

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18759

研究課題名(和文)「応力発光技術」を応用した農業水利施設の健全度診断

研究課題名(英文)Health Monitoring for Infrastructures using Mechanoluminescence

研究代表者

珠玖 隆行 (Shuku, Takayuki)

岡山大学・環境生命科学研究所・准教授

研究者番号：70625053

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、力の作用によって光を放出する「応力発光」と呼ばれる現象に着目し、応力発光を応用した既設構造物の健全度診断手法の構築を試みた。応力発光材料と呼ばれる材料を、構造物に塗布し、その発光状況を計測し、発光強度のみから構造物に作用する応力が推定できるかを検討した。応力発光塗料を塗布したセメント安定処理土を一軸圧縮試験に供し、応力発光と作用応力を計測した。その後、応力発光強度と作用応力の相関を調べ、発光強度の情報のみから作用応力を間接的に推定できることを示した。

研究成果の概要(英文)：Maintenance of aging infrastructures is a growing problem. Cost-efficient maintenance and management of civil infrastructures require balanced consideration of both structural performance and the total cost accrued over the entire life-cycle considering uncertainties. For that purpose, inspection and monitoring techniques for aging existing structures have been proposed.

Mechanoluminescent (ML) can be a useful tool to inspect existing infrastructures.

In this study, the system for measuring ML intensity was newly developed and was applied to unconfined compression test. Measured ML intensity was compared to the applied stress. The relationship between ML intensity and applied stress shows unique curve, and the applied stress can be visually estimated based on ML.

研究分野：土木工学

キーワード：維持管理 非破壊検査

## 1. 研究開始当初の背景

我が国の社会資本ストック（インフラ）は高度経済成長期に集中的に整備されたものが多く、現在では老朽化が進行し、性能上問題のある施設数は年々増加している。社会資本の設計供用期間はおよそ 50 年と言われており、今後も大量の社会資本の老朽化が進行していくことは確実である。また、国土交通省によると、「高度成長期以降に整備された道路橋、トンネル、河川、下水道、港湾等について、今後 20 年で建設後 50 年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる」ことが報告されている。国・地方自治体ともに財政的な制約が厳しくなる中で、老朽化の程度に応じた補修対策の優先度検討や補修計画あるいは施設更新時期の検討など、大量の社会資本ストックをどのように維持管理していくかは早急に解決しなければならない問題である。また最近では、東海・東南海地震やこれまで経験したことの無い集中豪雨による災害の発生が懸念されており、インフラの健全度を正確に把握し、適切な対策を施したうえで維持管理していくことが、災害に強い街づくりを実現する上で必要不可欠である。

社会資本の維持管理・マネジメントに関して、例えば、「農業水利施設の機能保全の手引き（2007）」では、構造物の健全度評価のための 5 段階の指標（S1～S5）を提示するとともに、劣化曲線に基づく劣化予測や対策工の選定方法の考え方、すなわちストックマネジメントの基本的な考え方について示している。しかしながら、実際にマネジメントを有効に運用していくためには、以下に示す技術的な問題を解決する必要がある。

(1) 既存の点検は目視に基づいたものがほとんどであり、得られる点検結果が定性的で、点検する技術者の経験等により結果が大きく変わりうる。また、既往の健全度評価指標や劣化予測が定性的なデータ

に基づいているため、健全度評価や劣化予測結果に多くの不確定性を含む。

(2) 社会資本ストックの健全度評価において重要な応力の計測技術が未発達であり、目視で確認できる顕著な変状（クラックや剥離）のみに基づいて健全度が評価されている。これらの技術的課題は、ストックマネジメントの運用実務において、社会資本施設の正確な健全度評価が行われず、マネジメントが有効に機能していない可能性を示唆している。

上記の課題を解決することにより、施設の点検・維持管理を実質化（定量化）・高精度化できるだけでなく、既存の点検業務を効率化し、大きな社会問題となっている技術者不足の問題解決にも貢献できる可能性がある。また、既存の点検業務で用いられている技術とは異なる定量的なデータが取得できる新しい計測技術を開発することにより、従来の定性的なデータに基づいた診断・予測理論に代わり、新しい理論が創出される可能性がある。それに伴い、新しい理論を解析するための数理アルゴリズムの開発やエンドユーザーが簡易に利用できるソフトウェア開発にも繋がる可能性がある。

## 2. 研究の目的

本申請研究では、上記の問題を応力発光技術の応用によって解決することを目指す。応力発光とは、力学的刺激によって発光する現象を意味し、刺激の大きさに応じて発光強度（照度）が変化する材料を応力発光材料と呼ぶ。申請研究ではこの応力発光材料の性質を応用し、対象物に作用する応力・作用力を計測するセンサーを開発することで、既存の社会資本の維持管理・マネジメント運用における問題点を解決する。

## 3. 研究の方法

例えば、室内試験を通して、図 1 に示すよ

うな応力発光強度と応力・作用力の関係を推定しておけば、対象となる構造物に応力発光センサーを取り付け（貼付け）、発光の状態をデジタルカメラで撮影しその画像を解析するだけで非破壊・非接触で作用応力を推定することができる。構造物に作用する応力を推定するためには、通常、ひずみを計測し、材料のシミュレーションモデルを用いた逆解析により応力を推定しなければならないが、応力発光センサーを用いることで直接的に応力を計測することができる。これまで「応力・作用力を直接計測する」ことは実務レベルでは極めて難しいとされ、その計測方法は未発達であった。

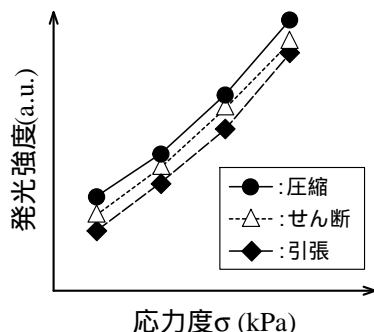


図1 作用応力と発光強度の関係の模式図

作用応力を計測する既存の技術として、1950年代から利用されている「光弾性法」を挙げることができる。この方法は、アクリルやエポキシ樹脂などの光弾性材料に力を作用させ、材料の変形に伴う内部の光の屈折率の変化を観察することによって作用力を推定するものであるが、偏光板などの特殊な実験装置が必要であり、屈折率からの応力の推定は煩雑であること、応力の計測が光弾性材料を対象とするものに限定されてしまうといった制約がある。しかしながら、本研究で着目する応力発光材料は、液状やシート状など任意の状態で行うことができることから、その応用範囲が特定の材料や構造に限定されない。また、光弾性のような特殊な機器を必要とせず、デジタルカメラがあれば計測することができるという長所を有している

#### 4. 研究成果

2015年～2017年の期間で、応力発光技術に着目しその適用性を検討するための基礎実験を実施した。具体的には、図2に示す応力発光計測システムを構築し、材料試験中に応力発光の計測が可能かどうかを検討した。

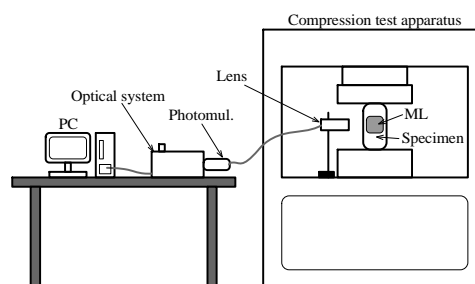


図2 応力発光計測システム概略図

当初、デジタルカメラによる発光状況の計測も実施したが、発光強度が小さく、画像処理・画像解析を実施しても発光状況を精度よく捉えることができなかった。そこで、光電子増倍管（Photomul.）を用いての計測を試みた。光電子増倍管は光子を計測し、その光子の量から発光強度を推定する機器であり、精度の高い発光強度計測を実施するために光学分野では一般的に用いられる機器である。この機器を用いることによって、図3に示す作用応力と発光強度の関係を得ることができた。

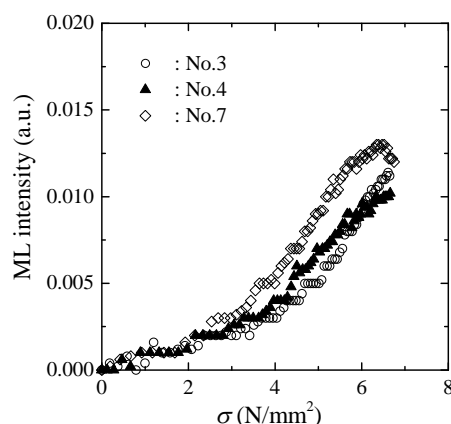


図3 応力と発光強度との関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

珠玖隆行, 粒状体に作用する力の可視化,  
アグリバイオ, 査読無し, Vol.2, No.3,  
2018

珠玖隆行, 応力発光による農業水利施設  
の診断に関する基礎的研究, アグリバイオ,  
査読無し, Vol.1, No.2, 2017

Murakami, R., Shuku, T., Shibata, T.  
and Nishimura, S.: Application of  
mechanoluminescent sensors to visual  
inspections for existing geotechnical  
structures, Proc. 3rd Int. Conf.  
Geotech Hanoi 2016, 査読有り,  
1193-1196, 2016.

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

取得状況 (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

珠玖 隆行 (SHUKU, Takayuki)

岡山大学・大学院環境生命科学研究科・准教授

研究者番号：70625053

(2) 研究協力者

西村 伸一 (NISHIMURA, Shin-ichi)

岡山大学・大学院環境生命科学研究科・教授  
研究者番号：30198501

(3) 研究協力者

柴田 俊文 (SHIBATA, Toshifumi)

岡山大学・大学院環境生命科学研究科・准教授