

発光型ひび割れ検出塗膜の気体透過性と検出感度に関する検討

土木研究所 正会員 ○百武 壮

土木研究所 正会員 西崎 到

土木研究所 正会員 新田 弘之

東京工業大学 非会員 道信 剛志

1. 研究背景

インフラ構造物の本格的な高齢化に対応するため、低コストで信頼性が高い劣化診断技術の開発が求められている。これら構造物は膨大な数であるため、効率的な技術が必要である。本研究では構造物に生じるひび割れを主とする劣化を、機能材料を用いて、簡便に検知できる新しいセンサー塗料(ひび割れ検知塗料)について報告する。この塗料は、ブラックライトで照射することによって可視光で強く発光し、ひび割れ箇所が S/N 比高く消光する機能を有する¹⁾。また、ひび割れが閉塞した場合も履歴が残るため、定期点検にも利用可能である。

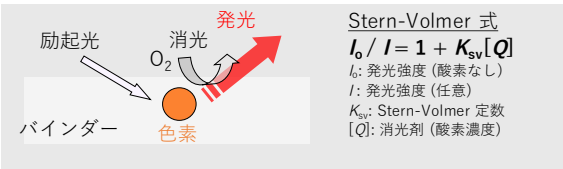


図-1 光学酸素センサー

ひび割れの検出は主に目視で行われるが、トンネル、箱桁内、栈橋上部工の点検は暗視野で行われる。また、足場を組んで近接点検するのが困難な場合も多い。このような条件において比較的遠方から目視観察あるいはカメラ計測になどの簡易的な点検による劣化検出の方法として有用である。

2. 検出原理と目的

ブラックライトなどの励起光によって発光し、周辺の酸素濃度に応答して発光強度が変化する色素を用いた光学酸素センサーが知られている(図-1)²⁾。ひび割れ検出塗膜はこれを透明な塗料の中に配合して酸素センサー層とし、さらにこれを下塗りとして透明なガスバリア層で遮蔽した構造を有する(図-2 右)。構造物にひび割れが生じた場合には、塗膜にもひび割れが生じるが、これにより塗膜中の微小な酸素濃度変化から発光の消光が起きる。各層は刷毛やスプレー塗布によって簡単に塗布することが可能である。本報告ではひび割れ検出の最適化を目的とし、センサー層の気体透過性や膜厚とひび割れ検出の関係性について検討した。

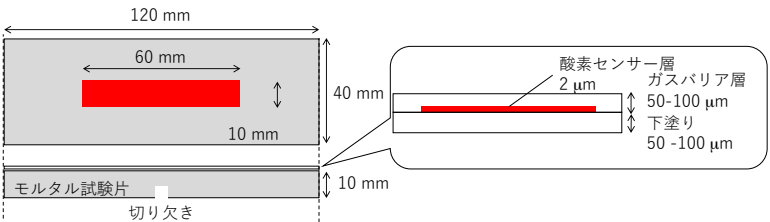


図-2 ひび割れ検出塗料の構成と施工例

表-1 塗膜の積層の構成

No.	センサー層の バインダー	ガスバリア層厚 (μm)	下塗り厚 (μm)	ひび割れ 応答性
1	高気体透過性	50	50	◎
2	高気体透過性	50	100	○
3	高気体透過性	100	50	△
4	高気体透過性	100	100	△
5	中気体透過性	50	50	×

3. 性能確認実験の方法

- ひび割れによる発光消光挙動と塗膜性能・構成の条件を確認するために、以下の実験を行った。
- (1)透明なバインダー樹脂に酸素センサー色素(白金ポルフィリン 0.5wt%)を配合し、スプレー塗布して酸素センサー層を作製した。気体混合装置を接続した蛍光分光光度計で酸素濃度を 0(無酸素)–21%(空気)で変化させ、発光スペクトルを計測した。一連の酸素濃度における発光強度について発光消光を評価した。
- (2)表-1 の構成で作製したひび割れ検出塗膜をモルタル試験片に施工した(図-2 左)。モルタル試験片(JSCE-K532-1999)を一軸引張試験に供し、ブラックライト照射下、市販のデジタルカメラで発光像を計測した。

キーワード ひび割れ検出, メンテナンス, 可視化, センサー
連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所 材料資源研究センター

4. 結果および考察

(1)酸素センサー層単独の発光スペクトル(650 nm)から発光強度比と酸素濃度の関係を図示した(図-3)。気体透過性の高いバインダー(酸素の気体透過係数 $P_{O_2} > 100 \text{ Barrer} (=1 \times 10^{-10} \text{ cm}^3(\text{STP}) \cdot \text{cm}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{cmHg}))$)では酸素によって迅速に発光強度が変化したが、中程度の気体透過性バインダー($P_{O_2} = 1 \text{ Barrer}$ 程度)では酸素濃度に応答した発光強度の変化は減少し、目視による消光の認識は困難であった。ひび割れ検知塗膜はガスバリア層($P_{O_2} = 0.001 \text{ Barrer}$ 以下)によって封止された状態で光励起されて発光するため、塗膜内部の酸素濃度は大気中に比べて低くなる。母材のひび割れによって塗膜が破れ、酸素が侵入することで消光が起こるため、センサー層の気体透過性はある程度高いことがひび割れ検知に重要な条件であると考えられる。

(2)モルタル試験片 No.1—5 を一軸引張試験に供し、図-4 のようにモルタル試験片の切り欠け付近にひび割れを生じさせた。下塗り(50–100 μm)はエポキシ樹脂を用いており、母材(ここではモルタル試験片)との接着性が良好で、母材にひび割れが生じると下塗りにもひび割れが生じることを確認した。ひび割れ検出塗料の発光は強く、携帯型のLEDブラックライトを用い、室内灯の下でも十分な発光消光が目視できた。実験を行った条件(表-1)の中では、高気体透過性バインダーを用いた場合、下塗り、ガスバリア層それぞれの厚み 50 μm (試験片 No.1)で最も感度が高く、0.1 mm 幅未満のひび割れにも応答し、周辺が迅速に消光することでひび割れが検知された(図-4)。下塗り、ガスバリア層ともに厚塗りすると、ひび割れ箇所から剥離が生じ、ひび割れ箇所と発光消光が一致しないものもあった。一方で、気体透過性が中程度のバインダーを用いた場合(試験片 No.5)、ひび割れ部からの酸素侵入による発光強度の変化は視認できなかった。ガスバリア層とバインダーの気体透過性が近い場合、ひび割れ破壊による酸素濃度変化が小さかったためと考えられる。1 mm 程度開口した時に発光層が完全に分断されて無発光部として観測された。酸素センサー層に用いるバインダー樹脂の気体透過性によってひび割れに対する応答性は変化し、ひび割れ検知塗膜の感度制御の可能性が示唆された。

5. まとめ

下塗り、ガスバリア層の膜厚を適切に制御することにより、目視困難な微小なひび割れに応答する感度を設計することがわかった。酸素センサー色素バインダー樹脂について、高い気体透過性によって目視によるひび割れ検知は可能であった。発光計測は非破壊、非接触、高感度などの利点がある。耐候性や材料の寿命の検討のほか、光照射と観測方法など統合的な診断システムの構築を今後検討していく。

参考文献

- 1) 百武 壮, 西崎 到, 道信剛志: ひび割れ検出塗料を用いた構造物の劣化検出技術, 検査技術, 20, pp.18-22, 2015
- 2) Liu T., Sullivan J.P., Pressure and Temperature Sensitive Paints, Springer, 2004

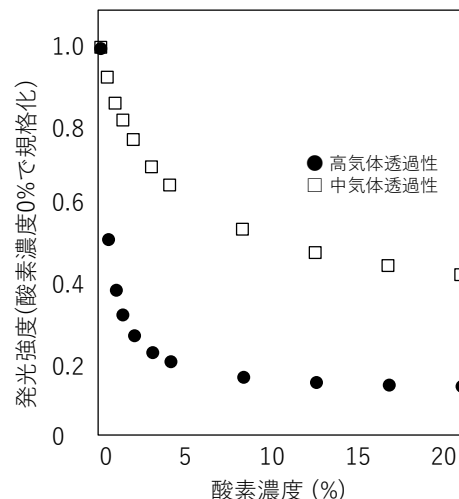


図-3 一連の酸素濃度における酸素センサー層の発光強度変化(酸素濃度 0%で規格化)

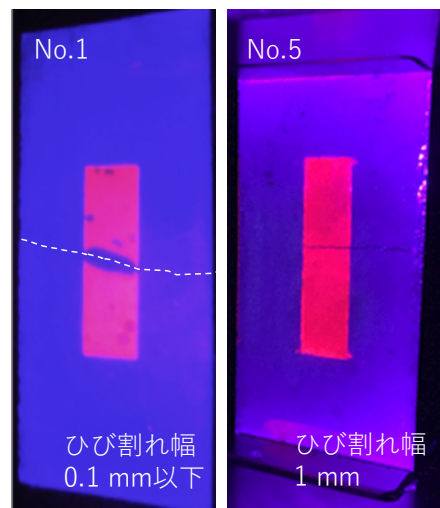


図-4 ひび割れ可視化像

(左)試験片 No.1 ひび割れ幅 0.1 mm

(右)試験片 No.5 ひび割れ幅 1 mm