

岩盤斜面評価用遠隔非接触振動計測システムの開発

鉄道総合技術研究所 正会員 ○上半 文昭 正会員 村田 修
応用地質(株) 正会員 斎藤 秀樹 岐阜大学 正会員 馬 貴臣

1. はじめに

鉄道沿線の岩盤斜面の崩壊は、列車脱線などの大きな被害を引き起こす可能性があるため、斜面中の不安定岩塊の検出と監視・対策が重要な課題である。近年、地震計を設置して岩塊の振動特性を調べる手法が定量的な安定性評価手法として期待されているが、危険な急崖斜面上での作業が多く、安全・効率面の課題がある。そこで筆者らは、同手法への遠隔非接触振動計測技術の導入を提案し、鉄道総研が開発した構造物診断用非接触振動測定システム「Uドップラー」¹⁾等を活用した岩盤斜面計測システム(図 1)、および、多点/多次元計測による岩盤斜面評価法(図 2)の開発に取り組んでいる²⁾。本報告では、岩盤斜面計測システムを構成する多点/多次元計測システムおよび反射ターゲット形成システムの開発状況と性能検証実験事例を紹介する。

2. Uドップラーを用いた多点/多次元計測システムの開発

Uドップラー¹⁾は、レーザドップラー速度計(LDV)に現場測定用の改良を施したもので、主として数 10m 程度離れた場所からの構造物振動(車両通過時振動、衝撃振動、常時微動等)の測定に用いられている。また、模型実験、現地実験により、不安定岩塊の常時微動測定に活用できることを確認済みである。

図 2 の手順での岩塊の安定性評価を実現するために、図 3 に示す多点/多次元計測システムを開発した。同システムは、新たに試作した無線化ユニット(図 4)を用いて合計 4 台までの Uドップラーセンサ(または従来型微動計)の接続を無線通信化し、基地局で制御して同時計測できるシステムである。通信には無線 LAN を用い、センサと基地局間の通信距離は見通し 100m 超である。A/D 分解能 24bit(有効 19bit)、200Hz サンプリングでセンサ 4 台(計 12ch)の同期計測を実施できる。任意の 3 方向から岩塊の振動を同時計測して得られた各方向成分の波形記録に直交座標変換を施して測定点の 3 次元挙動を推定し、振動の卓越方向等を推定できるソフトウェアも開発した。また、距離・方位測定装置(図 5)を試作し、3 次元挙動推定に必要な 3 次元直交座標系に対するレーザ照射角度の取得機能、および簡易測量による遠方の岩塊のスケール推定機能を Uドップラーに新たに付加した。

3. 再帰反射塗料および遠隔制御式反射ターゲット形成システムの開発

LDV は測定対象からの反射レーザ光を受信して計測を行うため、測定可能距離や精度が測定対象表面のレーザ反射性に左右される。現状では多くの場合、反射シートやプリズムで測定対象の反射性を向上して測定が実施される。高所等への反射ターゲット類の設置が容易でないため、筆者らはより簡単な手法として、再帰反射塗料を棒状治具や空気銃で測定対象に付着させる反射ターゲット形成法を開発してきた¹⁾。再帰反射塗料は、半球部にアルミニウムを蒸着した粒径数 $10\mu\text{m}$ 程度のガラスビーズを含有し、ビーズ表面での屈折とアルミ層での反射により、光を入射方向に強く反射する(図 6(a))。図 6(b)は再帰反射塗料を塗布した試験片に光を照射してマイクロスコープで観察したものである。ビーズに方向性があるため 1 方向の再帰反射に寄与するビーズは 5 割程度となるが、塗料組成の検討により反射シートの JIS 規格 1 級超の反射輝度を有する塗料を開発し、岩盤斜面のような不陸面でも機能することを確認した。

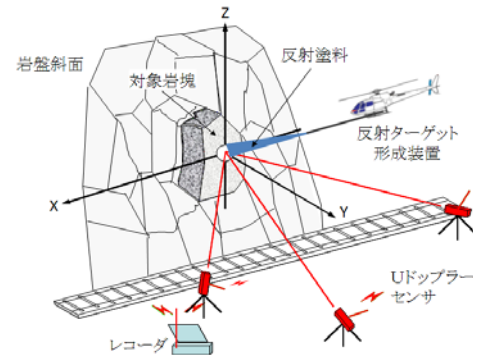


図 1 岩盤斜面の遠隔非接触計測

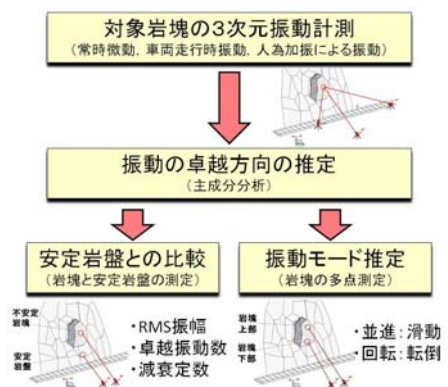


図 2 岩塊の安定性評価手順



図 3 多点/多次元計測システム



図 4 無線化ユニット



図 5 距離・方位測定装置

キーワード： 岩盤斜面、安定性評価、非接触測定、振動測定、LDV、Uドップラー

連絡先： 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部(構造力学) E-mail: uehan@rtri.or.jp

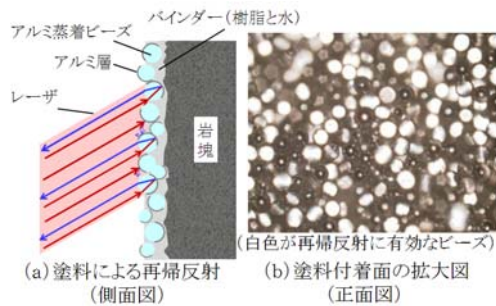


図6 再帰反射塗料



図7 遠隔制御式反射ターゲット形成装置



図8 飛行実験状況

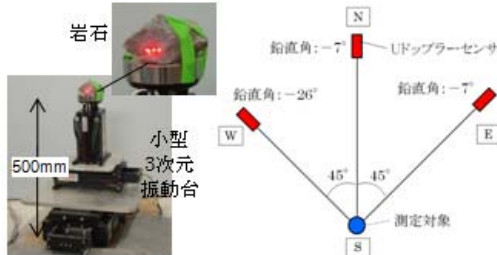


図9 測定対象(左図)とセンサ配置(右図)

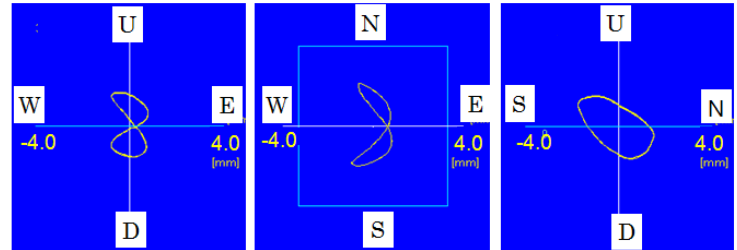


図10 直交座標変換および積分を施した測定結果



図11 測定斜面全景(左図)と不安定岩塊1(右図)

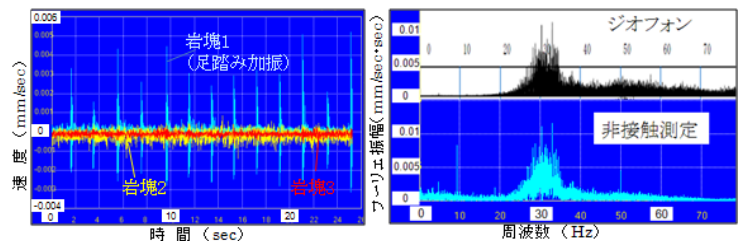


図12 時系列波形(左図)と岩塊1のフーリエスペクトル

遠方の岩塊への確実な反射ターゲット形成を目的として、3軸ジャイロセンサを用いて姿勢制御性能を高めた模型ラジコンヘリコプターに再帰反射塗料の噴射装置と、岩塊の状態確認用のCCDカメラ、斜面への接近警告用の距離計を装備した遠隔制御式反射ターゲット形成装置(図7)を開発した。屋外で動作確認実験を実施し、目視およびCCDカメラと距離計からの無線送信情報を参考にして、水平距離30m、高さ約7mの位置に設置した的に正確に反射塗料を噴射できることを確認した(図8)。

4. 室内実験による3次元計測性能の確認

多点/多次元計測システムを用いて、小型振動台で3次元加振された岩石の非接触計測実験を実施した。再帰反射塗料をスプレーした自然岩石を小型3次元振動台上に設置し(図9左)、EW方向を周波数4.0Hz、振幅 ± 1.0 mm、NS方向を2.0Hz、 ± 1.0 mm、UD方向を2.0Hz、 ± 1.5 mmで正弦波加振し、測定距離5m、サンプリング周波数200Hzの条件で3方向(図9右)から同時計測した。測定結果に直交座標変換と積分を施し、変位軌跡を算出した(図10)。各方向の振幅値が正しく計測されており、また、EW-UD平面、およびEW-NS平面の軌跡が振動数比2:1、NS-UD平面の軌跡が振動数比1:1のリサージュを描くことから、本システムを用いて測定対象の3次元挙動を正しく測定できることを確認した。

5. 現地実験による岩塊振動計測性能の確認

多点/多次元計測システムを用いて、採石場の露出岩盤斜面(図11左)中の3岩塊を対象とした非接触計測実験を実施した。岩塊1(図11右)は背面に明瞭な亀裂が見られ、目視により不安定と判定された岩塊である。測定結果の一例として、岩塊1、岩塊2の近傍で人為加振(1名による足踏み)した場合の、3岩塊の同時測定波形(図12左)、および岩塊1の卓越方向(背面亀裂直角方向)の振動のフーリエスペクトル(図12右)を示す。測定条件は測定距離約10m、サンプリング周波数200Hzであった。非接触測定結果は、岩塊に設置したジオフォンによる同時測定結果とよく一致し、不安定な岩塊1のみに見られる足踏み振動の著しい増幅や、30Hz付近の周波数における明瞭な振動の卓越を本システムによる非接触計測で検出できることを確認した。

6. おわりに

岩盤斜面の安定性評価用の遠隔非接触振動計測システムの開発状況を紹介した。今後は、実岩盤斜面でシステムの計測性能を検証する。また別途、振動特性による岩塊の安定性評価法の研究を実施しており、これらの成果を測定・評価マニュアルにまとめる計画である。なお、本研究は、鉄道・運輸機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」によるものである。

参考文献 1)上半:構造物診断用非接触振動測定システム「Uドップラー」の開発, 鉄道総研報告, Vol.21, No.12, pp.17-22, 2007.
2)上半他:遠隔非接触振動計測による岩盤斜面評価手法に関する基礎的検討, 地盤工学会誌, 58-2 (625), pp.30-33, 2009.