

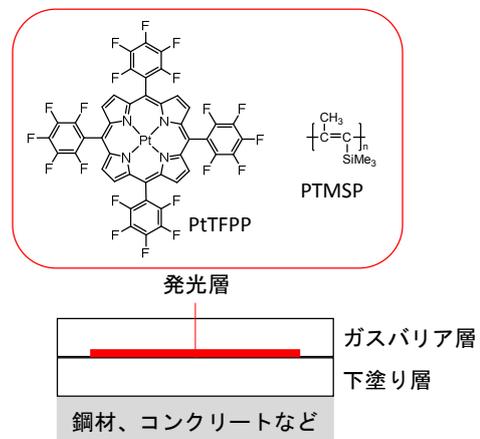


図1 ひび割れ検出塗膜の構成と発光層の成分構造

酸素が塗膜内に侵入しているため、紫外線を照射しても明確な発光は観測されなかった。一方、発光塗膜を覆うようにポリビニルアルコール (PVA) 水溶液を塗布して乾燥させるとガスバリア層として機能し、PtTFPP 由来の発光が明確に 651nm に現れた。PVA を部分架橋すると水に不溶となり、耐候性が向上した。

コンクリート表面に直接発光層を塗布すると感度と耐久性が悪くなる。そのため、コンクリートの空孔を埋めるためにエポキシ樹脂系パテ剤を使用し、塗装用エポキシ樹脂系下塗りを施した。その後、その上に PtTFPP/PTMSP の発光塗膜および PVC の保護膜を積層した (図 1)。コンクリートにハンマードリルで穴を開け、セリ矢という工具を用いて穴を広げる方向に応力をかけていくことでひびを入れた。積層した膜厚を調整することでひび割れ幅 0.1 mm 程度であってもひび割れから侵入する酸素に応答した消光挙動が観測でき、暗視野で遠方から (5 m 以上) のひび割れ検出が可能であった (図 2)。

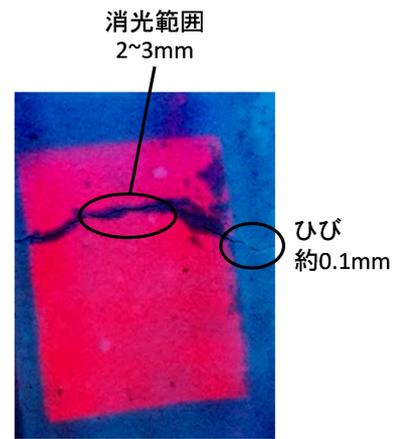


図 2 ひび割れ検出塗膜による微小ひびの拡大検出

下塗りの素材や厚さ、スプレーする色素とポリマーの割合や噴霧時間、PVA を保護するためのトップコート層の導入などを検討し、発光塗膜作製条件の最適化を行った。その結果、下塗り塗装をおよそ 300 μ m、発光層の膜厚をおよそ 3 μ m、PVA の膜厚をおよそ 25 μ m の塗膜を作製すると、幅 0.15mm 程度の小さなひび割れを幅 1cm 程度の消光として強調できることを明らかにした^[3]。

また、施工現場での作業量を減らすため、簡便なセンサー塗膜の作製法も試した。あらかじめ PtTFPP と PTMSP を塗布した食品ラップを用意し、PVA 水溶液で発光層を密封した後、試験片に貼り付けるという非常に簡単な方法でもひび割れの検出ができることがわかった。

3. まとめと今後の展望

安定性・耐候性に優れたセンサー塗料の構成を最適化することができた。下塗り層はエポキシ樹脂、ガスバリア層は PVA といずれも汎用高分子材料を用いているためコスト面でも有利である。また、ある程度の距離があっても (5 m 以上) 明確にひび割れ検出ができるところまで明らかにした。今後は、今回開発したセンサー塗料を大型模

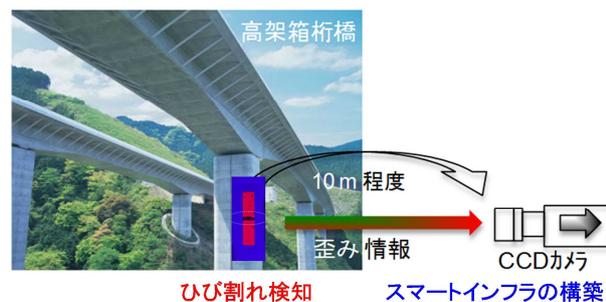


図 3 ひび割れ検出によるスマートインフラの構築

型に塗布して施工・曝露・実試験を実施する予定である。最終的に、スマートインフラの実現を目指し、CCD カメラを用いたひび割れの定常モニタリングシステムを構築することを考えている (図 3)。

参考文献

- [1] 百武 壮, 西崎 到, 道信 剛志, 検査技術, 2015, 20, 18.
- [2] S. Sano, T. Yuuki, T. Hyakutake, K. Morita, H. Sakaue, S. Arai, H. Matsumoto, T. Michinobu, Sens. Actuator B 2018, 255, 1960-1966.
- [3] N. Takeda, T. Hyakutake, H. Nitta, T. Michinobu, in preparation.