

## 応力発光体を用いたコンクリート供試体の連続的損傷度評価に関する基礎研究

前橋工科大学 正会員 ○宮川 睦巳  
群馬工業高等専門学校 正会員 木村 清和  
東京都立産業技術高等専門学校 鈴木 拓雄  
東京都立産業技術高等専門学校 岩崎 辰則

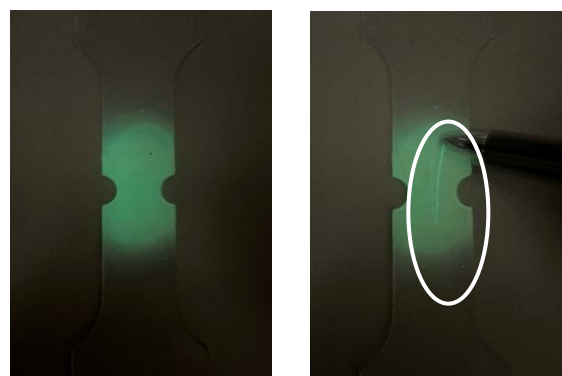
### 1. 目的

高度経済成長期以降に膨大に敷設されたコンクリート構造物を主とする現在のインフラ設備は、老朽化や大型台風などの自然災害の増加によって、同時多発的に異常な外力に曝されており問題視されている。そのような被災構造物の深刻な損傷を災害直後に短時間で把握し、健全性を評価することは都市機能を維持するうえで急務な課題である。しかしながら、災害直後に構造物に累積した外力の程度を一挙に把握することは困難である。ここで求められているのは、受けた累積外力の程度を迅速かつ簡易的に測定し、構造物に加わるエネルギーと損傷の関係性を即時に評価することにある。このため、膨大な数のコンクリート構造物のレジリエンス強化に貢献するような評価方法を確立し、新たな防災技術を開発することが望まれている<sup>(1)</sup>。

本研究では引張・圧縮などの機械的外力を加えることで生じる変形によって発光する性質を持つ応力発光体(Mechanoluminescence 以降, ML と称す)を用いる。これにより構造物が受ける累積外力を簡易的かつ広範囲に測定し、構造物の損傷度を評価するための手法の開発を目指す。既往研究<sup>(1)(2)</sup>として、ML の発光を輝度分布として取得し、弾性論および有限要素法により得られた相当応力分布、ひずみエネルギー分布と相関関係があることが確認されている。このことから、本研究ではひずみエネルギーの解放により生じるき裂の発生と成長によって ML が発光すると考え、モニタリング技術により損傷箇所を特定し、損傷度の評価が行えると考えられる。以上より、本研究ではコンクリート構造物のレジリエンス強化を目的として、ML を塗布したコンクリート供試体による一軸圧縮試験および4点曲げ試験を破壊に至るまで実施する。このとき、コンクリート供試体に載荷する荷重を圧縮強度  $f_c$  に着目しながらステージごとに分類し、各ステージで発生した最大の破壊発光を観察することで損傷度を決定する。このときの微小な破壊発光から最終的な破壊に至るまでの瞬間的発光量および累積発光量を算出し、エネルギーと損傷度の関係性を明らかにする。

### 2. ML の概要

ML は紫外線などの光が照射された時にその光を蓄えた状態で摩擦・圧縮・引張などの機械的外力を加えることで応力集中部が発光する。これにより外力を加えると目視で確認できる  $10 \text{ cd/m}^2$  ほどの発光が起こる。本研究では人間が認識しやすい応力発光スペクトル  $520 \text{ nm}$  付近、発光色は緑色(可視光)のユウロピウム(以降 Eu)をドープしたアルミン酸ストロンチウム( $\text{SrAl}_2\text{O}_4\text{:Eu}$ , 以降 SAOE)を使用する。図1はアルミ板試験片に ML を塗布し、加圧による発光を示す。



(a) 残光状態 (b) 加圧による発光

図1. 加圧による応力発光状態

### 3. 実験条件と概要

ML を塗布したコンクリート供試体による一軸圧縮試験および4点曲げ試験により破壊発光を観察する。本実験で使用する供試体は、水セメント比 (w/c) 50%, 普通ポルトランドセメントを使用する。まず、図2に一般的なコンクリートの応力ひずみ曲線を示す。コンクリートの応力ひずみ曲線の形状は内部のき裂の発生機

キーワード 応力発光体, モニタリング技術, コンクリート破壊試験

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460 番地 1

公立大学法人 前橋工科大学 TEL. 027-265-0111 (代表)

構と密接な関係があり、 $f_c$ の30%までは荷重载荷以前にコンクリート中にあったひび割れはほとんど変化しない（弾性的挙動）。続いて、 $f_c$ の30～50%ではひび割れ先端の応力集中によって付着ひび割れが拡がり始めるが、ひび割れ伝播は安定している。 $f_c$ の50～75%では骨材近くのひび割れが相互につながり、モルタル内のひび割れを形成し始める。同時に他の付着ひび割れがゆっくり成長し続ける。 $f_c$ の75%以上では最も大きなひび割れはその限界長さに達し、伝播速度は最大となる。 $f_c$ 以降ではひずみ増加とともに応力が減少するひずみ軟化(Strain-Softening)により巨視的なひび割れとなる。このことから、コンクリート供試体の圧縮強度 $f_c$ に着目し、 $f_c$ の0～30%をStage 0, 30～75%をStage 1, 75%以上をStage 2,  $f_c$ 以降をStage 3として、それぞれのステージで発生した最大の破壊発光を損傷度としてそれぞれ  $D_i$

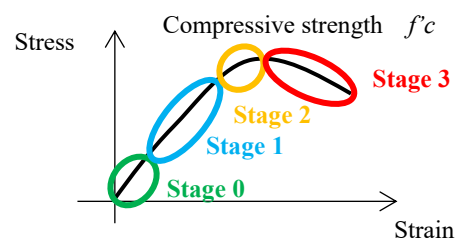


図2 コンクリートの応力ひずみ曲線

(Damage 0～3) を決定する。本実験により微小な破壊発光から最終的な破壊に至るまでの瞬間的発光量および累積発光量をモニタリング技術により算出し、エネルギーと損傷度の関係性を明らかにする。本文では、図3に4点曲げ試験片形状、図4に曲げ破壊による破壊発光、図5にせん断破壊による破壊発光の撮影画像を示す。これにより、破壊形態によるき裂の発生と成長を捉えていることが分かる。また、図6は一軸圧縮試験における累積破壊発光エネルギー比の推移を示す。Stage 0における燐光状態から始まりStage 3の最終的な破壊に至るまで輝度値を観察することにより、指数関数的に累積破壊発光エネルギーが観察できる。

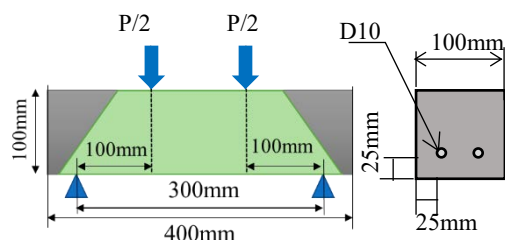


図3 4点曲げ試験供試体形状

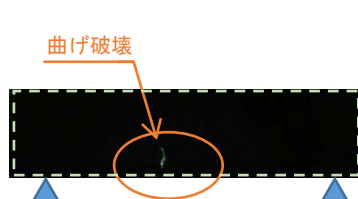


図4 4点曲げ試験による発光

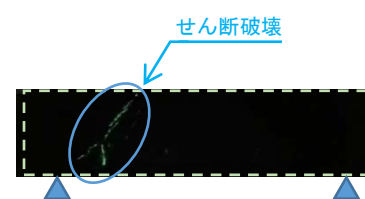


図5 せん断破壊による発光

#### 4. 結言

本研究ではコンクリート供試体の側面にMLを塗布して破壊試験を行いながらモニタリングを行った。これによりStage 0～3の4種類に分類し、破壊発光の強さから損傷度  $D_i$  および累積外力による損傷度の評価を示すことができると考えられる。またStage 1～3はそれぞれ、破壊の予兆、破壊の進行、破壊の最終段階と評価できると考えられる。この手法を用いて、コンクリート構造物の最終的な破壊に至るまでの累積外力による定量的な損傷度を、広範囲に、かつ簡易的に評価することができると考えられる。

#### 参考文献

- (1) 徐超男, “応力発光によるコンクリート構造物状態の可視化”, コンクリート工学会, Vol.53 No.5, pp.462-467, 2015
- (2) D. MOTOYOSHI, M. Miyagawa, et al., “Basic Study on Stress Analysis and Resilience Enhancement using Mechanoluminescence”, 5th STI-Gigaku2020, Nagaoka in Japan, 2020

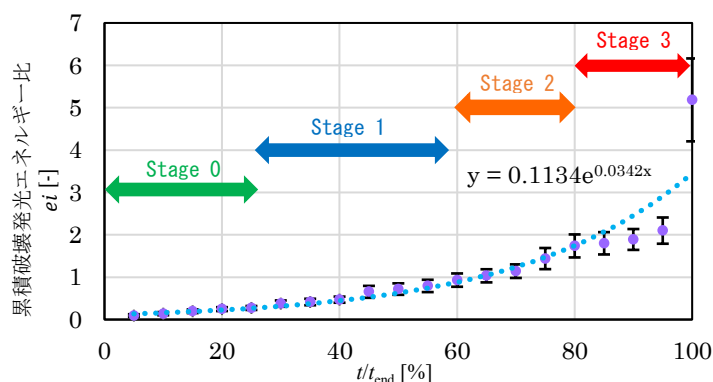


図6 一軸圧縮試験による  
累積破壊発光エネルギー比の推移