

応力発光塗料を用いたラティス構造物への適用

前 田 一 輝*¹

杉 浦 弘 忠*²

藤 田 寿 広*³

【要 旨】

近年注目されているラティス構造に応力発光塗料を塗布し、種々の荷重条件をかけた時の発光状態からひずみの分布を確認した。また発光時の輝度値からカラー表示をさせることにより、ひずみの分布を明瞭にし、有限要素法（FEM）及び評価の妥当性の確認を行った。

1 はじめに

近年、自動車やロボットなどの様々な分野で軽量化に対する要望が高まっており、ものづくり企業では材料や部品の見直しが行われている。そのような中、形状に関する技術では、構造最適化やラティス構造、ジェネレーティブデザインといった技術が注目されており、またこれまで加工のできない形状も3DプリンタといったAM技術の普及により、自由度の高い設計ができるようになってきている。ラティス（格子）構造は枝状に分かれた部材が周期的に配置された形状で、様々なパターンがあり主に強度が中・低程度の場所に使用される。しかしその形状の複雑さからFEMで評価するためには、相当な計算コストが必要となり、また実際の形状を製作してもひずみゲージなどによる評価が難しい。

応力発光塗料は国立研究開発法人産業技術総合研究所で開発された応力発光体を2液性樹脂などの塗料にして扱いやすくされたものが市販されている。そこで本研究ではラティス構造をもつモデルを作成し、応力発光塗料を用いて発光状況か

らひずみの傾向を把握することを検証した。

2 実験方法

2. 1 試験体の作製

2. 1. 1 モデル

本研究で使用したラティスモデルは ANSYS 2019R1 のモデラーの space claim[®]で作成した。ラティス構造は塗装のムラや応力集中が起こしにくい“3次格子インフィルパターン”を採用し、3Dモデルは荷重方向に並行な格子（0度）と荷重方向に45度傾けた格子（45度）（図1）を製作した。0度方向は荷重に対して感度が高く45度は全体で力を受ける形状をしている。

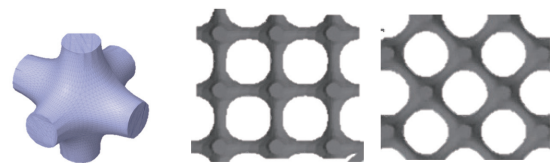


図1 ラティスモデル（左：構造 右：モデル）

また作成したデータは当センター保有のインクジェット方式3Dプリンタ（AGILISTA-3200：キーエンス製）を用いてPMMA系の材料で造形した。

2. 1. 2 塗装

応力発光塗料は（堺化学工業製）ウレタン系2

* 1 中丹技術支援室 主任研究員

* 2 中丹技術支援室 会計年度職員

* 3 企画連携課 技師

液性樹脂を使用。本実験では造形した試験体が3次元的に入り組んだ構造であるため、スプレーや刷毛を使用すると塗装ムラが発生しやすいため、浸漬塗装とした。微弱な発光であるため、下地には白色塗料で着色し乾燥させ¹⁾、2液を混合させた後に専用シンナーで薄め、試験体を浸けて全体に発光塗料を塗布した。これを乾燥させて、1週間以上静置した後に試験を行った。

2. 1. 3 評価

応力による発光状況を確認するため、撮影した動画をグレースケールにし、その輝度値(256階調)を10階調に等分割し、色による表示(以下、カラー表示)を行い、輝度値が大きくなるほど赤くし小さくなるほど青くなるように行った。これにより強く発光する箇所がわかりやすいようカラー表示とした。

2. 2 試験方法

2. 2. 1 圧縮試験

ラティス構造の圧縮状態を確認するため圧縮用モデル(図2)を作成し、万能材料試験機(島津製作所製 AG-5kNIS)を用いて圧縮試験(圧縮速度5mm/min)を行った。

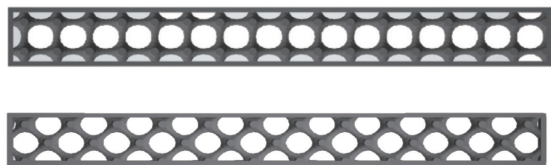


図2 ラティスモデル (上:0度 右:45度)

2. 2. 2 引張試験

次にラティス構造の引張及びねじり状態を確認するため引張モデル(図3)を作成し、万能材料試験機を用いて引張試験(引張速度10mm/min)を行った。

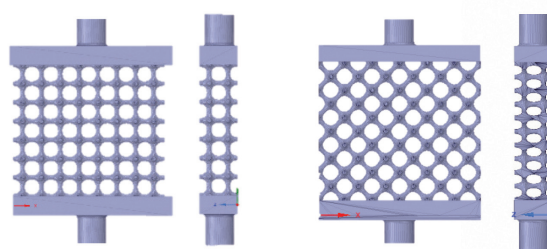


図3 引張モデル (左:0度 右:45度)

2. 2. 3 衝撃試験

衝撃試験は部材に瞬時的な荷重が加わるため応力の状態が把握しにくい。今回の実験では、衝撃モデル(図4)を作成し、中心に100gの錘を取り付け(図6)、振動試験機(エミック製 F-16000BDH/LA16AW)を使用して衝撃試験(試験条件:100G 6msec、図5)を行った。また発光状況の観察にはハイスピードカメラ(NAC製 MEMORYCAMF K4)で1/1000fpsで撮影した。



図4 衝撃モデル (左:0度 右:45度)

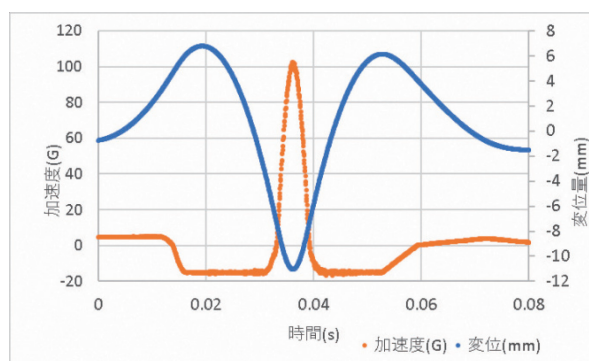


図5 衝撃条件 (100G 6msec)

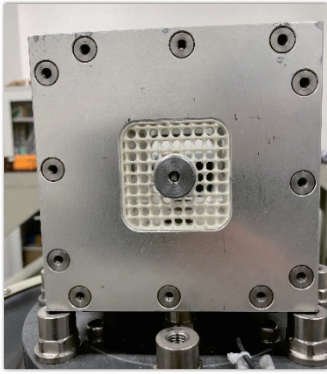


図6 試験治具及び被試験体

2. 2. 4 一部圧縮試験

図7のようにラティス構造の一ヶ所に精密バイスを使用し、圧縮試験を行った。また、その時の発光状況を確認し、FEMによる結果と比較した。

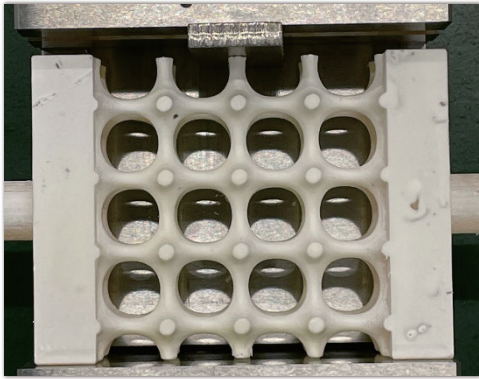


図7 試験治具及び被試験体

3 結果及び考察

3. 1 圧縮試験

圧縮試験の発光状況を図8に示す。0度方向の試験体は縦の軸部において、強く発光しており、45度試験体は斜めの軸部が垂直方向に強く発光していた。次にカラー表示を図9に示す。強く発光する箇所を赤色で示すと、どの部位にひずみが発生しているかは非常にわかりやすくなる。

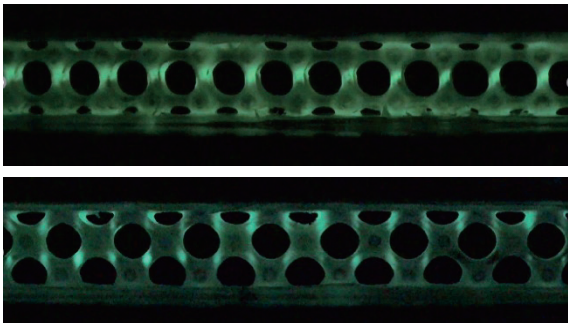


図8 発光状況 (上: 0度 右: 45度)

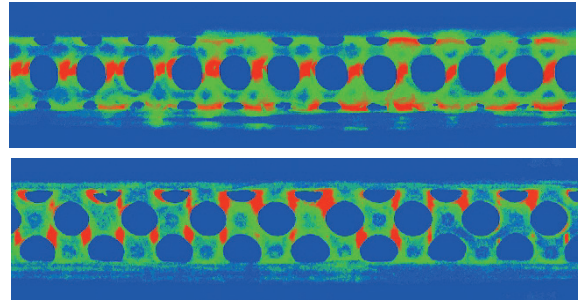


図9 カラー表示 (上: 0度 下: 45度)

3. 2 引張試験

引張試験の発光状況及びカラー表示を図10及び図11に示す。

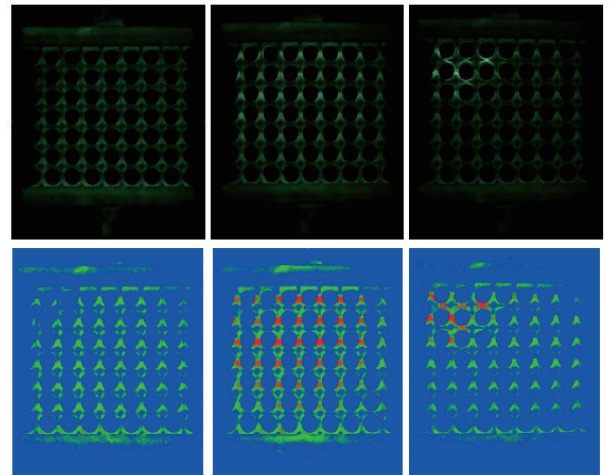


図10 0度引張試験 (上: 発光状況 下: カラー表示)

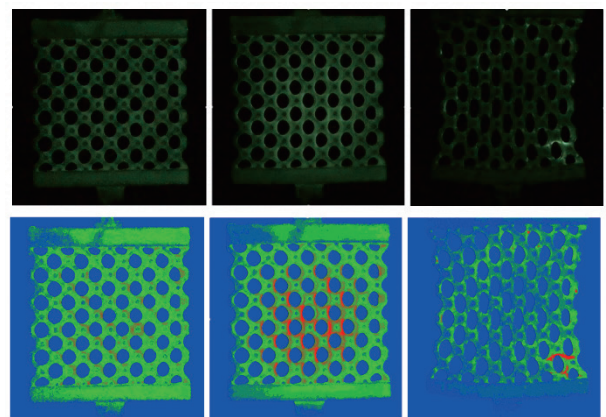


図11 45度引張試験 (上: 発光状況 下: カラー表示)

図10は0度のモデルを左から引張試験の開始時、荷重を加えた状態、破断時の代表的な時間のものを抜き出したものである。開始時には燐光状

態であり、荷重を加えた時に縦軸の部材が全体に発光していることがわかる。また破断時の発光状態は最初の破断の起点を中心に発光し、横歩行の部材が発光しているのは一箇所の破断により受け持っていた力が開放され弾性による復元によるものと考えられる。またその同じ高さにある。

図11は45度のモデルを0度と同様に抜き出したものである。45度のモデルは形状的に力が直接、軸部材にかかりにくいいため、圧縮試験と同様に接合部の側面付近が強く発光していることがわかる。破断時も一箇所の破断による影響が少なく、段階的に切断した。

3.3 衝撃試験

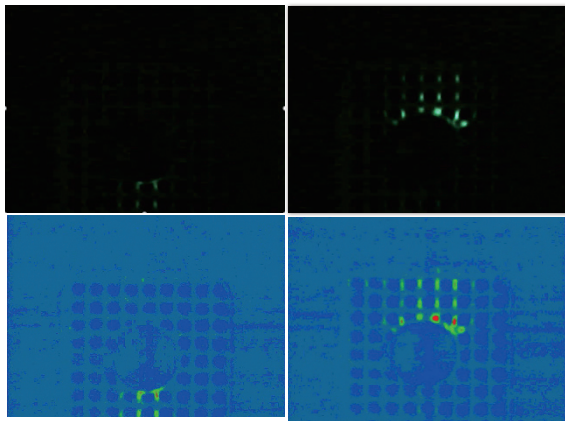


図12 発光状況及びカラーマップ (0度)

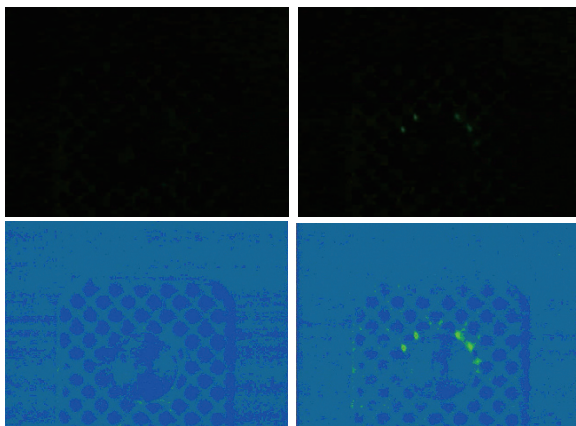


図13 発光状況及びカラーマップ (45度)

図12, 13は各々0, 45度モデルの衝撃試験時の変位方向 (図5: マイナス方向からプラス方向) が替わる時の発光状況を抜き出したものである。

発光状況から錘の慣性力により下部部材に圧縮方向の荷重が加わり、方向が切り替わった直後に上部部材に引張荷重が加わったものと考えられる。図12の0度方向モデルでは、部材に直接的にかかるため、強めの発光となったが、図13の45度方向モデルでは衝撃を吸収する形状のため、発光は弱かった。衝撃試験では、瞬時的な時間での試験のため、どのような場所に力が発生しているかがわかりにくいいため、荷重の加わる範囲を特定するためには応力発光塗料は有効な手段と考える。

3.4 一部圧縮試験

ラティス構造の一枚所から荷重を加えた時の発光状況及びカラー表示を図14に示す。

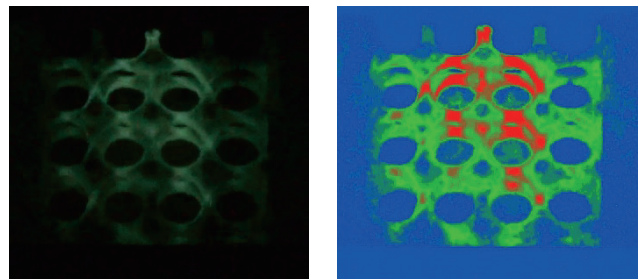


図14 発光状況及びカラーマップ

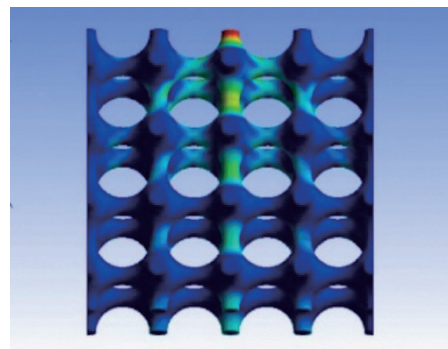


図15 FEMによる弾性相当ひずみカラーマップ

発光状況から荷重を加えた縦の軸部材及び両隣の軸に伝わるようにして横軸と接合部側面が発光しているのがわかる。圧縮試験による発光であるが、各部材では圧縮方向と引張方向に力が生じているが、応力発光塗料は、圧縮、引張によるひずみの両方ともに発光するため、相当ひずみの評価となり、図 15 の FEM による相当ひずみと比較すると傾向が一致していた。発光量から具体的なひずみ量を数値として把握することは難しいが、傾向を確認するなど FEM の妥当性を評価するためには、応力発光塗料は有効と考える。

4 まとめ

ラティス構造を持つ部材に応力発光塗料を塗布し、荷重条件を変えて発光状況を観察し、発生したひずみの傾向を確認することができた。

今回は簡単な形状、荷重による試験であった

ため発光箇所を予想が出来るが、複雑な形状や想定外の荷重の加わり方をした場合にはどういった分布で応力が発生しているかを把握するだけでも価値があり、非常に有益な情報となる。また発光が大きい箇所に懸念があるようであれば、その部位に密の構造を取り入れ、強度を確保する対策を講じることもできる。

なお、本実験では応力発光塗料の他、汎用のビデオカメラのみを使用し、特別な装置は使用していない。通常強度試験時に当該塗料を塗布することで、これまでの単純な強度試験から簡便かつ低コストの応力ひずみ評価技術として活用することが期待できる。

(参考文献)

1) 前田一輝, 杉浦弘忠, 倉橋直也, 藤田寿広: 京都府中小企業技術センター技報, 49, p.40(2021)