

ELバックライトを用いたガラス/エポキシ複合材料の疲労損傷モニタリング

Fatigue Damage Monitoring of Glas/epoxy Composites using EL Backlight

轟 章（東工大工） 島村佳伸（東工大工）
吉田将士（東工大院）

Akira TODOROKI, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 O-okayam, Meguro-ku, Tokyo
Yoshinobu SHIMAMURA, Tokyo Institute of Technology
Shouji Yoshida, Graduate Students

1. 緒 言

ガラス/エポキシやアルミナ/エポキシなどの光を透過する複合材料（以下、光透過複合材料）では、透過光がマトリックスクラックなどの損傷部分で乱反射し白濁するので、透過光によって目視で容易に損傷検知が可能である。しかしながら、光透過型複合材料が MAGLEV の超電導コイル保持容器などの密封容器内にある場合、損傷を目視検知するとき容器取り外しなどの手間がかかり検査に多大なコストがかかる。また、風力発電用のファンは巨大構造であり、全高さは数十メートルに達するため、発電を停止して検査する場合でも多大なコストがかかってしまう。これらのため、負荷なしで損傷検出が可能な簡便なシステムの開発が要求されている。本研究では、液晶ディスプレイのバックライトに使用されている柔軟 EL 素子を構造のバックライトとして使用して透過光強度変化で損傷を検出するシステムを提案し、その有効性を実験的に検討した。

2. EL バックライト使用損傷検出システム

EL とは Electro-Luminescence の略であり、蛍光性化合物に電場を加えると発光する現象である。EL 素子は数百 μm 程度の薄く柔軟な発光素子であり、均一な面発光、低発熱、低消費電力などの特徴がある。本研究に使用した EL 素子は無機分散型（ZnS 粉末）EL 素子である。

損傷検知システムを図 1 に示す。本システムでは発光源として、EL 素子を光透過型複合材料の損傷検知部分の片面に貼り付ける。そして反対側に光ファイバーを接着する。光ファイバーによって EL 素子透過光を集光し、集光した光の強度を光センサで測定する。ただし、本研究での実証実験では簡単のため光ファイバーを介して透過光強度を測定せず、試験片に直接光センサを固定している。

EL 素子は長時間の発光によって発光強度が低下し、また光透過型複合材料の光透過率も経年劣化する。そのため EL 素子の発光強度を一個の光センサだけを用いて損傷検知部分の透過光強度の変化を測定すると、これらの影響による透過光強度の変化と、損傷に起因する透過光強度の変化を区別できない。そこで、無損傷部の参照光を用いた 2 点の透過光強度の差異を測定することにより損傷検知するシステムを考案した。すなわち光センサ

A は損傷検知部分、光センサ B は損傷検知部分から離れた無損傷部分の透過光強度を測定し、両者の出力差を測定することによって損傷を検知する。光センサ A, B の出力差を損傷検知に用いることによって EL 素子や複合材料の経年劣化に起因する透過光強度低下は区別することが可能となる。なお、EL は透明電極 ITO の薄膜を作成すれば、ガラス/エポキシ構造内部に埋め込むことが可能であり、新規構造には埋め込み式の発光複合材料も容易に作成可能である。

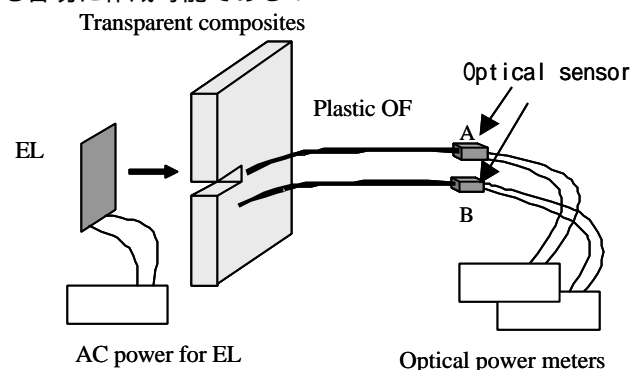


Fig.1 Schema of damage monitoring system using EL backlight

3. 試験片および試験方法

使用した光透過型複合材料は厚さ 1.5mm の 10 層平織ガラス/エポキシである。この平板から長さ 250mm、幅 20mm のタブ付き平滑試験片を用いた。力学的特性の測定には試験片表面に二軸ひずみゲージを貼り、引張試験を実施した。同形状の平滑試験片を用いて弾性変形の範囲内で引張 - 圧縮試験を実施し、透過光強度と負荷の関係を実測した。有孔試験片は同形状の平滑試験片の中央に直径 10mm の円孔をあけて作製した。有孔試験片を用いて破断までの引張試験と、疲労試験を実施した。

平滑試験片を用いた弾性変形範囲内の透過光強度変化の実測には、試験片表面に 2 個の光センサを取り付けた。この実験では同一厚さの無負荷板材の片面に EL 素子を貼り付け、逆面に光センサを取り付けて、その光センサ出力を基準として平滑試験片の透過光強度出力変化を反転差動増幅させた。

有孔試験片では、円孔縁表面に EL 素子を貼り付け、逆側表面の円孔両縁に光センサを貼り付けた。円孔から十

分離した位置に参照光用の光センサを取り付けた．有孔試験片の透過光強度は，円孔縁と参照光用の光センサの透過光強度出力を反転差動増幅させた．ひずみ測定に用いたひずみゲージは光センサから 4mm 離れた位置に接着した．

透過光強度出力差 V_{out} は，損傷検知部分の光センサ出力電圧 V_A と損傷検知部分から離れた位置の光センサ出力電圧 V_B を 500 倍に差動反転増幅した値である．

引張試験は電気油圧式引張試験機を用いて変位制御負荷速度 0.5mm/min にて実施した．疲労試験は電気油圧式サーボ試験機を用いて荷重制御にて荷重振幅一定完全片振り（応力比 $R=0.1$ ）の繰返し荷重試験を実施した．

4. 試験結果および考察

弾性変形範囲内で引張-圧縮試験を実施し， V_{out} を測定した結果を図 2 に示す．図から，弾性変形範囲内でも引張と圧縮で正負が逆になる弾性変形に起因する V_{out} の変化が認められる．これは，板厚変化と織物の織り目の変形の原因が考えられる．原因についての詳細は今後の課題である．

静的引張試験時の負荷応力-ひずみ関係と V_{out} の変化を図 3 に示す．図から明らかに，弾性変形範囲内で一旦 V_{out} は減少（輝度増加）し，その後関係の非線形変形開始と同時に V_{out} は増加（輝度減少）に転じている．また，実際に目視でも損傷が確認された．このことから本システムで損傷検出が可能であることがわかる．しかし，弾性変形に起因して透過光強度が変化するため， V_{out} の測定点と参照光の点の応力レベルの差異が実用上の問題となる．つまり，損傷発生によって応力が再配分すると，その影響で V_{out} が変化してしまうため，負荷時に V_{out} の絶対値から損傷の程度を判定することは複雑な解析を必要として実用的でない．

繰返し負荷時の V_{out} の変化を図 4 に示す．図から，完全除荷時にも V_{out} が変化しており，繰返し数の増大とともに V_{out} が増加していることがわかる．図 5 に除荷時の V_{out} の変化を示す．破断直前に V_{out} が急増していることがわかる．また，目視によっても明らかに損傷が確認された．このことから，本システムは疲労損傷を除荷時（運行停止時）に効率よく測定可能なシステムであることがわかる．

5. 結言

ガラス / エポキシ複合材料の有孔積層材を用いて繰返し荷重負荷試験を実施し，EL バックライトの透過光強度による無負荷時の疲労損傷検出システムの有効性を確認した．その結果，本システムが無負荷時に疲労損傷を検出可能であることが実験的に明らかになった．

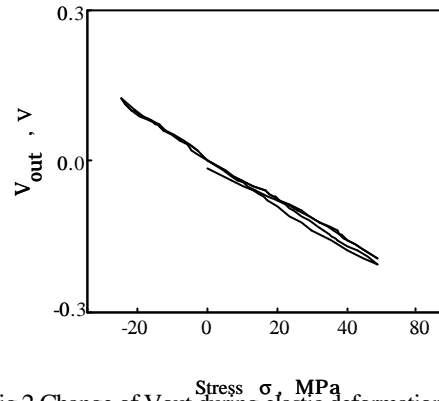


Fig.2 Change of V_{out} during elastic deformation

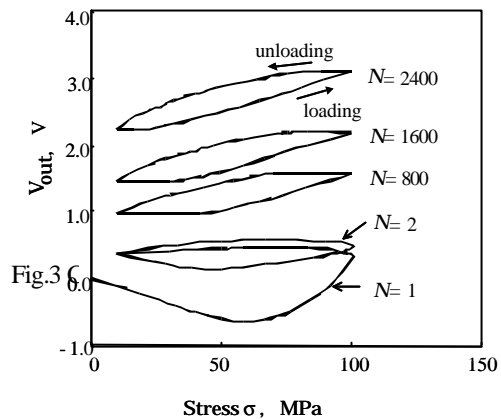


Fig.3 Change of V_{out} during cyclic test

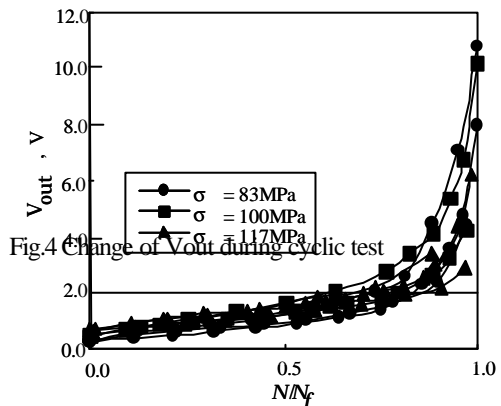


Fig.4 Change of V_{out} during cyclic test

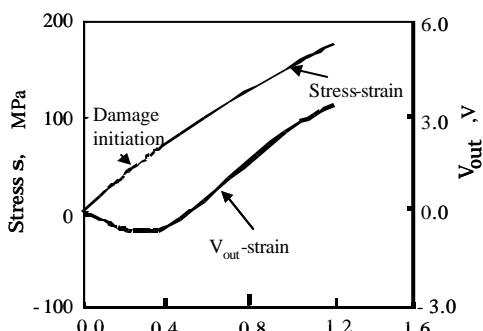


Fig.5 Change of V_{out} at the unloaded points with the increase of number of cycle