

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007-2008

課題番号：19760081

研究課題名（和文） 光機能を利用した応力拡大係数の直接評価

研究課題名（英文） Evaluation of Stress Intensity Factor by using Photo-function

研究代表者

宮下幸雄(MIYASHITA YUKIO)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：00303181

研究成果の概要：

本研究では、弾性域の応力負荷においても発光を示す応力発光材料を用いて、き裂の検出・評価を行う手法を開発することを目的としている。市販の応力発光材料粉末をエポキシ系樹脂材料に混合することで作製した複合材試験片に引張り負荷を加え、発光挙動を観察した。その結果、き裂進展中、き裂先端部近傍において、発光現象を観察することに成功した。同手法により、き裂の検出・評価が可能であることがわかった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19年度	2,100,000円	0円	2,100,000円
20年度	1,200,000円	360,000円	1,560,000円
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000円	360,000円	3,660,000円

研究分野：材料力学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：(1) 機械材料・材料力学, (2) 光機能, (3) 機能性材料, (4) 応力・ひずみ測定, (5) 破壊力学

1. 研究開始当初の背景

「安心・安全で質の高い生活のできる国」は、我が国の科学技術政策基本計画における3大理念の一つとしてあげられている。その中でも、たとえば、交通・輸送システムや構造物の安全確保は、個人・社会のいずれにおいても重要な問題である。また、近年、機器・構造物の長寿命化への要求はますます高まっている。しかし、たとえば、高速道路トンネル内のコンクリート壁の崩落事故や、ゆりかもめの車軸ハブの疲労破壊事故など、事故はあとを絶えない。また、研究代表者も体験

した、平成16年10月に発生した中越地震などの大規模自然災害による損壊に対しても、早期復旧のためには、機器・構造物の健全性の評価技術は重要である。他方、安全に対する考えの国際化・グローバル化や決してあってはならない事故の隠蔽防止などを背景として、たとえば、原子力発電所では、これまでの絶対安全神話から、より現実的な、維持基準が平成15年10月に導入されており、材料力学・破壊力学とともに、非破壊検査技術の重要性・社会貢献度が増している。

一般に、き裂・欠陥の検出には、探傷塗料

を用いる目視検査や打撃検査のほか、X線、超音波、サーモグラフィーなど各種の方法が実用化されている。しかし、これらの方法は、基本的には、欠陥そのものの存在、もしくは、その大きさを検出する方法である。破壊力学パラメータの応力拡大係数は、き裂長さと応力の関数である。すなわち、欠陥の寸法だけでは、その機器・構造物の健全性評価は十分ではなく、欠陥部の応力状態を解析的・実験的に求める必要がある。実験室レベルでは、たとえば、き裂先端部近傍の微小変位分布を測定することにより、応力拡大係数を求めることは可能である。しかし、実際に機器・構造物が使用されている環境下において、測定を行うことは容易ではなく、簡便で応用性に優れる、応力拡大係数の直接評価法が望まれる。他方、研究者は、これまでに、第二高調波を発現するガラスセラミックスの光機能が応力負荷により影響を受けることを明らかにしてきた。たとえば、図1のように、 TeO_2 系ガラスセラミックスに圧縮荷重を加えたところ、図2に示すように、光機能に変化が認められた。これらの研究から、逆に、光機能を利用して、応力・ひずみの測定が行えるという着想に至った。他方、近年、弾性変形によって発光する、欠陥制御型ユーロピウム賦活アルミン酸ストロンチウム $\text{SrAl}_2\text{O}_4\cdot\text{Eu}$ を主成分とする応力発光材料が開

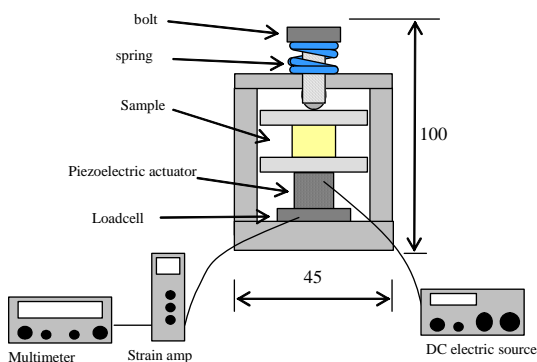


図1 TeO_2 系ガラスセラミックスの光機能に及ぼす応力負荷の影響実験模式図。

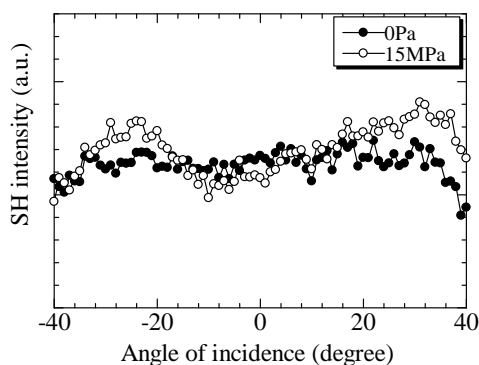


図2 負荷応力が光機能に及ぼす影響。

発された。研究代表者らは、この材料の粉末を樹脂材料と混合し複合材をつくり、予備実験的に負荷応力を加えた。その結果、応力負荷による発光が確認され、また、負荷応力の増加にともない、発光強度は増加する傾向が認められた。この応力発光材料と樹脂の混合材を硬化前に材料に塗布しておけば、き裂が発生した際に、き裂先端部の応力集中部において強い発光が期待され、これにより欠陥の検出およびき裂長さの測定が行える。また、それだけではなく、将来的には、光強度の分布から応力分布が分かるため、直接、応力拡大係数の評価へと発展させることができるという着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では、光機能を利用して、き裂の検出・評価・測定を行う手法を開発する。本研究で目指す技術の模式図を図3に示す。様々な機器・構造物に対応するためには、樹脂材料と混合し、塗布することが必要となる。研究者は、これまでに、応力発光材料と樹脂を混合した材料について、樹脂と応力発光材料粉末の混合比を変えた材料を試作し、予備実験的に検討してきた。本研究では、これらの知見を生かしつつ、継続して検討することで、ノッチやき裂先端部周辺の応力集中と発光特性の関係を調べ、光機能性材料によるき裂の検出とその評価の可能性について明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、応力発光材料粉末を樹脂と混合し、複合材を作製した。応力発光材料として、欠陥制御型ユーロピウム賦活アルミン酸ストロンチウム $\text{SrAl}_2\text{O}_4\cdot\text{Eu}$ を主成分とする、TAIKO-ML-1 (大光炉材製) を用いた。応力発光スペクトルは 520nm 付近、発光色は緑色(可視光)、最大輝度が約 10cd/m^2 である。また、同材料は粒径 $5\sim 10\mu\text{m}$ 程度の粉体である。応力発光材料粉末と混合する樹脂として2液混合タイプのエポキシ系常温硬化樹脂 (EPO-KWICK, BUEHLER 製) を用いた。なお、同様の応力発光材料粉末/樹脂複合材を用いた実験より、応力発光材料の含有量の増加により応力負荷による発光強度は増加する傾向を示すことが報告されてい

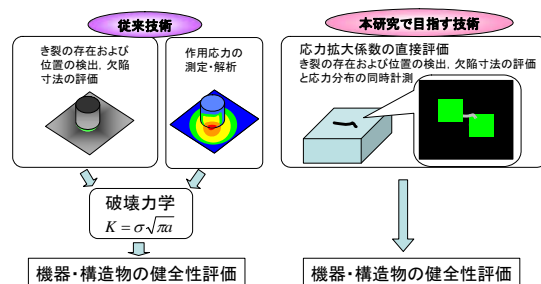


図3 本研究で目指す技術と従来技術の比較。

る。しかし、含有量が増加すると、応力発光材料粉の凝集と沈殿が生じやすくなり、また、樹脂の成形が難しくなる。応力発光材料の含有量を変えて試験片を試作した結果、発光材料の含有率が 50%以上の試験片では気泡が入りやすく、硬化後に大きな空孔が残る場合があった。そこで、本実験では、気泡が比較的少なく、かつ、含有量の多い、含有率 30%とした。

本研究では、図 4 に示す引張り試験片を作製した。当初、板材から機械加工による切り出しを試みたが、材料の変形が認められるため、試験片形状の金型で樹脂を硬化させることにより試験片を作製することとした。試験片の製作手順は、主剤および硬化剤を混ぜた樹脂に応力発光粉を混入し、型に流し込む。樹脂の粘性が低い状態では、応力発光材料粉末の沈殿および凝集が生じるため、硬化中には、10min 毎に 6 回程度の攪拌を行った。樹脂が硬化した後、型より取り出し、試験片を削って厚さを整えた。さらに、カッターを用いて手作業により深さ 1mm 程度の片側 V ノッチを試験片中央部に導入した。作製した試験片の概観を図 5 に示す。

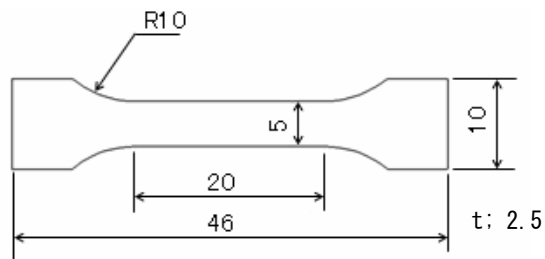


図 4 試験片形状 (in mm) .

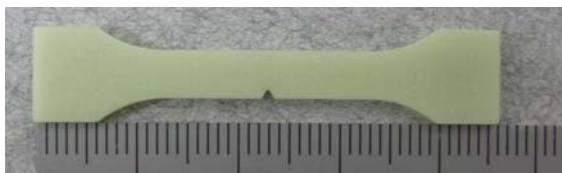


図 5 作製した試験片の外観.

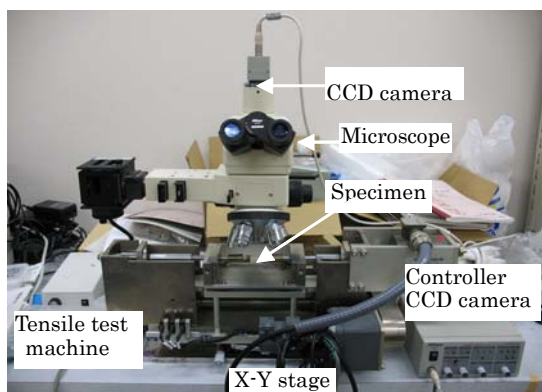


図 6 試作した応力発光現象観察装置.

実験には、ボールねじ式の小型引張り試験機 (容量 5kN) と光学顕微鏡 (ニコン製, フォーカシングユニット IM3), 高感度 CCD カラーカメラ (日立電子製, HD-D28S) を組合せた装置を自作した。図 6 に、試作した装置の外観を示す。通常の引張り試験装置は、試験片の片側端部を固定し、もう一方の端部をアクチュエータに接続し、試験片に負荷を加える。この場合、負荷中に観察点が動いてしまう問題がある。そこで、本研究で試作した引張り試験装置では、負荷中に観察点が移動しないよう、試験片の両端部を同時に引張る構造とした。実験の際には、外乱光が入らないように、観察箇所を暗幕で覆った。引張り荷重は、材料のき裂進展を観察しながら、手動で変位入力により与えた。変位は 1 ステップが約 $1\mu\text{m}$ および約 $50\mu\text{m}$ とした。実験中、き裂進展速度の低下が大きく認められた場合に、1 ステップ約 $1\mu\text{m}$ の変位を数回加え、き裂を進展させ続けた。実験中は、とくにき裂先端近傍に注目し、き裂進展の様子を動画で記録した。

4. 研究成果

試験片に、変位入力により引張負荷を加えると、ノッチが開き、微小なき裂がノッチの先端から発生した。さらに変位を加えると、き裂が徐々に進展し、同時にき裂前方でボイドが発生し、ボイドから進展したき裂が、主き裂と連結した。すなわち、き裂前方におけるボイドの発生とその主き裂との連結をくり返すことでき裂が進展し、最終破断に至った。き裂進展過程の模式図を図 7 に示す。き裂長さ a と、き裂進展速度の関係を図 8 に示す。本実験では、前述のように、き裂の進展に合わせて、変位入力により引張負荷を加えた。その結果、図 8 に示すように、き裂進展速度は、き裂長さとともに増加していた。

き裂進展中、き裂先端近傍に強い発光を確認できた。観察例を図 9 に示す。同図中に丸印で示す箇所が発光が認められた。強い発光を示す点の直径は $10\mu\text{m}$ 程度であり、用い

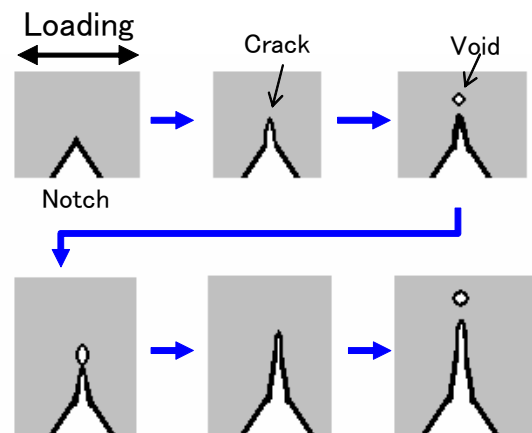


図 7 き裂進展プロセスの模式図.

た発光材料粉粒子径の最大直径とほぼ同程度である。このことから、大きい粉粒子の方が強い発光を観察しやすいと考えられる。き裂が進展を開始した直後では、強い発光を示す箇所は少なかったが、き裂進展にともない多くの強い発光が確認できた。主な強い発光を示したときのき裂長さを a 、き裂先端から発光部までの距離を r として、 a と r の関係を図 10 に示す。同図より、強い発光は、き裂先端から約 0.02mm の範囲で観察できた。また、 $a=4.43\text{mm}$ では、き裂先端から離れた

箇所($r=0.05\text{mm}$)で発光が確認された。試験片はこの直後に破断していることから、き裂の影響だけではなく、試験片のリガメント部が減少したことにより応力が増加したことが発光挙動に影響を及ぼしたものと考えられる。

以上のように、本実験で作製した複合材および実験装置により、き裂進展中、き裂先端部近傍での発光を観察・撮影することができた。今後、応力発光材料粉末の粒径管理および均一な分散法などを検討することにより、応力のビジュアライゼーションによるき裂の定量的な評価技術へと発展させることができる。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

- (1) 宮下幸雄, 山際敏幸, 武藤睦治, 光機能性材料によるき裂評価の試み, 日本材料学会第 58 期通常総会・学術講演会, 2008 年 5 月 25 日, 鹿児島大学
- (2) 山際敏幸, 宮下幸雄, 武藤睦治, 応力発光材料を用いたき裂評価の試み, 日本機械学会北陸信越学生会第 37 回学生員卒業研究発表講演会, 2008 年 3 月 7 日, 福井工業大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮下 幸雄

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号 ; 00303181

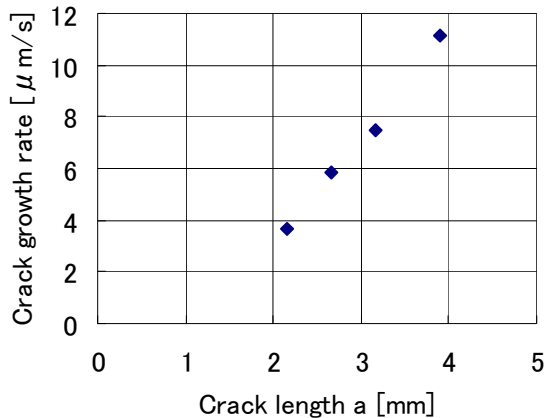


図 8 き裂長さ, a とき裂進展速度の関係。

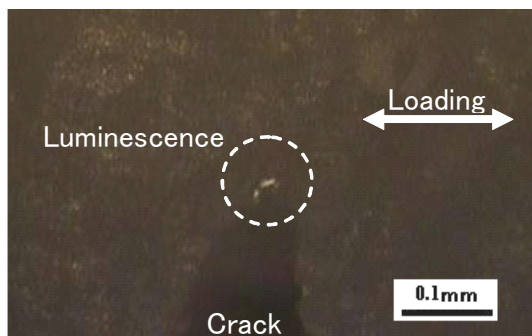


図 9 き裂進展中にき裂先端近傍で観察された発光現象。

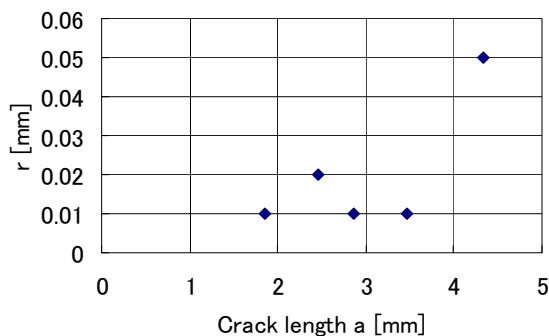


図 10 き裂長さ, a とき裂先端から発光点までの距離の関係。