

無電源で作動する岩盤構造物の モニタリング装置の開発と適用事例

芥川 真一^{1*}・張 海華¹・西尾 彰宣¹・辻村 幸治²・小林 弘典³・高橋 厚志⁴

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

²エス・ケー・ラボ（〒547-0011 大阪市平野区長吉出戸8-1-14-B）

³大日本印刷 研究開発センター（〒277-0871 千葉県柏市若柴250-1）

⁴環境総合テクノス 土木部 地盤技術グループ（〒541-0052 大阪市中央区安土町1-3-5）

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

危険斜面や困難な状況での山岳トンネル掘削などにおいては安全の監視が重要である。通常のモニタリングにおいては電気を使用することが前提となっているセンサを用いることが多く、費用、その装着や管理に要する手間が無視できないものとなっている。そこで、構造が簡素で、装着にも比較的時間がかからず、無電源で作動するモニタリング装置を開発した。今回は、主に変位をモニタリングすることを前提としており、これらの装置は無電源で作動するとともに、計測結果がすぐ、その場で可視化（On Site Visualization）できるようになっている。

Key Words : mechanical monitoring device, no use of electricity, sun light, landslide

1. 序論

著者らはモニタリングにおいて取得した情報を、その場で、リアルタイムに表示するOn Site Visualizationのコンセプトを推進している^{1)~5)}。この手法は、通常のモニタリング技術に様々な形態の可視化技術を組み込んだもので、情報が作業員、現場監督、技術者、周辺住民などにリアルタイムに開示されるため、安全・危険情報の共有が可能になり、現場の安全管理システムの合理化に寄与するものである。本稿では、岩盤構造物の変位を捉えて、それを可視化する手法のうち、太陽光を有効利用した無電源で作動する装置を紹介する。

2. 装置の構造

太陽光を有効利用するために、本装置は「できるだけシンプルに」というコンセプトに基づいて構造設計されている。図-1（側面図）、2（平面図）でその概要を最も簡素な例を上げて示す。太陽光を受ける部分は、小さな窓（Window）が開いた板（Black panel）と、その下に収めている複数の光ファイバーからなる。板はその一端が変位計測用のケーブルにつながれており、変位によ

って動く構造となっている。図示されている初期状態では、板の下に設置されているファイバーの内、1番目だけに太陽光が届いており、観測者はファイバーの他端を視認することで、その状況を確認できる。今、変位により板が左方向にずれることによって、太陽光が届く光ファイバーは2番目、3番目と順に変わる。その様を視認することで観測者は変位の大きさを確認することが可能になる。

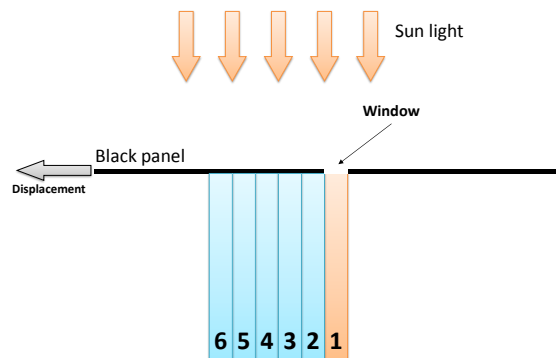


図-1 太陽光を取り入れる装置の側面図



図-2 太陽光を取り入れる装置の平面図

ここで、図-3に示すプラスチック製光ファイバーを使用することとする。ファイバー自体は直径が1mmで、黒いコーティングを含めると全体の直径が約2mmとなっている。

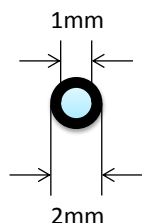


図-3 プラスチック製光ファイバーの断面図

本稿で紹介する実際の装置は、変位計測のレンジを最大200mm程度に設定したものとする。変位のレベルを2mm程度の精度で視認することを前提として設計する方針を取ることを前提として図-1, 2の方針で設計すると、光ファイバーを100本並べることが必要となる（図-4）。しかし、これでは使用するファイバーの数が多すぎて、取り回しが不便になるとともに、コスト的にも問題が生じる。

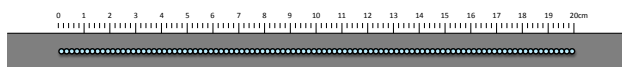


図-4 ファイバーを100本並べる方式

そこで、図-5に示すように、光ファイバーを15本として、最終的には2mmピッチで変位を計測できるシステムを採用することとした。

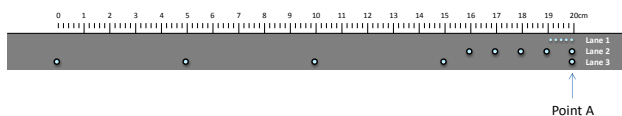


図-5 光ファイバーを15本にしたシステム

この方式では、まず、黒いコーティングを取り除いた光ファイバー5本を、中心間距離2mmのピッチでLane 1に並べる。コーティングを除いたのは鋼製の板に穴を開ける時の作業効率を図るためである。次に、10mmピッチで5本の光ファイバーをLane 2に配置する。最後に、50mmピッチで5本の光ファイバーをLane 3に設置する。

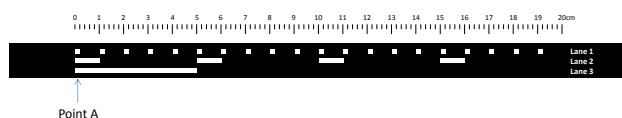


図-6 太陽光を取り入れる窓を有するガラス板

これらの15本の光ファイバーの上に、図-6に示す複数の窓を有するガラス板を設置する。Lane 1の光ファイバーに対応する窓は大きさは2mm*2mmの正方形で、10mmピッチで配置している。Lane 2の光ファイバーに対応する窓は2mm*10mmの長方形で50mmピッチで配置している。最後に、Lane 3に対応する窓は、大きさが2mm*50mmで1個だけ設けている。このガラス板のPoint Aを、図-5の光ファイバー設置盤のPoint Aに合わせて初期状態を作り、その後、変位によって、ガラス板が左側に動いて行くシステムである。実際のガラス板はPoint Aの左側や、図-6で示す右端より外側に、それぞれ十分な長さの窓のない部分があり、無用に光ファイバーに太陽光が届かない構造になっている。



図-7 変位計の外観

図-7に装置の外観を示す。また、図-8に、ファイバーの他端を収める視認用のボードを示す。ここでは、Lane 1, 2, 3のそれぞれのファイバー5本ずつを並べ、どのファイバーに光が届いているかを容易に確認できる配置としている。ボードの右端付近に見えているファイバーはダミーのものである。この図では、すべてのレーンで一番左のファイバーに太陽光が届いており、初期状態（変位=0mm）であることが示されている。変位が2mm程度になると、Lane 1の2番目の光ファイバーに太陽光が届く状態となる。



図-8 変位を視認するためのボード

その途中で、2mm*2mmの窓が中間的な位置に来る場合は（図-9のような状態）、Lane 1の1番目と2番目の光ファイバーに同時に太陽光が届くこととなる。ただし、その場合は、光ファイバーの断面全体ではなく、部分的な場所に太陽光が届く状態になるため、それぞれの光量は断面全体に太陽光が届く場合に比べて、少し低くなる。



図-9 窓が中間的な位置に来る状態（2mm*2mmの窓に注目）

3. 設置例

奈良県内の地すべり監視域に本装置を設置した例を示す。この現場では、過去の降雨により斜面崩壊が2回起こっており、3回目の崩壊が危惧されている。図-10に示すように、モニタリングの場所（Hereの矢印の部分）は道路路面から150m程度標高が高い場所で、南向きの斜面にある。



図-10 地すべり域上部のモニタリング箇所

モニタリングは滑落崖（段差1m程度）を跨ぐ2点間（距

離10m程度）に設置した変位計測装置のインバー線に、本装置のガラス板を連結する方式で行った。設置時の状況写真を図-11に示す。南向きの斜面において、太陽光が効率よく取り込める角度で本装置を設置した。装置に取り付けた15本の光ファイバーは、住民居住域まで伸ばすことが望まれたが、その場合、総延長が400m程度となり、視認のために光ファイバーの他端に届く光量が弱いことが懸念されたため、暫定的に30m程度の長さのファイバーを取り付けた。

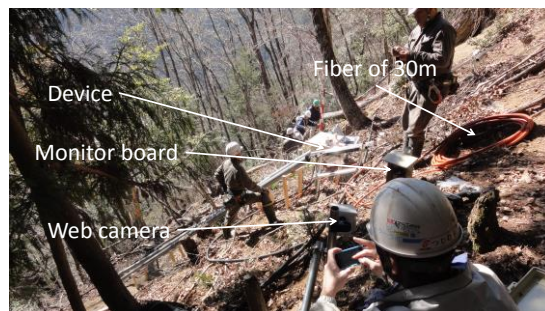


図-11 装置の設置状況

視認用のボードはプラスチックのボックスで直射日光が入らないようにし、状況確認用にウェブカメラを設置した。



図-12 初期状態をウェブカメラで確認した様子

図-12（2014年2月4日）は初期状態を記録した写真で、全ての光ファイバーlaneで一番左のものに太陽光が届いていることから、変位は0mmであることがわかる。



図-13 図のキャプションは図の下に置く

図-13（2014年2月23日）では、Lane 1の2番目と3番目の光ファイバーに部分的に太陽光が届いているため、変位は2mmと4mmの間をとって約3mm程度であることがわかる。

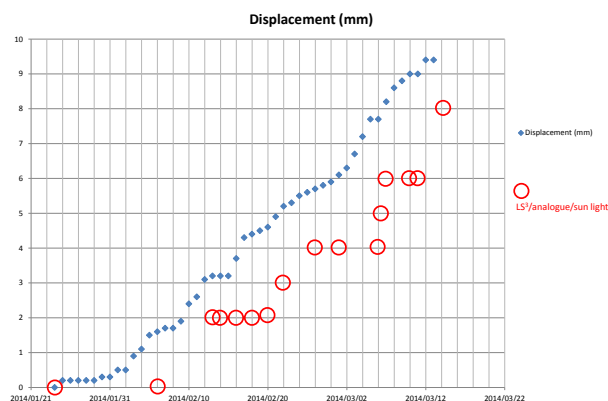


図-14 既設の地すべり変位計測結果との比較

計測開始後、約6週間経過した時点での変位（赤丸）を既設の変位計が捉えた記録（青菱形マーク）との比較として図-14に示す。ガラス板に取り付けたワイヤーケーブルの初期遊びが原因で、少しのズレが認められるが、本装置から記録された変位は概ね既存の計測装置から得られるものと合致することが確認できる。

4. 結論

本稿では無電源で作動する装置の例を紹介した。太陽光を有効利用する形式であるため、観測場所と、それを確認する場所（光ファイバーの他端）の距離が300m程度までの範囲であれば、この形式を採用することが可能となると考えられる。夜間にデータが必要となる場合には、何らかの光源が必要であるが、岩盤構造物のモニタリングにおいて、昼間だけのデータ取得であっても十分

な安全管理が可能となるケースは多いため、今後の適用例拡大が期待される。

謝辞：本装置については国土交通省平成24～26年建設技術研究開発助成制度採択課題「On Site Visualizationのコンセプトに基づく低コスト・低消費電力型モニタリングシステムの開発」の支援で開発したものである。また、地すべり変位計のデータ提供については奈良県土木部、および日本工営の岡田肇氏に協力いただいた。

参考文献

- 1) Akutagawa, S., Chandra S., Abe, R., Izumi, C. and Takahashi A. : Visualization and management of risk and safety conditions at a metro construction site in Bangalore, *Proceedings for the WTC Congress 2012*, Bangkok, 2012.
- 2) Akutagawa, S. Abe, R. and Izumi, C. and Nomura, M. : On Site Visualization as a new visual scheme for risk and safety management for rock engineering applications, *Proceedings of the 46th US Rock Mechanics Symposium*, Chicago, ARMA 12-456, 2012.
- 3) Akutagawa, S., Nishio, A., Takeya, K., Ishizuka, Y. and Katayama, T. : A new method for visualizing force in ground anchor by using plastic optical fiber and sun light, *Proceedings of the 7th Asian Rock Mechanics Symposium*, Seoul, October 15-19, 2012.
- 4) Akutagawa, S., Komiyama, S., Kunimi, T., Takahashi, A., Izumi, C. and Abe, R. : On-site visualisation of measured information in mining engineering for advanced risk management, *Proceedings of the Ground Support 2013*, pp.645-656, 13-15 May, 2013.
- 5) Nishio, A., Zhang, H., Akutagawa, S., Takeya, K., Ishizuka, Y. and Katayama, T. : Visualisation of deformation or force in rock supporting structures, *Proceedings of the Ground Support 2013*, pp.657-666, 13-15 May, 2013.

DEVELOPMENT OF MECHANICAL DEVICE FOR MONITORING ROCK STRUCTURES AND ITS APPLICATION EXAMPLE

Shinichi AKUTAGAWA, Haihua ZHANG, Akinobu NISHIO, Koji TSUJIMURA,
Hironori KOBAYASHI and Atsushi TAKAHASHI

An example of mechanical device for monitoring and visualizing deformation of rock structure is described in this paper. The device is designed in such a way that it detects displacement of landslide, utilizes sun light effectively to visually identify the landslide displacement from a distance. Because of a pure mechanical design, the device works without electricity and is maintenance-free. It has been found that the device can detect displacement correctly with zero running cost, promising more diverse application examples to follow in wide range of monitoring problems in rock engineering.