

平成 25 年度工学系共通経費による顕彰と研究助成 成果報告書

所 属	機械物理工学専攻
研究者 (ふりがな)	高橋 航圭 (たかはし こうすけ)
タイトル	加熱修復する樹脂のき裂閉口に伴う応力分布変化の定量化と 複合材料適用における修復性能への影響評価
助 成 名	東工大工学系若手奨励賞
採択金額	150 万円

研究の背景

近年、CFRP(炭素繊維強化プラスチック)構造物の信頼性向上を目的として、加熱によりき裂を修復する樹脂の母材への適用が期待されている。これらの修復性能に関しては、き裂の顕微鏡観察による視覚的な評価や、修復前後における応力-ひずみ関係からの評価が一般的である。しかし、構造部材への適用にあたっては、き裂の発生に伴う塑性変形や、き裂修復による残留応力を定量的に評価することが必要不可欠である。本研究では、き裂の発生と閉口に伴う応力分布の変化を可視化することで、修復性能を評価する手法の確立を目的とする。

結果と考察

まず、引張荷荷に伴う樹脂の応力分布を可視化するため、光弾性実験装置を製作した。図 1 のように、試験片の一端をロードセルを介してチャックで固定し、他端をアクチュエータに接続したチャックで挟んで荷荷を加えた状態で、顕微鏡観察することができる。試験片の下部に設置した光源から光を透過させ、二枚の偏光板を通してエポキシ樹脂を観察すると図 2 のような結果が得られた。図 2 は、エポキシ試験片に切欠きを入れて周辺部の光弾性を観察した結果であり、左上から (a) 無荷荷 (b) 60N (c) 140N を荷荷した状態である。荷荷に伴って切欠き先端から干渉縞が現れ、荷荷が増大すると切欠きから離れた領域にも広がっていく様子を観察することができた。160N に到達した時点で切欠き先端部からき裂が進展し、60N まで荷荷が低下したときは (d) のような応力分布となった。(b) と (d) の比較から、同じ引張荷荷であってもき裂の進展によって応力集中が異なる様子を観察することができた。応力分布を示すこれらの干渉縞は、切欠きの無い試験片での光弾性実験で得られる色の変化と公称応力の関係から定量的な評価が可能であり、製作した光弾性実験装置によって定切欠き先端部の応力集中と、き裂進展に伴う応力分布の変化が量的に評価できることが示された。

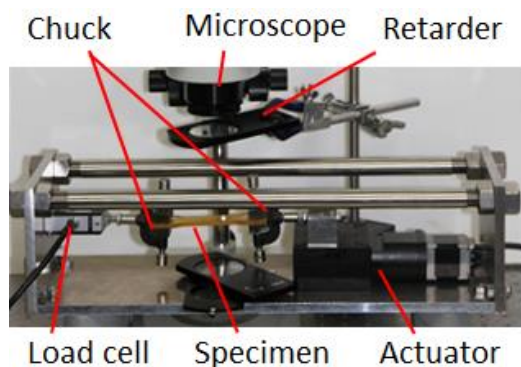


図 1 光弾性実験装置

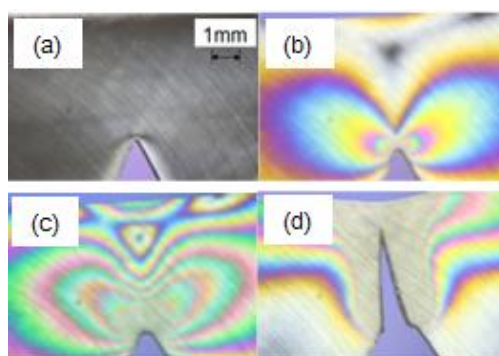


図 2 光弾性実験装置

続いて、加熱修復樹脂材料の合成を目的として、エポキシ樹脂をベースとして DA（ディールズ・アルダー）反応を起こす官能基を有する図3のような樹脂を合成した。液体状の樹脂を型に流して硬化したものに切欠きを入れ、引張試験機により破断させたものを図4左上に示す。これを破面が重なるようにしてクランプで左右から挟んで固定し、電気炉にて 150℃まで加熱した。3 時間後に取り出したところ、図4右上のように破面が再結合したものを得ることができた。再結合した破面付近を顕微鏡で観察すると、図4下のように元々の破面を表面から確認することができ、き裂発生前とは異なる結合状態であることが示唆された。図4からもわかるように合成された樹脂が光透過性を有しないことから光弾性の適用は困難であったが、樹脂合成方法の変更もしくは異なる種類の加熱修復樹脂によって透明度の高いものを用いれば、応力分布の可視化による修復性能評価方法を確立できると考えられる。

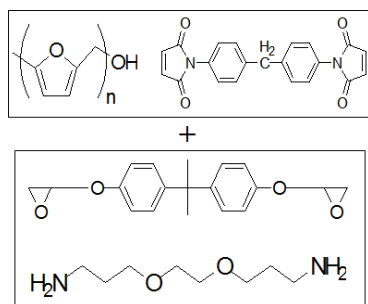


図3 加熱修復樹脂の合成

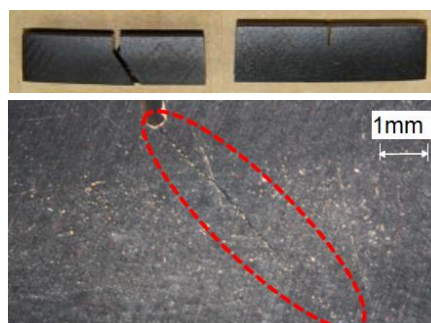


図4 加熱による破面の再結合

結論と今後の課題

CFRP の母材として一般的なエポキシ樹脂を用い、切欠き先端部での応力集中とき裂進展に伴う応力分布の変化を光弾性により観察することができた。また、加熱修復する樹脂を合成し、完全に破断した破面でも加熱することで再結合することを確認した。今後は、まず透明度の高い加熱修復樹脂を合成し、破面の再結合に伴う残留応力や引張負荷に伴う修復き裂近傍の応力分布を光弾性により観察できるようにする。可視化により得られた応力分布の変化を修復前後の応力ひずみ曲線と関連付け、修復性能を示すき裂閉口条件の定式化を目指す。

使用内訳書

費目	内訳	金額
備品1	簡易卓上フード（脱臭式）MF90S	789,600
備品2	XY軸アルミクロスローラステージ	241,500
消耗品		331,360
旅費	日本機会学会 M&M, 日本化学会, Workshop on AME	137,540
その他		
合計		1500,000

記入上の注意：

備品は、品名ごとに記入。

差額が生じた場合は、消耗品で調整。

消耗品を購入しなかった場合は、経費の差額と補填した予算科目名を合計額の内訳欄に記入。