

地盤補強材のための光る変位計の開発

芥川真一^{1*}・南裕輔¹・山地宏志²・羽馬徹³・廣嶼孝也⁴・野澤忠明⁴

¹神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1番1号)

²三井住友建設 (〒104-0051 東京都中央区佃二丁目1番6号)

³KFC (〒530-0047 大阪市北区西天満三丁目2番17号)

⁴エスイー(〒163-1343 東京都新宿区西新宿六丁目5番1号 新宿アイランドタワー43階)

*E-mail: cadax@kobe-u.ac.jp

ロックボルトやグラウンドアンカーに作用する荷重を、光の色に変換して現場で表示するための、光る変位計の開発例について紹介する。支保構造部材に作用している荷重を現場で視覚的に把握することは、安全管理上、非常に意義深いものである。そのために開発を進めている光る変位計の概要説明と、簡単な実験例を示し、今後の方向性を報告する。

Key Words : rockbolt, ground anchr, light emitting deformation sensor, on site visualization

1. はじめに

近年、建設現場での施工および安全管理や、経年化による社会基盤の適切な維持管理が必要とされており、TSや光ファイバー、GPSなどを用いた計測技術についての研究や実用が進められている。しかし大規模な構造物全体をモニタリングする際、広範囲・多点にわたる計測に上記の技術を用いるには多くの費用が必要だと考えられる。またそれらの技術では、突発的な異常が起きた際、計測結果を得てから現場に危険報知や非難指示が到達するまでに多くの工程や時間を要すると考えられる。

本研究では、簡易な装置で変位を計測し、その結果を原位置で表示する「光る変位計」^{1)~6)}を地盤補強材に導入することで、経済的な広範囲・多点にわたるモニタリング、および現場での効率的な現状把握あるいは危険報知を可能とする装置の開発を目的とする。

2. 光る変位計の基本構造

変状が生じた時にそれを感知して、早く、確実に、分かりやすく知らせる方法として、ここでは「変位を計測し、それを光の色にして表示する」ことを基本とする。図-1に装置の構造概観を示す。両端の杭間にばねと剛性の高い弦で構成された変位計測部が設けられている。相対変位が生じると、スイッチパネルがその動きと同調し

て動く。スイッチパネルには、変位という一次元情報から変位レベルごとに割り当てられた光の色を発生させるための機能を持たせている。

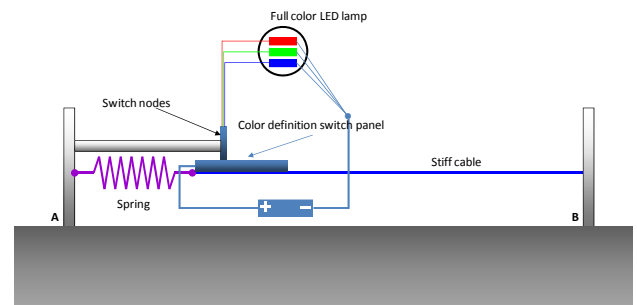


図-1 光る変位計の基本構造

この基本構造を有する光る変位計を利用して、無駄のないスペースの使い方により、グラウンドアンカーやロックボルトの軸力を表示できるようにする装置を開発したので、その概要を報告する。

3. グラウンドアンカーへの適用

グラウンドアンカー（以下、アンカーとする）は地下空洞周辺岩盤や法面の安定を目的とした対策工で、50年以上も前から利用されている技術である。これまでに多くの施工実績を持ち、また今後も多くの施工が見込ま

れるが、それらの効率的な維持管理手法の構築が急務である。本章では、アンカーに作用している残存緊張力の確認を維持管理における重要な要素として捉え、光る変位計を用いた残存緊張力測定装置「光るアンカー」により、効率的な残存緊張力の確認手法を提案する。

(1) 光るアンカー概要

一般に、アンカーは作用する緊張力によりテンドン自由長部分が弾性的に伸縮することが知られている。光るアンカーは、ワイヤとバネを用いて緊張力により生じるテンドンのひずみを捉えることで、間接的に緊張力を測定し、その値をスケールおよびLED光で表示する。

図-2に光るアンカー概略図を示す。テンドンの地中側先端(定着部分)にワイヤの一端を固定し、自由長部分を沿わせ、アンカー頭部に設置した本装置のバネにワイヤの另一端を繋ぐ。これにより、緊張力の増減によるテンドン自由長部分のひずみに追従して、ワイヤに接続されたバネが伸縮する。バネの伸縮に伴い、LED光の色が段階的に変化する。また、バネに沿って設置したスケールにより、直接バネの伸縮量を読み取ることも可能である。

本研究ではSEEE永久グラウンドアンカーを対象に開発を行った。施工時導入緊張力を600kNとし、作用している緊張力が-30kN, 30kN, 60kN, 90kN, 120kN増減することでLED光の色が段階的に変化するよう基盤を設定した。取り換え式のスライド基盤により、テンドン長さ10m, 15m, 20m, 25m, 30mのアンカーに対応する。ワイヤの防食対策として、シース管を用いる。

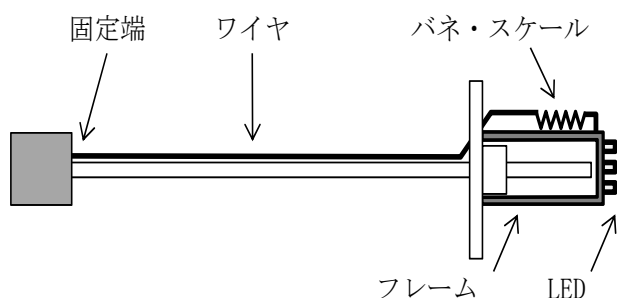


図-2 光るアンカー概略

(2) 光るアンカー動作確認試験

光るアンカーの動作確認のため、アンカー引張試験器を用いて室内試験を実施し(写真-1, 写真-2), 荷重に対するテンドンのひずみおよび光るアンカーのバネの伸縮量の関係を求め、両者の挙動を比較した。なお試験器の寸法により3mの試験用テンドンを用いたが、スライド基盤は10m用のものを用いたため、LED光の変化は見られたものの、変化時の荷重と想定荷重との一致については確認項目としなかった。

図-3に試験概要を示す。600kNに載荷したときを初期

状態とし、変位計2台と光るアンカーを設置する。変位計では緊張用ジャッキ側のアンカープレートの変位を、また光るアンカーではスケールから読み取るバネの伸縮量をテンドンひずみとして記録する。荷重パターンは、初期状態(600kN)から800kNまでの載荷、800kNから300kNまでの除荷、300kNから600kNまでの載荷を連続的に行うものとし、50kNごとに変位計および光るアンカーにて測定を行った。

試験結果を図4に示す。全体的にスケールの読み値と変位計の値に大きな差はなく、同様の挙動が確認できる。この結果より、緊張力によるテンドンのひずみを光るアンカーで再現することができた。すなわち、光るアンカーを用いることで、テンドンに作用している緊張力を間接的に測定可能であることが試験的に示された。また今回試験で用いた3m試験用テンドンでは、荷重50kNの増減にひずみ約1mmが対応しており、同程度の荷重の変動については目視のみで十分判別可能であった。

(3) 今後への検討

試験では、光るアンカーによりアンカーの緊張力を目視程度の作業で簡易測定可能であると判断した。本装置が導入されれば、従来の手法に比べ非常に容易にアンカー残存緊張力の確認が可能となり、維持管理の効率化を図ることができる。今後、テンドン長さが数十mになる実用アンカーへ適用するにあたり、ワイヤとシース管の摩擦の影響や、ワイヤの伸縮の影響、耐久性の問題などが挙げられ、実用化へ向け更なる検討が必要である。

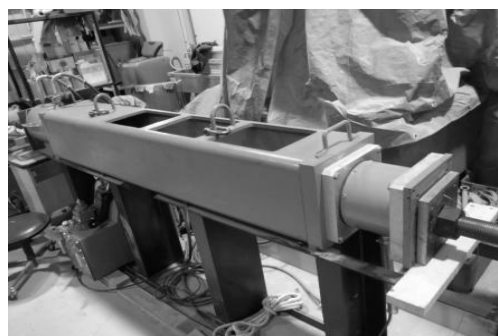


写真-1 アンカー引張試験器

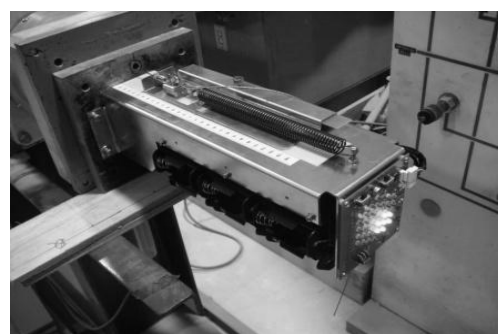


写真-2 光るアンカー設置状況

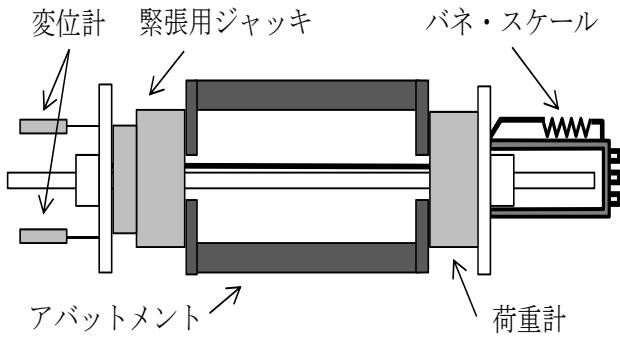


図3 光るアンカー動作確認試験概要

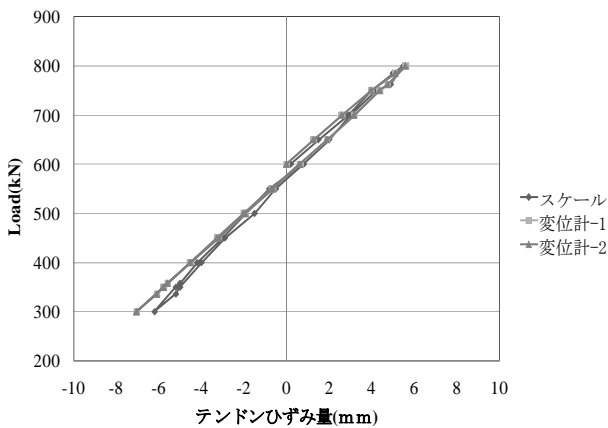


図4 光るアンカー動作確認試験結果

れD1, D2, D3なる3本のワイヤ（シース管で保護されている）を用いて、ロックボルトのそれぞれの区間について相対変位を測定する。測定はワイヤの端部に取り付けられたバネの伸縮を電気抵抗の変化としてデジタル処理する方式（測定精度0.1mm程度）を取っている。それらの結果は、装置の基板内で処理し、各区間での相対変位（d1, d2, d3）として計算され保存される。得られたd1, d2, d3の結果を段階的なLED光の色の変化としてCH1, CH2, CH3に表示する。各CHにはそれぞれ2つのLED（図-6）があり、それらの色の組み合わせにより、無荷重状態から降伏が生じるまでを10段階に分割して表示する。表-1にひずみ（降伏応力を達成するときのひずみを基準に百分率表示したもの）とLED表示色を示す。

本研究では一般的に利用されているD22, D25, TD24, SP24を対象に開発を行った。装置の基板部分で適用するロックボルトの種類を選択することが可能である。1つの電源ボックスから連結できる光るロックボルトは最大5つで、想定される使用例を図-7に示す。

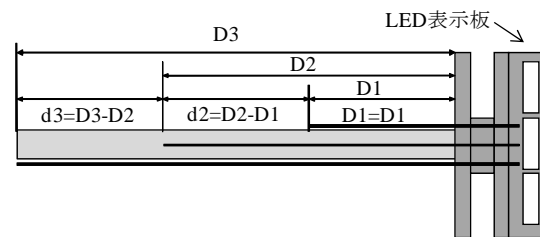


図5 光るロックボルト概略

4. ロックボルトへの適用例

ロックボルトはNATM工法で数多く打設が行われる支保部材であり、岩盤の縫い付け効果や内圧効果、アーチ形成効果などが得られる。地中変位により生じるロックボルトの緊張力を測定することで、ロックボルトの適切な本数や長さ、打設間隔、種類、材質などが判断でき、その後の施工管理に役立てることができる。一般的にロックボルトの緊張力測定にはひずみゲージが用いられるが、測定結果を得てからの処理や解析、判断、報知などの工程に時間を要する。本章では、光る変位計を用いたロックボルト緊張力測定装置「光るロックボルト」により、原位置にて確認が可能である緊張力の表示手法を提案する。それにより、以後の効果的な施工管理、および施工中に起きる突発的な異常の検知による災害の低減への寄与を目指す。

(1) 光るロックボルト概要

光るアンカーと同様、ワイヤとバネを用いて緊張力により生じるロックボルトのひずみを測定し、その値をLED光で表示する。

図-5に光るロックボルト概略図を示す。長さがそれぞ

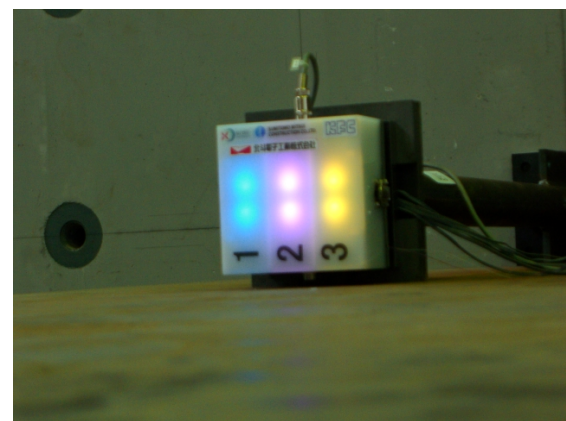


図6 表示部

表-1 ひずみとLED表示色

ひずみ	圧縮	0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	降伏
LED A	紫	青	青	シアン	シアン	緑	緑	黄	黄	赤	赤	
LED B	紫	消	青	消	シアン	消	緑	消	黄	消	赤	

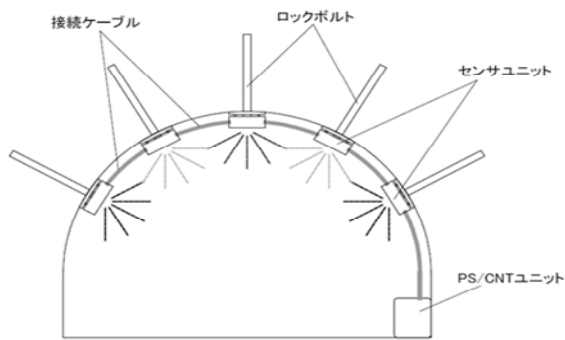


図-7 光るロックボルト設置例

(2) 光るロックボルト動作確認試験

光るロックボルトの動作確認のため、耐圧壁を用いた載荷試験を実施し、荷重に対するロックボルトのひずみおよびLED光の変化についての基礎的測定を行った。

写真-3に試験に用いた供試体を示す。それぞれパイプに通した3本のワイヤをあらかじめ取り付け固定させた長さ3mのロックボルトD25とTD24を用いた。載荷は0kN



写真-3 実験に用いた供試体

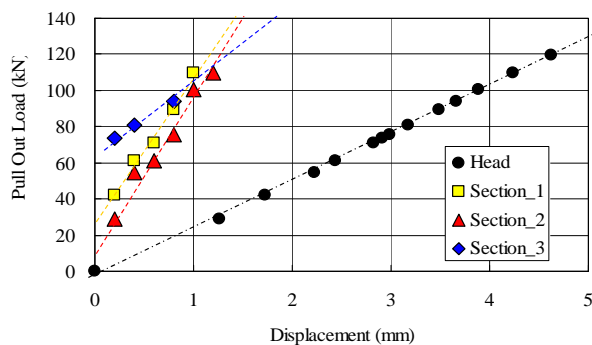


図-8 試験結果

から120kNまでの単純載荷とし、光るロックボルトにより荷重に対する各区間のひずみを測定し、またLED光の変化を記録した。さらにひずみゲージにより各区間のひずみを測定し作用している緊張力の状態を把握するとともに、緊張用ジャッキ側のプレートに設置した変位計によりロックボルト全体のひずみを測定した。結果を図-8に示す。ここで、Head (黒丸) の表示はロックボルト全長に対して与えられた変位を表す。独立した本のワイヤが計測するそれぞれの区間の変位は、この実験ケースではボルトがグラウトによって固められていない (フリーの状態) ため、等しくなるはずである。従って、理想的には、それぞれの区間において記録された変位 (Section_1, Section_2, Section_3に相当する) が重なり、その勾配がHeadのもの1/3になることが望ましい。しかしながら、ワイヤー連結部の遊びなど、機械的ないくつかの要因から、それらの傾向がおおむね認められるものの、データの厳密な整合性を得るには至らなかったのは今後の反省点である。

5. まとめ

本稿では光る変位計をロックボルト、グラウンドアンカーなどの補強材に適用する考え方についてその概要と、簡単な実験例を紹介した。今後は、センサの動作性を現場での適用を前提として確認するとともに、その構造をさらに簡素化して、低コスト化を図る予定である。

参考文献

- 1) Akutagawa, S., Takano, K., and Takenaka, T. : Development of a new device to translate relative deformation into color of light and its application (in Japanese), *General Convention for Japan Society for Civil Engineers*, Hiroshima, CD-ROM 3-01., 2007.
- 2) Akutagawa, S. and Mori, S. : Development of new deformation sensors for monitoring of infrastructures, *Proceedings of the EIT-JSCE Joint Seminar on Rock Engineering*, September 16-17, Bangkok, pp.192-195., 2008.
- 3) Akutagawa, S. and Yamada, H. : Visualization of tunnel risks by use of light emitting deformation sensor, *Proceedings of the First China-Japan workshop on tunneling safety & risk*, August 28-29, pp.49-55., 2009a.
- 4) Akutagawa, S. : Light emitting deformation sensor and its application to geotechnical problems, *Proceedings of EIT-JSCE Joint International Symposium*, pp.1-4., 2009b.
- 5) Akutagawa, S., Mori, S., Kusui, A. and Nomura, M. : New concept for rock structure monitoring by light emitting sensors, pp.347-356, *Proceedings of 2009 Korea-Japan Joint Symposium on Rock Engineering*, 2009c.
- 6) Akutagawa, S., Kusui, A. and Nomura, M. : Light emitting sensors as new visual tool for rock structure monitoring, *Proceedings of EUROCK 2010*, Lausanne, pp.609-612., 2010.

DEVELOPMENT OF LIGHT EMITTING DEFORMATION SENSOR FOR ROCK REINFORCEMENT MEMBERS

Shinichi AKUTAGAWA, Yusuke MINAMI, Hiroshi YAMACHI, Tooru HABA,
Takaya HIROSHIMA, Tadaaki NOZAWA

Light Emitting Deformation Sensor is applied for rock bolt and ground anchors. By adding additional elements to original rock bolt or ground anchors, the new types are capable of showing current force in them by color of LED that changes according to magnitude of the force. Real time measurement of these forces and simultaneous presentation on site, leads to safer working environment since any symptom for larger deformation can be grasped with no time delay.