

応力発光体を用いた山岳トンネルの安全評価技術

鹿島建設 正会員 ○中畠 誠門[†]、横田 泰宏、山本 拓治
産業技術総合研究所 徐 超男[‡]、寺崎 正、張 琳、坂田 義太郎、上野 直広

1. はじめに

日本では、高度成長期に整備された社会基盤構造物の多くが、今後 10～20 年の間に耐用年数を迎える。このため、山岳トンネルにおいても事故防止のための損傷診断技術の整備が急務となっている。これに加え、山岳トンネルの工事中は、地山および支保挙動が問題となりやすいことから、施工時における安全管理技術のニーズが高まっている。現在、トンネルの変状を早期に検出する目的で、レーザ変位計、ひずみゲージや光ファイバを用いた計測器によるモニタリングが実施されている。しかし、これらの計測領域は点や線に限定されるため、トンネル全体の安定性を把握するには多数のセンサが必要である。また、計測位置で大規模なひび割れが発生した場合、センサが破損して、その後のひび割れ発生・進展を捕捉できなくなる可能性がある。

このような背景に対応して、現在、橋梁やトンネル、建物などの実構造物の安全管理に応用可能な応力発光体^{1),2)}を用いたモニタリングシステム「応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステム」の開発が進められている³⁾。これまで、主に橋梁や建物を対象として、繰り返し荷重を受ける構造物の異常箇所の検出に関する検討等が行われてきた⁴⁾。今回、山岳トンネル施工時の安全管理方法について検討を行ったので、以下に計測方法の概要と適用性確認試験の結果をまとめる。

2. 計測方法

応力発光体は、粉末状のセラミックス微粒子であり、個々の微粒子が力学的エネルギーを光エネルギーに変換するセンサ素子の役割を果たす。この微粒子を含有する塗料を構造物に塗布することで、構造物表面の応力集中やひび割れ形状を高い分解能で可視化できる。

山岳トンネルの安全確保に必要となる管理項目を図 1 に示す。施工時の安全管理としては、ロックボルト軸力、吹付けコンクリート応力や鋼製支保工応力などの計測が行われる。近接する構造物があれば、それらの変状計測も併せて実施される。一方、供用時の安全管理としては、主に覆工コンクリートのひび割れ点検や応力計測が実施される。これらの安全管理の中で応力発光体を利用すれば、支保部材に局所的な応力集中やマイクロクラックが発生した時点で変状を検知できる。これによって、早期に適切な対策工を施すことが可能となり、トラブル回避の可能性が高まる。

具体的な手順として、まず、ロックボルトのプレートなど変状が顕在化しやすい箇所に応力発光体を塗布し、日常的に目視で観察する方法が考えられる。また、画像計測装置でモニタリングすることで、リアルタイムに応力異常の有無を把握することが可能となる。さらに、装置をネットワークで結び、履歴を記録・解析するプログラムを実装すれば、早期に包括的な危険兆候を検知する安全施工管理システムを創出することができる。

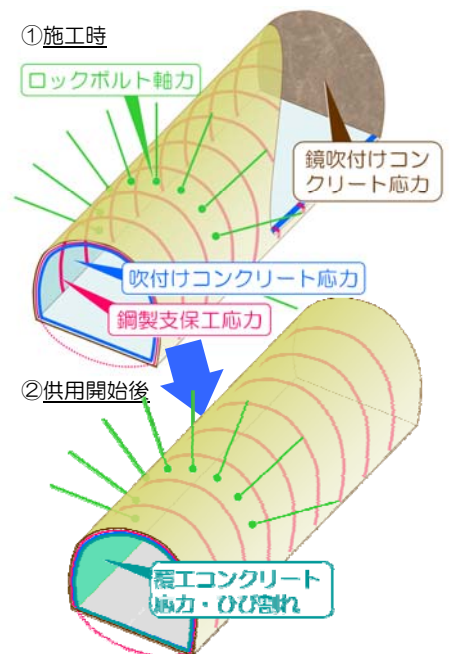


図1 山岳トンネルの管理項目

3. 適用性確認試験

既往の研究で、鋼材の伸縮やコンクリート構造物のひび割れ発生に伴う発光状況は調査済みである。すなわち、鋼製支保や覆工コンクリートへの基本的な適用性は実証済みである。そこで、本検討での重点課題として、

キーワード 応力発光体、応力集中、ひび割れ、可視化、モニタリング、トンネル、損傷診断、安全施工

連絡先[†]〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL042-485-1111

[‡]〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町 807-1(独)産業技術総合研究所 生産計測技術研究センター 応力発光技術チーム TEL0942-81-3661

①現場環境での視認性確認 ②ロックボルトへの適用検討 ③吹付けコンクリートへの適用検討に取り組んだ。

①現場環境での視認性確認

応力発光の視認性を調査するため、まず、図2に示す曲げ試験用供試体を使用し、室内の照度を変えながら曲げ破壊試験を行った。この結果、照度 250 ルクスでのひび割れ発生に伴う発光の視認性を確認した(表1参照)。また、曲げ破壊前のマイクロクラックの発生に伴う発光は、目視確認には照度を 100 ルクス程度以下に抑える必要がある一方、産総研開発の小型高感度応力イメージャを用いると例え照度 250 ルクス下でも鮮明に検知できた。

次に、工事中の明るいトンネル坑内で実際に視認性確認試験を行った。トンネル内の照度は場所によってばらつきがあるものの、概ね 50~100 ルクスであった。この結果、現場環境でもひび割れ発生に伴う発光を目視で確認することができた。

②ロックボルトへの適用検討

応力発光体のロックボルトへの適用方法を検討するための現場試験を実施した。ロックボルトに過剰な軸力が加わると、プレートに変状が顕在化する。これを利用して、応力発光体をプレートに塗布し、その後ナットを締めながら発光状況を確認した(図3)。この結果、ボルト周縁部を中心とする発光を確認した。

③吹付けコンクリートへの適用検討

吹付けコンクリート背面の岩盤(岩石)に押し出し変位が発生した場合を想定した模擬試験を実施した。押し出し試験用の弱材齢のコンクリート供試体(図3参照)を作製し、供試体中央部の薄層部を裏面から押し抜いた際の発光を市販のデジカメで撮像した。図4に荷重ステップを、図5に各荷重ステップにおける発光状況を示す。この結果、荷重が最大値に達する前の段階(45sec)で、応力集中による発光を確認した。また、ひび割れ発生直後(65sec)には、押し出した箇所の急激な応力解放に伴う強い発光を確認した。

4. おわりに

室内試験および現場試験を行い、山岳トンネルの施工時安全管理に対する応力発光体の基本的な適用性を確認した。今後、課題整理などを行い実用に向けた検討を継続する。なお、本研究は、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業 チーム型研究(CREST)の研究領域「先進的総合センシング技術」における研究課題「応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの創出」(研究チーム長:徐 超男)の一環として実施したものである。

【参考文献】

- 1) C.N. Xu, T. Watanabe, M. Akiyama and X.G. Zheng: Direct view of stress distribution in solids by mechanoluminescence, Appl. Phys. Lett. Vol. 74 pp2414-2416, 1999.
- 2) 徐 超男:「見えない危険」を可視化する技術、検査技術、Vol. 14, No. 9, pp1-10, 2009
- 3) 寺崎 正ら: 応力発光体を用いた安全管理モニタリング、土木学会第 65 回年次学術講演会、VI-156、2010
- 4) 篠川 俊夫ら: 応力発光体によるひずみ計測遠隔モニタリング実験、土木学会第 66 回年次学術講演会、CS9-5、2011

表1 試験条件ごとの視認性確認結果

No.	照度 (lx)	载荷速度 (N/sec)	視認性(曲げ破壊時)	視認性(曲げ破壊前)
1	0	8	○	○
2	0	40	○	○
3	100	8	○	△
4	250	8	○	×

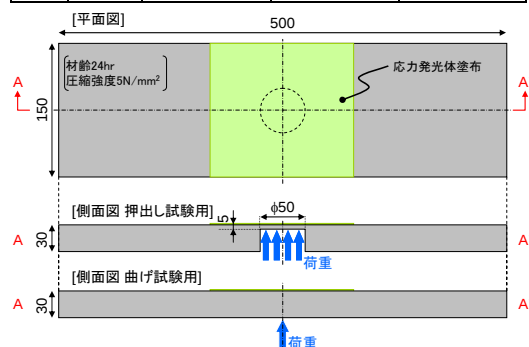


図2 室内試験用供試体

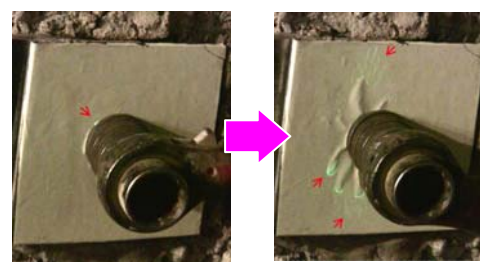


図3 ロックボルトへの適用試験結果

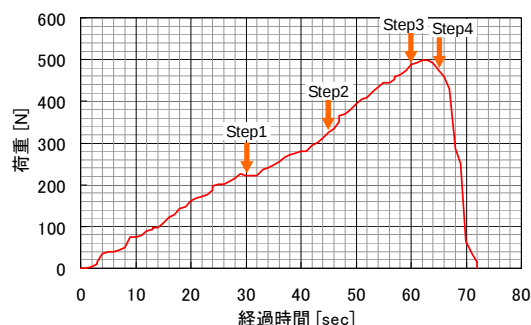


図4 押し出し試験の荷重計測結果

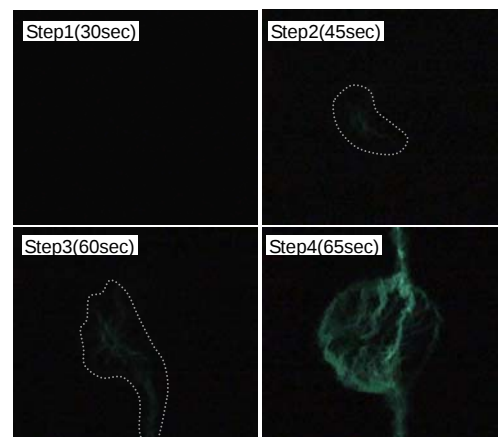


図5 押し出し試験の発光状況