

1. 原稿の種類: 論文・解説・総説・ノート
2. 表題(和文): コンクリートのひび割れを色変化として記録する構造色シート
表題(英文): Structural color sheet that records concrete cracking as color changes
3. 筆者氏名: 不動寺 浩¹⁾, 大屋 貴生²⁾
筆者氏名(英語表記): Hiroshi Fudouzi¹⁾, Takao Oya²⁾
4. 筆者所属先: (国)物質・材料研究機構¹⁾, ショーボンド建設補修工学研究所²⁾
5. 筆者連絡先: FUDOUZI.Hiroshi@nims.go.jp
6. 筆者紹介:
不動寺 浩 物質・材料研究機構電子・光機能材料センター主席研究員 博士(工学)
1993 年九州工業大学大学院工学研究科物質工学専攻博士前期課程修了 同年科学技術庁金属材料研究所総理府技官, 2001 年より物質・材料研究機構研究員, 主任研究員, 主幹研究員を経て 2015 年より主席研究員, 現在に至る.
連絡先 〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1 (勤務先)

大屋 貴生 ショーボンド建設株式会社 補修工学研究所 研究員
2007 年静岡大学理学部化学科卒業, 2011 年ショーボンド建設株式会社入社, 現在に至る.
連絡先 〒305-0003 茨城県つくば市桜 1-17 (勤務先)
7. 図表の数: 13 枚
8. 総文字数: 8266 字

1 はじめに

日本では急速な少子高齢化の進行に伴い、経済活動の低下や財政危機が懸念されている。また、高齢化は人だけに留まらず、国民生活や企業の経済活動の基盤となっている社会資本(インフラ)においても建設から50年を超えるものが増え、老朽化が急速に進行している。我が国の社会資本の蓄積は高度成長期から集中的に整備され、表1に示すように今後20年で高齢化が急速に進行していくことが国交省の資料で予想されている。例えば、建設後50年経過する道路橋の割合が2023年の37%から2040年には75%に急増する¹⁾。また、トンネルでは2023年の25%から2040年には52%と半数を上回る。同様に、河川管理施設、水道、下水道、港湾施設でも急速な老朽化が進行する。

表1 社会資本の現状と将来予測(国土交通省 HP 掲載資料を改編)

	2023年3月	2030年3月	2040年3月
道路橋 ^{注1)} 約73万橋 (橋長2m以上)	約37%	約54%	約75%
トンネル ^{注1)} 約1万2千本 ^{注2)}	約25%	約35%	約52%
河川管理施設 ^{注1)} [約2万8千施設]	約22%	約42%	約65%
水道管路 [総延長: 約74万km]	約9%	約21%	約41%
下水道管渠 [総延長: 約49万km]	約7%	約16%	約34%
港湾施設 ^{注1)} [約6万2千施設 ^{注2)}]	約27%	約44%	約68%

1.建設後50年以上経過する施設の割合については、建設年度不明の施設数を除いて算出。
2.総数には、建設年度不明の施設を含む。 資料) 国土交通省

このような将来予測の元、2018年に国交省は社会資本の将来の維持管理・更新費の推計を行いその結果を公開した。この推計では予防保全の考え方によるインフラメンテナンスの実施を基本として、近年の取組の実績や新たな知見等を踏まえ、国土交通省所管分野における今後30年後までの維持管理・更新費を推計した。総額は176.5~194.6兆円程度が必要であると公表している。社会資本の施設管理者である国・地方は厳しい財政状況にあり、限られた予算でメンテナンスの効率化・高度化のための技術開発と導入を必要としている。顕在化する社会課題に対しモニタリング技術、ドローンやロボットの開発・導入など多種・多様な知見を活用することで社会資本の維持管理・更新費を抑制し、持続可能な社会インフラを維持していく必要がある。

2 コンクリート構造物でのニーズ例

社会資本を構成するコンクリート構造物の検査ニーズとして、負荷を受けたコンクリートに生じるひび割れをモニタリングすることが挙げられる。ひび割れから雨水や海水などがコンクリート内部に侵入し、内部の鉄筋が錆びることでコンクリート強度が低下することが問題となる。コンクリート橋梁にひび割れが生じる要因として地震等の自然現象に加え、道路橋の場合、過積載したトラックなど大型重量物が通過することでも生じる。図 1A ではトラック通過によるひび割れの生じるイメージを示す。トラックが通過し負荷がなくなるとひび割れは閉じてしまう為、負荷でどの程度のひび割れが生じたか、ひび割れの影響を診断するために負荷の影響を記録する技術が待望されている。

図 1B は法律で定められた橋梁の 5 年点検(法定点検)の様子を示す(つくば市 NIMS 内のペDESTリアン用コンクリート橋)。実際の橋梁点検において、交通規制を行った上で高所作業車両により検査員が橋梁に近づき、ハンマーによる打音試験と、チョークや油性ペンによるマーキング及び、その写真撮影でひび割れの長さや大きさなどの記録を行っている。検査対象となる道路橋の管理者は地方自治体を中心であるが、多数の橋梁を管理するための人材及び予算確保が負担となっている。遠隔検査やドローン・ロボットの活用で簡便・低コストの検査技術のニーズが期待されている。さらに、表 1 に示したよう法定点検の対象橋梁は長さが 2m 以上であるが、2m 以下のものも多数存在しており、地方自治体あるいは企業・個人が管理している。現行の高所作業車による近接目視より、遠隔にてより簡便でコストが抑えられる新技術の開発・導入を期待している。



図 1 コンクリート橋梁のインフラニーズの例、A)コンクリートに生じるひび割れ(過積載トラックによる負荷や地震、経年劣化など)、B)コンクリート橋梁の法定定期点検の様子と

課題(技術ニーズ)。

3 ひび割れを可視化する技術

低コストで簡便にコンクリート構造物に生じるひび割れを長期間モニタリングする技術が必要とされている。表2に著者の知る範囲で実用化及び研究開発中の技術例を纏めた。

表2 インフラ構造体の劣化を可視化のための技術例

	原理・現象	製造コスト	視認性	施工方法	記録性	歪み 定量性
表面き裂検出塗料	マイクロカプセルが破壊すると染料が染み出て発色(市販段階)	◎	○	スプレーコート	○	△
応力発光塗料	無機蛍光物質が破壊時に発生する微弱発光(R&D段階)	○	△ 暗環境	スプレーコート	×	◎
KKクラックシート	繊維強化プラスチックが変形による局所白濁化(市販段階)	◎	○	シート接着	○	△
歪み可視化シート (コロイド結晶)	オパール結晶シートの構造色が変形によって変色(R&D段階)	△	◎ カラー	シート接着	○	◎
ひび割れ可視化シート (多層膜フィルム)	多層膜干渉による構造色(工業製品転用)、塑性変形→構造色変化	◎	◎ カラー	シート接着	○	○

表面亀裂検出塗料は古くよりある技術で、マイクロカプセルのインクが破壊する現象を利用している²⁾。応力発光塗料は近年開発された応力可視化技術で、これらは粉末状をスプレーコートで検査対象への施工が可能であり、高速道路のコンクリート橋梁での実証実験も報告されている³⁾。ただ、微弱発光なので撮影や観察が暗環境下にて、かつ応力負荷時のみ発光するため、動画記録が必要なことなど課題がある。一方、KKクラックシートは繊維強化プラスチックの変形で白濁化する現象を利用している⁴⁾。これはシート状で検査対象に接着剤で貼り付ける施工方法で、検査対象に発生したひび割れが強調され容易に視認できる。

歪み可視化シートとひび割れ可視化シートは、著者らが開発している構造色の色変化を利用する新技術である。前者は粒径の揃ったコロイド粒子が規則配列したオパール結晶の構造色を利用する技術^{5), 6), 7), 8)}で、歪み量を計測することも出来る。歪み可視化シートは内閣府主導の国家プロジェクト SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術(2014~2019年)で現場施工の技術開発が行われた^{9), 10), 11), 12)}。図2に歪み可視化シートの基本機能とコンクリートの曲げ試験におけるひび割れ可視化試験の様子を示す。図2Aの歪み可視化シートでは構造色はアルミ試験片塑性変形領域が赤色から緑色へ変色する。この構造色は反射スペクトルから1本の反射ピークに起因していることが分か

る。さらに塑性変形によって反射ピークが低波長側へシフトしており、このピークシフト量と塑性変形量に相関がある。歪み可視化シートについて広島大学¹³⁾及び東北大学^{14), 15)}の同研究者が評価している。

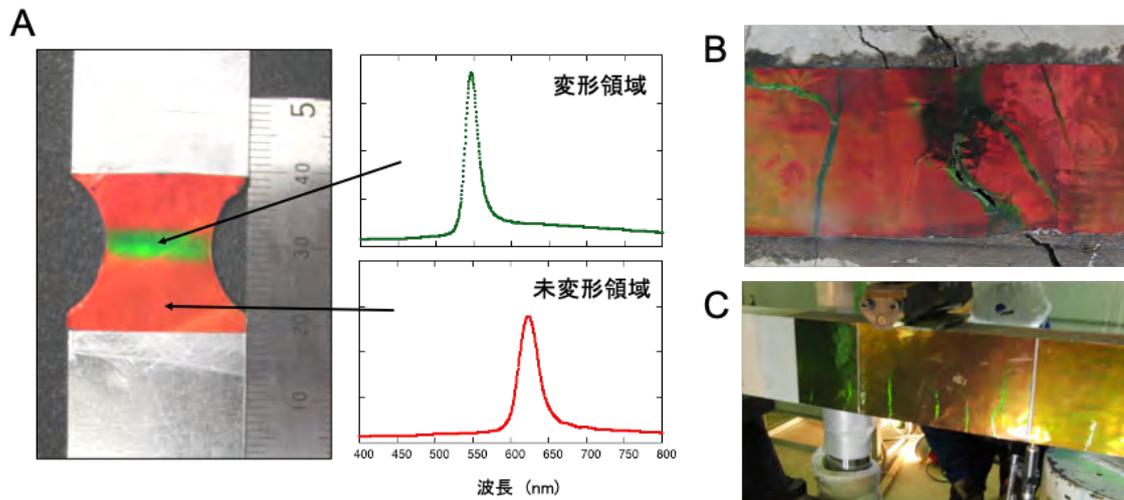


図 2 歪み可視化シート、(A)アルミ試験片の塑性変形を可視化、(B)コンクリート橋梁のひび割れ可視化(長崎大学、下面)、(C)コンクリート供試体のひび割れ可視化(土木研究所、側面)

コンクリート構造物への適用について、図 2B(長崎大学)¹⁶⁾及び図 2C(土木研究所)¹⁷⁾及びカナダ原子力研究所¹⁸⁾などで検討されている。ひび割れ箇所が赤色から緑色へと構造色に変色しており、ひび割れを可視化することができる。ただ、コンクリートについてはひび割れの可視化であって歪み量の測定までは必要とされていない。

歪み可視化シートは研究室レベルで A3 サイズのシートをバッチプロセスで成膜しており、研究レベルの用途には十分対応できる。しかし、大面積あるいは大量に製造するための量産技術が未開発である。これは技術的な理由により成膜プロセスのスケールアップに課題があり、現時点で製造コストを大幅に引き下げることは難しい。

一方、ひび割れ可視化シートは歪みの定量計測はできないものの量産化されている多層膜干渉フィルム¹⁹⁾を利用するため、製造コストの課題もクリアできる。本解説ではひび割れ可視化シートについてモルタル試験片を利用した技術について紹介する。

4 構造色の変色を利用したひび割れ可視化技術

構造色が生じるナノ多層膜シートにより、コンクリートのひび割れを記録する技術の仕組

みを図 3 に纏める。著者らはこの新材料を、“ひび割れ可視化シート”と呼ぶことにした。図 3A は断面構造のイメージで、構造色層と吸収光層&基板シートを接着層でラミネート化した断面構造となっている。構造色層には帝人フィルム社の多層膜 PET シート(超多層フィルム MLF シリーズ)を、吸収光層&基板シートには東レ社製のポリエステルフィルムミラー黒色グレード X30(膜厚 50 μ m)を使用した。この超多層フィルムは、ナノ多層膜構造で多層膜干渉による構造色が生じる。吸収光層と密着させることで鮮明な構造色が発色する。また、図 3B に示すように引張変形で構造色層が伸長されると、多層膜構造の周期が縮小するため構造色も変色する。なお、吸収光層は基板としても機能しており、構造色層が塑性変形時に破断することを防ぎ、基板シートとしての機械強度も付与している(構造色層のみでは塑性変形時に変形せず破断する現象が発生した)。図 3C はひび割れ可視化シートをコンクリート構造体に貼付、試験機を使ってコンクリートにひび割れを生じさせる状況を図示した。歪み可視化シートもひび割れにより塑性変形し、局所的に構造色も変化する。除荷によってひび割れが消失しても、ひび割れ可視化シートは構造色の変色としてひび割れを記録することができる。

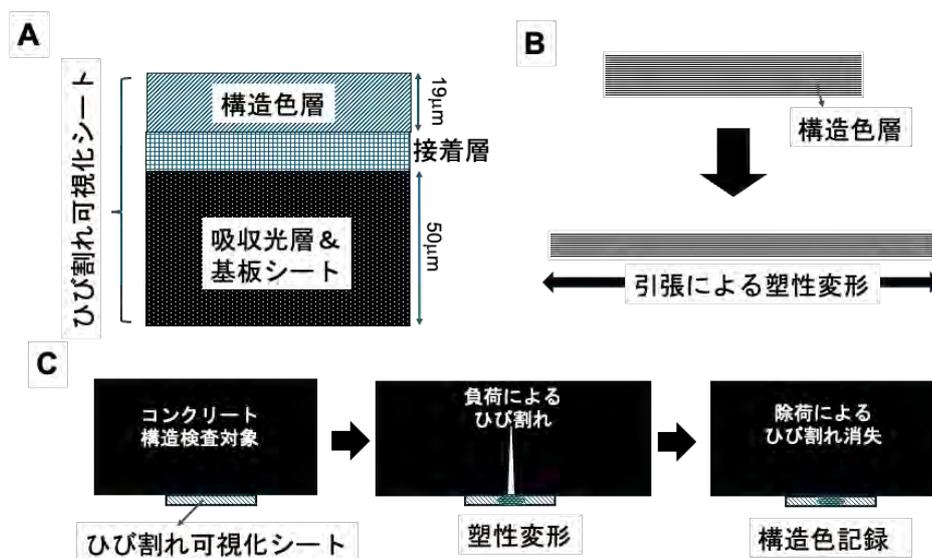


図 3 ひび割れ可視化シートの仕組み、A:シート構成、B:塑性変形による構造変化(構造色層の膜厚が縮小)、C:ひび割れは消失してもコンクリートのひび割れは記録可能

この塑性変形によるシートの色変化は、多層膜層が圧縮するため周期が縮小することで構造色に変色することに起因している。ひび割れ可視化シートの変形による反射スペクトルの変化を図 4 に示す。ダンベル試験片を 37.75N で 10 mm 伸長、除荷後、図 4A の塑性変形した領域 (i, ii, iii) を、反射プローブ分光装置 (Ocean Optics, USB-2000+) で測定し

た結果を図 4B のグラフで比較した。複数のピークが観察され、そのピーク群が低波長側へシフトしている。領域 i は赤色で変形が少ない(ピーク群の中心は 630nm)、領域 ii は橙色でピーク群の中心は 600nm、領域 iii は緑色の構造色でピーク群の中心は 570nm と、おおよそその変形量と構造色変化の相関は観察される。

ちなみに、歪み可視化シートに使用するコロイド結晶の場合(図 2A)は 1 本のみのシャープな反射ピークが変形量に応じてブルーシフトし、歪み量は反射ピークのシフト量より測定できる。金属などの塑性変形で歪み分布を可視化するには必要な条件であるが、本解説のようにコンクリートのひび割れを可視化及び記録するだけには、歪み量と回折ピークのシフト量の関係を正確に測定する必要はない。製造コストの低コスト化が期待される多層膜シートの構造色の利用で十分だと考えている。

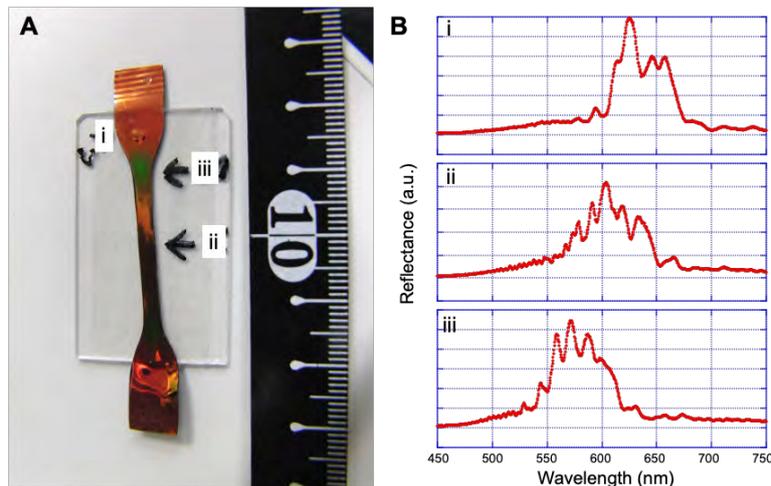


図 4 ひび割れ可視化シートの塑性変形による構造色変化と反射スペクトル

構造色層に使用する超多層フィルム(MLF)²⁰⁾は、シートの膜厚に応じて構造色が選択できる。ひび割れ可視化シートにラミネート加工しさらにアルミ試験片に貼付、1 軸伸長による塑性変形による構造色変化を図 5 に示す。安定した構造色の撮影方法として、ハーフミラーを利用する同軸落射照明による撮影を行った。可視光(VIS)領域における構造色変化として図 5A は赤色から緑色への変化で、図 5B は橙色から青色への変化、そして図 5C は緑色から青色への変化である。一方、図 5D は青色から無色(基板の黒色、ルミラーX30 黒色 PET シート)の変化で、可視光(VIS)領域から紫外(UV)領域の変化である。また、図 5E および図 5F は黒色から赤色と、黒色から黄色への近赤外(NIR)から可視光(VIS)領域への変化である。写真中の数値はシートの初期状態の膜厚を示す。ひび割れ

可視化シートでは人の視認性の優れた波長領域である赤色→緑色を利用するため、初期値の構造色が赤色の MLF19 を構造色層に採用した。

図 6 は図 5 の構造色変化を反射スペクトルで測定し、変形部分と未変形部分を比較したものである。図 6A～図 6C は可視光領域内の構造色の変化として、図 6D は可視光から紫外線領域の色が消失する変化、図 6E 及び図 6F は近赤外の無色からそれぞれ黄色、赤色への着色変化を反射ピークの波長位置のシフトとして示している。反射スペクトルが図 2A のオパール結晶を用いた歪み可視化シートと大きく異なっていることが明瞭であろう。ひび割れ可視化シートでは歪み量分布を可視化する 2 次元歪みゲージとしての応用は困難である。

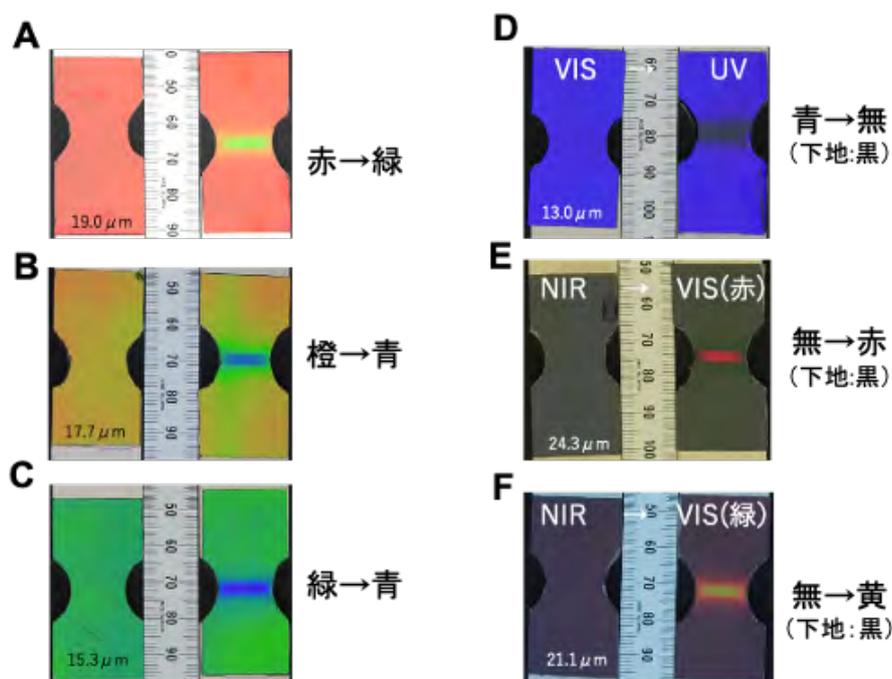


図 5 塑性変形による構造色変化、A～C は可視光 (VIS) 領域内、D は可視光領域から紫外 (UV) 領域、E 及び F は近赤外領域 (NIR) から可視光 (VIS) 領域

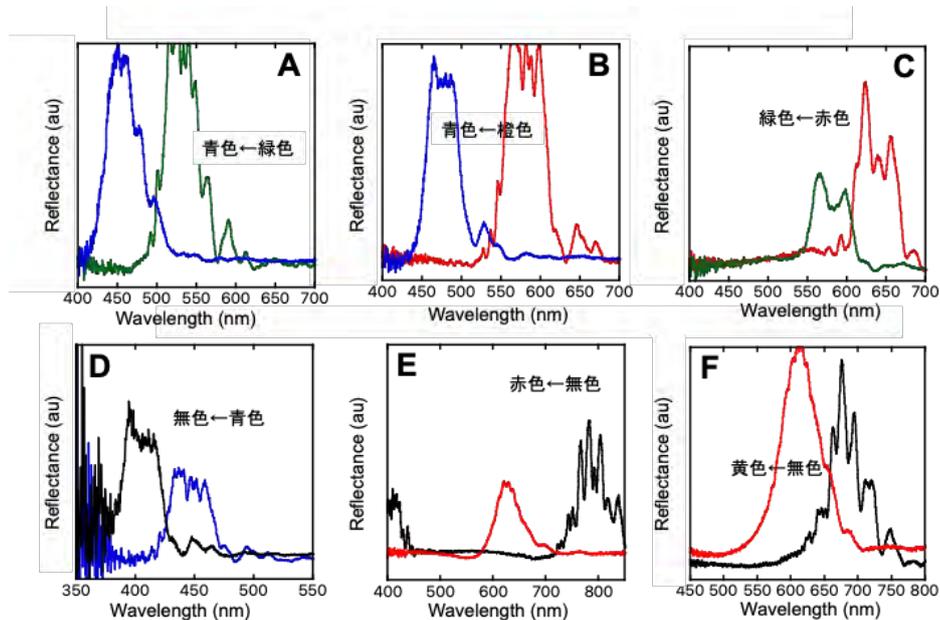


図6 塑性変形による反射スペクトル変化、A～Cは可視光(VIS)領域内、Dは可視光領域から紫外(UV)領域、E及びFは近赤外領域(NIR)から可視光(VIS)領域

6 モルタル試験片によるひび割れ記録

ひび割れ可視化シートの検証にモルタル試験片(TP 技研製, 120 mm×40 mm×10 mm, U字溝)を使用した。この試験片はU字溝が予め設けられており、モルタルの中央部でひび割れが生じるように制作されている。U字溝の反対面に可視化用のシートを低粘度エポキシ接着剤(ショーボンドマテリアル, VEプライマー)で貼り付けた。構造色シート及び、ひび割れ可視化シートのひび割れ試験におけるシートの機械強度について、図7に引張試験の結果を比較した。図7A及び図7Bに示すようMLF19は膜厚が19 μ mと薄いフィルムのためモルタル試験片の破断に際し、塑性変形することなくフィルムが破断するため構造色変化を記録することが出来なかった。一方、構造色層を黒PETシート(膜厚50 μ m)に上記エポキシ系接着剤でラミネートしたシート(図7C)では、構造色層が破断することなく塑性変形で構造色が赤色から緑色に変色して、ひび割れを記録できた。図3に示したひび割れ可視化シートはこのような予備実験の結果を踏まえて設計された。

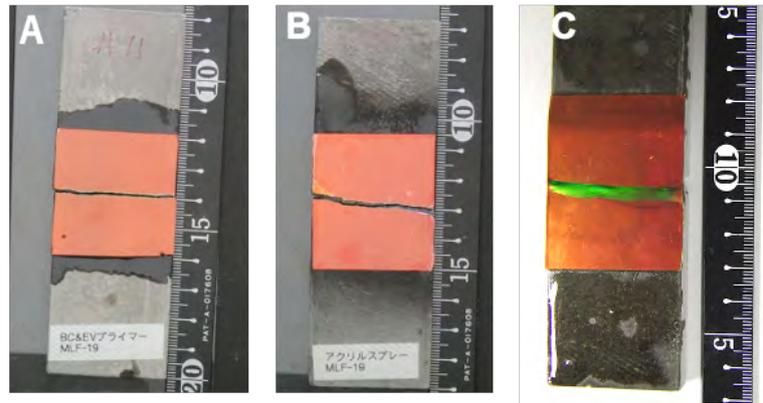


図7 モルタル試験片のひび割れ試験(1軸引張)におけるシートに与える影響
A) & B)は MLF19 フィルムを直接貼り付け、C)黒 PET シートで機械強度補強

図8 はひび割れ可視化シートを用いたモルタルの破断実験の様子を示す。引張試験機(島津製作所, AG-100kNNX)でモルタルにひび割れが形成する様子を動画で撮影した。図8A は初期状態、図8B はひび割れで構造色が赤色から緑色へ変色している状態。図8C は反対側からひび割れの様子を観察したところである。この結果より、ひび割れは1mmにも到達していないが、構造色層の変色幅はその10倍以上に拡大していることが分かった。図8D は構造色層の変色幅が広がっていく経時変化を、動画より抜き出したものである。現時点でその仕組みは解明できてないものの、ひび割れを拡大して視認できることは微細なひび割れを拡大していることを意味しており、図1の想定されるニーズ例にも記載したように遠方から検査する上で有利な現象と考えている。

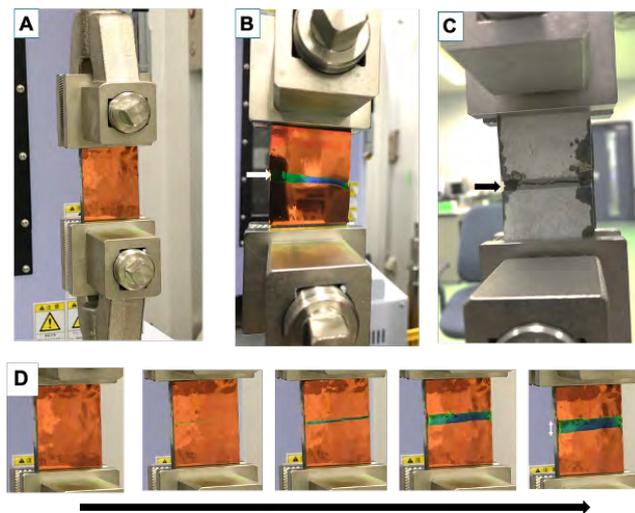


図8 ひび割れ可視化シートの引張試験におけるひび割れ観察の様子
A)負荷前、B)ひび割れ(構造色変化)、C)反対側、D)構造色の経時変化

7 実曝露試験による耐候性評価

社会インフラの現場実装において、太陽光や風雨の影響でシートの機能性劣化を防ぐことが重要である。そこで所属する研究機関(つくば市千現)が所有する屋外の曝露試験設備で耐候性評価を行った。実験施設屋上に設置された南向きに試験片を設置できる設備でモルタル試験片に接着したひび割れ可視化シート及び、その保護コート層の影響について調べた。図 9 にその結果を示す。図 9A は保護層(ショーボンドマテリアル, PVM クリアトップ)の有効性について、約 1 年半の経過後を比較している。保護層がない左側のシートは、鱗片状に剥離して基板の黒 PET シートが曝露している。一方、保護層のある試験片では剥離もなく、ひび割れ可視化シートの構造色が維持されていることが分かった。しかし、曝露期間が 3 年程度経過すると、この保護層の効果も消失し、鱗片状に剥離して機能が消失した。ひび割れ可視化シートの保護層として、市販のいくつかの保護材を試みた。その中で良好な結果を示す保護層(新中村化学工業, ニューコート UVA-101)を図 9B に示す。この保護層では曝露 5 年後においても、MLF19 の赤色の構造色が維持されていた。試験開始時と、試験後の反射スペクトルを図 9C と図 9D のグラフに示す。両者を比較した結果、ほとんど変化していないことがわかった。この保護層によって MLF19 の構造色に変色や劣化することなく、5 年間の耐候性を維持できることが実証された。

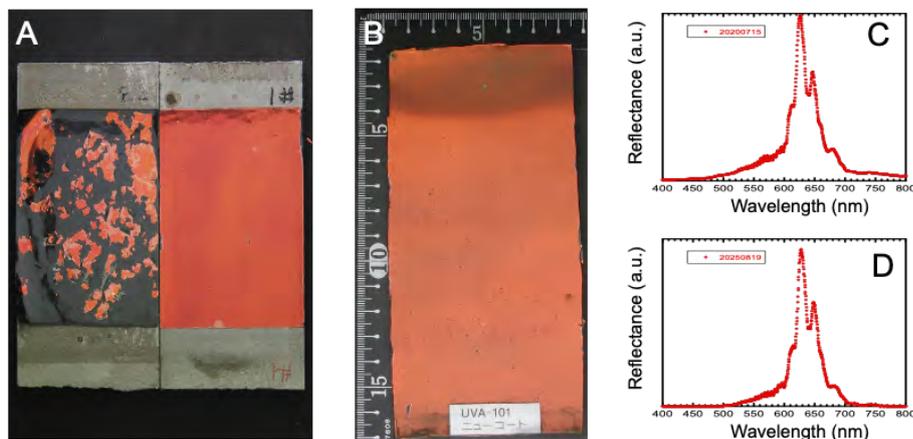


図 9 実曝露試験での保護層の効果、南向き実験棟屋上(つくば市千現地区)
A)MLF19 シート、535 日曝露後、右側:保護層あり、左側:保護層なし、B)5 年経過(保護層あり、UVA-101)、C)試験片 B の曝露開始時及び D)5 年曝露後の反射スペクトル

次に、曝露 5 年後のシートの構造色が変形によって変化(赤色から緑色)し、ひび割れ可視化シートが記録機能を維持できているか調べた(図 10)。5 年経過した図 9B のひび

割れ可視化シートをモルタル試験片から剥離し切り出し、長方形のシートを引張試験装置で塑性変形させた。実験上での制約でダンベル状の試験片でないが、図 10A に示すように塑性変形した領域が赤色から緑色へと構造色に変化していることが分かる。さらに、変色部分と未変色部分の反射スペクトルを図 10B に示す。赤色及び緑色に対応したピーク群あるいはピークが測定された。この結果から 5 年曝露の内陸性気候(つくば市千現)の曝露環境において、ひび割れ可視化シートは塑性変形による構造色変化機能を維持していた。この結果より現場実装において必要な耐候性機能を、保護層形成で確保できると結論づけられた。

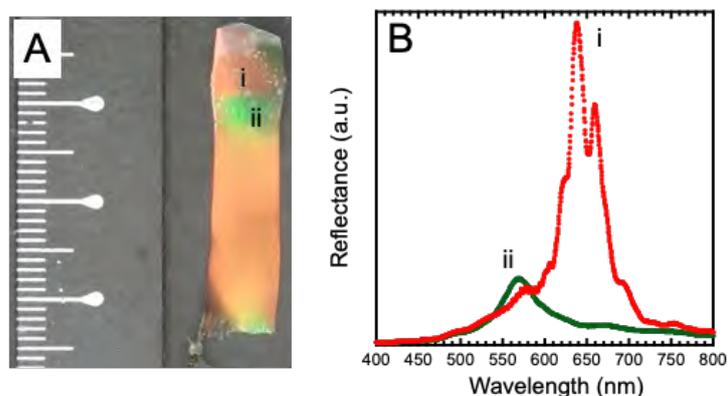


図 10 5 年曝露後の試験片(図 9B)から切り出し 1 軸伸長による引張変形、A)構造色変化、B)変形部と未変形部の構造色の異なる領域の反射スペクトルを比較。

8 おわりに

これまで多層膜シートを含む構造色は加飾や色材としての応用が中心であった。我々は構造色の長を生かし、社会インフラの検査に応用するひび割れ可視化シートについて検討した。適切なシートの構造設計で微細なひび割れを、特殊な装置を使わず視認できるため簡便な検査技術としての可能性が期待される。5 年間の曝露試験にて耐候性も確認できており、土木分野での本格的な応用を期待している。また、製造に関しても現行で図 11 に示すよう研究室レベルの小規模な製造技術は確立済みで、ロール状の及び施工用接着剤をユーザーである研究者に提供できる。今後、本格的なコンバーテック技術の導入による量産化効果で、製造コストを大幅に引き下げることも期待できる。ひび割れ可視化シートは構造色変化を利用した目視可能な社会インフラの検査技術として実用化を目指している。

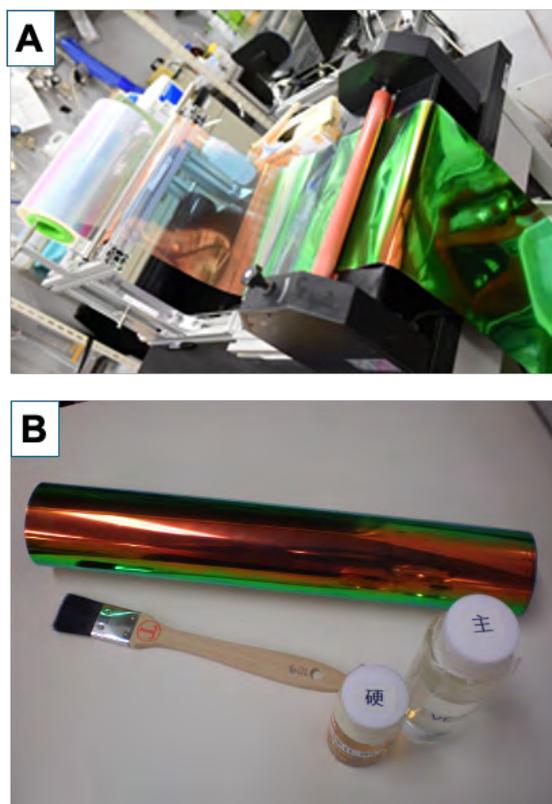


図 11 ひび割れ可視化シート、(A)MLF19 の構造色層とルミラーX30 黒 PET シートをラミネート加工装置、(B)ひび割れ可視化シート(ロール状)と施工用接着施工セット

謝辞

膜厚の異なる多層膜 MLF シートサンプル(図 5)は帝人(東洋紡)フィルムソリューション株式会社久保耕司氏よりご提供頂いた。曝露試験及び構造色の撮影は研究業務員の照井香織氏によって実施された。

文献

- 1) 国土交通省, https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html (2025. 9. 8)
- 2) 国立研究開発法人海上技術安全研究所,
https://www.nmri.go.jp/service/repository_data/PNM2A020029-00.pdf (2025. 9. 8)
- 3) 徐 超男, *応用物理*, **80**, 46-50(2011)
- 4) 一般社団法人日本構造物診断技術協会,
<https://www.nsi-ta.jp/assets/pdf/info/report/newtech12/newtech1201.pdf> (2025. 9. 8)

- 5) H. Fudouzi, T. Sawada, Y. Tanaka, I. Ario, T. Hyakutake, I. Nishizaki, Y. Tanaka, *Proc. SPIE*, **8345**, 83451S1 (2012)
- 6) 不動寺浩, “歪みを可視化するオパール結晶薄膜と社会インフラの検査技術への応用” 科学研究費助成事業研究成果報告書, 課題番号 26289139 (2017); 国立情報学研究所, <https://kaken.nii.ac.jp/ja/file/KAKENHI-PROJECT-26289139/26289139seika.pdf> (2025. 9. 8)
- 7) D. Zonta, A. Chiappini, A. Chiasera, M. Ferrari, M. Pozzi, L. Battisti, M. Benedetti, *Proc. SPIE*, **7292**, (2009).
- 8) A. Chiappini, A. Piotrowska, M. Marciniak, M. Ferrari, D. Zonta, *Proc. SPIE*, **9435**, 94350J (2015)
- 9) 大屋貴生, 三村典正, 百武壮, 土谷 浩一, 不動寺 浩, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 641-646 (2017)
- 10) H. Fudouzi, K. Tsuchiya, S. Todoroki, T. Hyakutake, H. Nitta, I. Nishizaki, Y. Tanaka, T. Ohya, *Proc. SPIE*, **10168**, 1016820 (2017)
- 11) H. Fudouzi, K. Tsuchiya, S. Todoroki, T. Hyakutake, H. Nitta, Y. Tanaka, T. Ohya, M. Arifuku, *Proc. SPIE*, **10970**, 1097016 (2019)
- 12) S. Todoroki, H. Fudouzi, K. Tsuchiya, *Proc. SPIE*, **10971**, 109710V1 (2019)
- 13) Y. Tanaka, H. Fudouzi, T. Hyakutake, *ISIJ Int.*, **62**, 257-262 (2022)
- 14) Y. Zhou, Z. Yang, M. Koyama, S. Ajito, T. Hojo, H. Fudouzi and E. Akiyama, *ISIJ Int.*, **62**, 2061-2068 (2022)
- 15) Z. P. Yang, M. Koyama, H. Fudouzi, T. Hojo and E. Akiyama, *ISIJ Int.*, **60**, 2604-2608 (2020)
- 16) 豊福晋ノ介, 山口浩平, 松田浩, 海部貴裕, 杉江匡紀, 梅本秀二, 長崎大学大学院工学研究科研究報告, **49**, 160-166 (2019)
- 17) 国立研究開発法人土木研究所, <https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-program/2019/pdf/pro-6-5-2.pdf> (2025.9.8)
- 18) E. Simova, K. Stoev, H. Fudouzi, *e-Journal of Nondestructive Testing*, **2025-07** (2025). doi:10.58286/31515
- 19) E. L. Thomas, *Adv. Mater.*, **26**, 532-569 (2013).
- 20) 祖父江和樹, 杉岡幹生, 島津評論, **73**, 77-82 (2016)