

トンネル掘削工事中の安全管理における 光る変位計の適用例

芥川 真一¹・森 翔矢²・大村 修一³・山田 浩幸⁴

¹正会員 神戸大学教授 大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台1-1)
E-mail:cadax@kobe-u.ac.jp

²学生会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻

³正会員 鴻池・飛島共同企業体 穂別トンネル西工事事務所
(〒054-0201 北海道勇払郡むかわ町穂別稲里418-5)

⁴正会員 (株) 鴻池組 土木技術部 (山岳トンネル担当) (〒530-8517 大阪市北区梅田3-4-5)

トンネル工事などの地下工事においては、安全性が全体的に向上してきているが、突発的に崩落事故が発生する状態が続いている。ここでは、低コストでしかも作業員が視覚的に認知できる現場計測+安全管理の新しい方法として開発を進めている「光る変位計」の現場適用例を紹介する。この新しいセンサは、持ち運び、取り付けが簡単で、変形の大きさによってLEDの光の色が変わるものであり、安全が危惧される箇所（地山が悪い場合の切羽周辺や、吹きつけコンクリートにひびが入っている場所など）に取り付けておくことによって、変状が進んでいる状態、あるいは進んでいない状態などを視覚的に判断できる。ここでは、現場における初めての取り組みについて簡単に紹介する。

Key Words : times, italic, 10pt, one blank line below abstract, indent if key words exceed one line

1. はじめに

計測装置の高度化、データ管理の進化、IT化が進む一方で、トンネル掘削中の崩落事故などによる人的被害は少ないながらも存在し続けている。高価な計測システムを切羽周辺や大きな変位が予想される箇所に常時設置することは不可能であり、新しい方法論が必要とされている。著者らは、簡易な装置で変状を把握し、それを原位置で分かりやすく表示し、変形の状態を可視化することによって安全管理体制を強化することが、これからの新しい現場計測の展開の一つであると位置付けている。

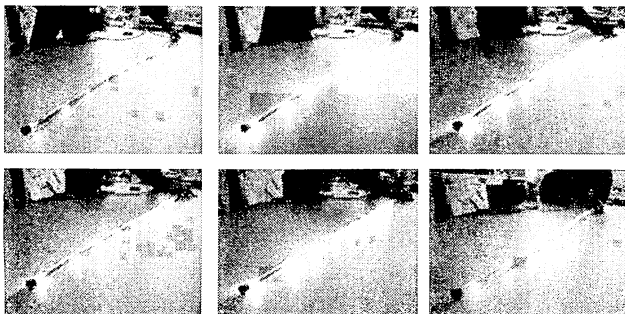


写真-1 変位の大きさによって光の色が変わる「光る変位計」

これを達成するために「光る変位計（写真-1）」、英語ではLight Emitting Deformation Sensor、略してLEDS）の開発、適用を行っている^{1)~4)}。本報告では、トンネル工事現場において初めて実施した光る変位計の適用例について、その概要を紹介する。

2. LEDSの概要

今回適用したLEDSはフルカラー発光ダイオードを使い、変位量の大きさに応じて5段階で光の色を変化させ、危険度を作業員に認識させることができる装置である（写真-1）。LEDSは、トンネル内空の伸び・縮みなどの変形に対して十分な硬さをもったケーブルに10センチ間隔でLEDを取り付け、任意2点間の距離の変化をLEDの光の色に変換する装置である。

例えば、普段は青系色に設定し、変形が大きくなり危険度が高まるにつれて段階的に赤系色に変化させることができる。つまり、トンネル工事における作業空間の危険度を作業員にリアルタイムで視覚的に認識させること

ができるものである。なお、変形の量と光の色の関係は基本的には自由に設定して製作することは可能である。

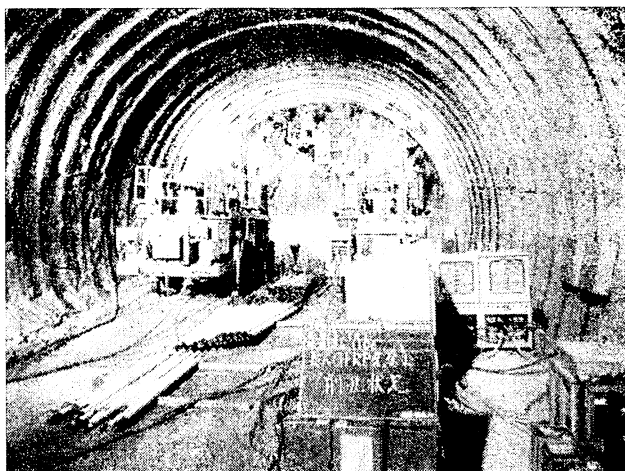


写真2 穂別トンネルにおける掘削

3. トンネル工事現場で適用する意義

山岳トンネルの標準工法であるNATMでは、切羽作業（例えば写真2のような状況）の制約から、支保構築後に測点を設け、地山の性状に応じて10～30m間隔で変位計測を行いながら施工を進めていくことが一般的である。初期変位の確認には施工上時間的な遅れが生じ、脆弱な地山では初期に大きな変形を生じ、地山崩壊に至る懸念もある。しかし、掘削作業の制約により測点の設置時期が支保構築後でないとできないことや、計測結果の評価は計測担当者が現場で測定した変位データを事務所において処理する必要があるため、掘削後の変化を作業員が切羽で判断できない、測点の設置および計測作業は掘削作業に制約される場合が多い、などの問題がある。

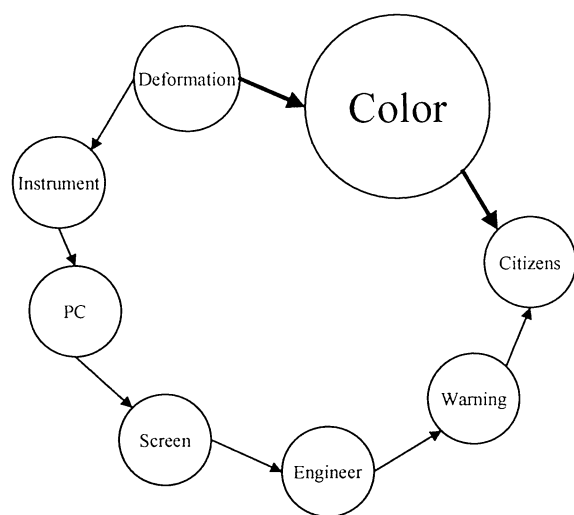


図-1 光る変位計による情報伝達プロセスの合理化

これらの課題に対処するため、「計測」と「視覚的な結果の表示」の両機能を兼ね備えたLEDSの開発、適用を進めている。これをトンネル工事のような作業現場に配置することで、変位計測をできるだけ早い段階で開始し、しかも変が発生した場合に、遅れ時間ゼロで周辺の作業員に情報開示することができる。この時の情報の流れ（Deformationから右回りでCitizenへ）を、通常の流れ（Deformationから左回りでCitizenへ）と対比して図-1に示す。

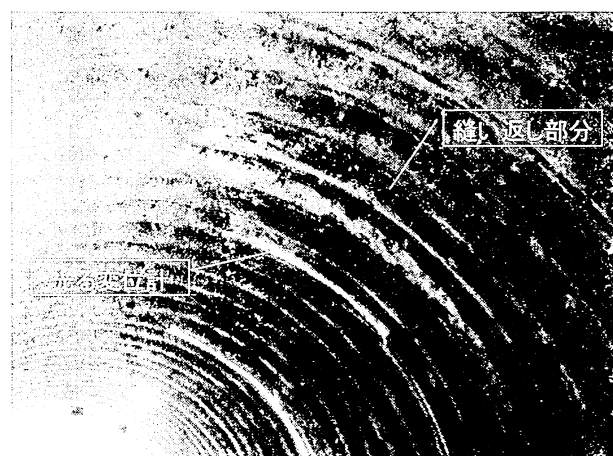
4. 現場実験

現場実験を行った穂別トンネルは北海道勇払郡穂別町に位置する全長4323mの山岳トンネルで、現在NATMで掘削中である。この工事箇所において蛇紋岩が確認されていること、土被り300mを超える区間があることから、大きな変位が生じると予測される箇所等にLEDSを試行的に設置した。

まず、最初に2007年度に作成したLEDS(V.1)を現場に設置した様子を写真-3に示す。



(a) 電源の取り付け



(b) 縫い返し部分に設置した様子

写真-3 2007年度に作成したLEDS(V.1)の設置状況

この適用例においては、坑内の電源から変圧器によって7Vに降圧した電源をLEDSに連結した。この方法でも、十分に機能を発揮させることは可能ではあるが、電源の準備などにおいて手間がかかるという課題があった。また、LEDS(V.1)はデモ用にサンプルとして製作したものであったため、変位計の中心は直径約0.7mm程度のピアノ線としていた。変位計測の精度が要求されない場合は、このような簡易構造でもよいが、現場での本格的利用を考慮すれば、電源の簡略化、計測精度の向上、取り付けの簡易さなどの点において改良を施すことが適切と判断された。

これらの問題点を考慮して2008年度に製作したLEDS(V.2)をトンネル内の別の個所に設置した。このタイプでは、LEDS本体をプラスチック系材料とし、電池式にすることで設置作業が簡易となり、小型の充電式電池を約1日ごとに交換することとした。また、LEDの点灯方式は「点滅」とし、電池の持続時間が長くなるようにした。ワイヤの問題点に関して、シリコンマンガン線を用いることで温度の影響を軽減した。



写真4 変状部に設置したLEDS(V.2)

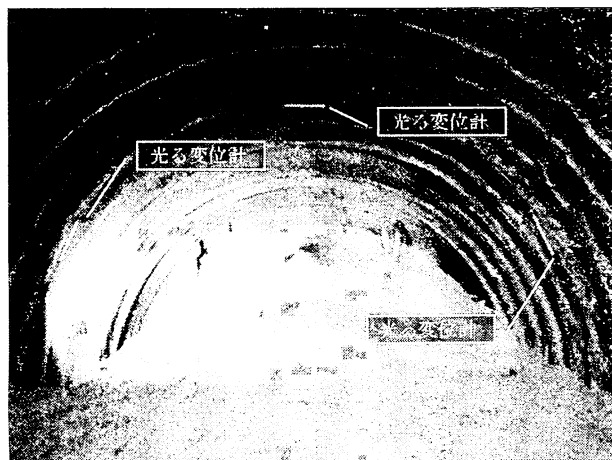


写真5 切羽における設置状況

LEDS(V.2)では、設置作業の簡易性も優れ、また新たに変位量が非常に大きくなり装置の計測範囲を超えてしまう場合に、容易に計測範囲を広げることができるように本装置のバネと同じバネを簡易に取り付けることができるようになっている。これによって装置の利便性が飛躍的に増した。写真4は変位が大きく、吹きつけコンクリートに変状が発生した箇所にLEDSを取り付け、変形の増大がないかどうかを監視している様子である。また、写真5は切羽周辺に複数個のLEDSを設置し、安全性を確認している例である。

変形量の規模が小さい間（mmから数cmオーダーの話）には、通常は視認が困難である変位を、「光の色という見える情報」に置き換えて原位置に表示することは安全管理上重要な意味を持つ。実験室および実トンネルでの試行を通し、光る変位計を利用することで変位の現状を現場関係者が確認しながら作業できる環境を整備することが可能となることが確認できた。この方法をさらに効率化、合理化することによりトンネル工事における新しい安全管理システムの構築が可能となると考えられる。



写真6 要注意箇所に取り付けたLEDS(V.2)

5. 結論と今後の課題

これまでの情報化施工においては、緊急時における対応などに不十分な点があった。その点を克服し、平常時ならびに緊急時に安全性をいち早く判断するための「光る変位計」の概念を報告し、その適用例を示した。これまでのデータ処理方法と異なり、現場での動きをその場所に光の色によって表示することにより、誰にでも分かりやすい現状把握、および緊急時の迅速な対応が可能となる作業環境を整備することができる、今後はトンネル

などの地下工事をはじめとし、斜面、橋梁などの明かりの工事においても本装置を用いた新しいデータ処理の方法論を検証していきたい。

参考文献

- 1) 芥川真一，高野晃佑，竹中嗣人：相対変位を光の色に変えて表示する装置の開発と斜面変位モニタリングの一例，第 62 回土木学会年次学術講演会，3-015，pp.29-30 広島，2007.9.
- 2) 芥川真一，高野晃佑，森翔矢，金子勝：トンネル掘削工事の安全管理に関する一提案，トンネル工学報告集，第 17 巻，pp.163-166，2007.11.
- 3) 芥川真一，高野晃佑，森翔矢，金子勝，高木加乃：光る変位計の開発とその岩盤工学における適用の可能性について，第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp.427-432，2008.1.
- 4) Shinichi AKUTAGAWA and Shoya MORI : Development of new deformation sensors for monitoring of infrastructures, Proceedings of the EIT-JSCE Joint Seminar on Rock Engineering, September 16-17, Bangkok, 2008.

APPLICATION OF LIGHT EMITTING DEFORMATION SENSOR FOR SAFETY MANAGEMENT DURING TUNNEL CONSTRUCTION

Shinichi AKUTAGAWA, Shouya MORI, Shuichi OMURA and Hiroyuki YAMADA

One of the new issues required for a modern observational method in geo-engineering is the speed of data interpretation. Under normal circumstances, time required for the data interpretation can be from tens of minutes to hours. In contrast, immediate or real time data processing is required in an emergency situation in which no time loss is allowed. In order to achieve an almost real time data processing on site and visual presentation of the data, a new device for displacement measurement is created. The device is for measuring relative displacement between two arbitrary points and is capable of showing the displacement by multiple colors of LED lamps attached to the device.