

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

鉄道総合技術研究所
応用地質株式会社

正会員 ○上半 文昭
正会員 斎藤 秀樹

正会員 村田 修
正会員 大塚 康範

1. はじめに

鉄道沿線の岩盤斜面の崩壊は、ひとたび発生すると列車脱線や長期運休などの大きな被害をもたらす可能性があり十分な監視と対策が必要である。しかしながら、多数の岩盤斜面を監視するには膨大なコストを要するうえ、現状の手法では岩盤斜面上の不安定岩塊を効率よく検出することが難しい。従来、不安定岩塊の抽出は地表踏査による目視観察で行われてきたが、近年、写真測量や物理探査などの非破壊検査手法の適用が試みられている。中でも岩塊に地震計を設置して不安定岩塊の振動特性を調べる手法¹⁾は、振動計測で得られた卓越振動数や振幅などを判定指標として定量的に岩塊の崩落危険度を判定できる有望な手法であるが、危険な急崖斜面上での作業量が多い点が課題である。

そこで、振動計測による岩盤斜面評価手法の効率化、安全化を目的として、著者らが研究するレーザを用いた遠隔非接触振動計測技術²⁾の同手法への適用を検討することにした。研究の第一段階として、岩盤斜面の常時微動を遠隔非接触計測できることを確認し、岩盤斜面計測システムのプロトタイプを開発したのでここに報告する。

2. 岩盤斜面の常時微動計測へのUドップラーの適用

Uドップラー(図1)はレーザ光を照射することによって構造物の振動を遠隔非接触計測できるシステムで、レーザドップラ速度計(LDV)に、振動センサ等を内蔵し、LDV自身の揺れと傾きの影響を低減する工夫を施したものである²⁾。この工夫により、Uドップラーは交通振動や風の影響を受けてセンサ自身に振動が発生しやすい屋外環境においても、測定対象に直接振動計を取り付けた場合とほぼ同等の振動データを遠隔非接触で計測できる。

Uドップラーを用いて数十～数百m離れた場所から岩盤斜面の常時微動を測定できるようになれば、不安定岩塊のスクリーニング作業や要注意岩盤の定期的な監視などを容易に実施できるようになると期待される。なお現状ではLDVを用いて岩盤斜面を遠隔非接触計測する場合、反射材を用いて岩盤表面のレーザ反射性を向上する必要がある。著者らは測定対象に反射材を遠隔設置できる装置²⁾の開発にも取り組んでいるが、本報では説明は割愛する。

3. 岩盤計測用地震計との性能比較実験

まず、岩盤斜面の常時微動計測に用いられる地震計(ジオフォン)に代えてUドップラーを用いることができるかどうかを確認するために、岩塊を模擬したコンクリートブロックの常時微動計測実験を実施した。図2の要領でコンクリートブロック上にジオフォンを設置し、その近傍に設けた測定点に約10m離れた場所からレーザを照射して、レーザ照射方向1成分の常時微動を同時測定した。両センサの特性は異なるが、感度補正とフィルタ処理により3～30Hzでほぼ同一特性となるよう調整した。得られた時系列波形を図3に、同波形のフーリエスペクトルを図4に示す。両者がよく一致しており、本実験条件下において、Uドップラーはジオフォンと同レベルの測定性能を有していることが確認できた。



図1 Uドップラー外観

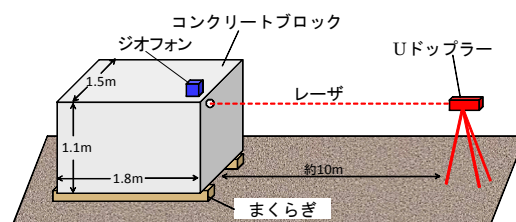


図2 コンクリートブロックの微動測定実験

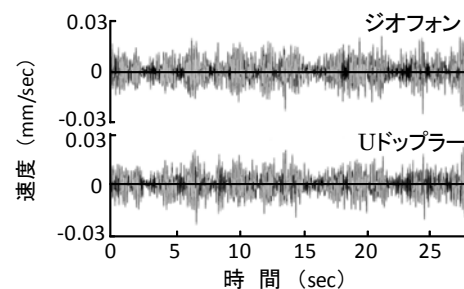


図3 微動の時系列波形の比較(コンクリートブロック)

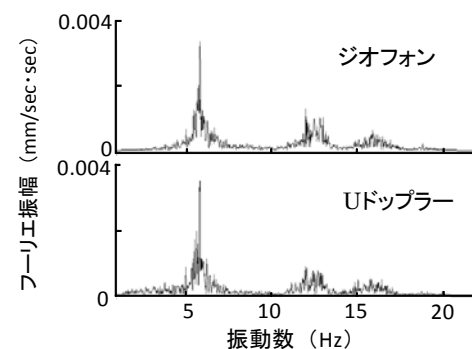


図4 微動のスペクトルの比較(コンクリートブロック)

キーワード： 岩盤斜面、常時微動、Uドップラー、非接触測定、安定性評価

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5 岩盤斜面の現地計測風景



図6 岩塊表面の機器設置状況

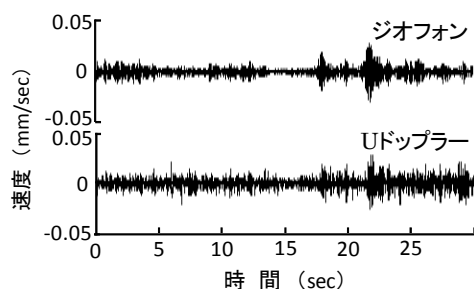


図7 微動の時系列波形の比較(不安定岩塊)

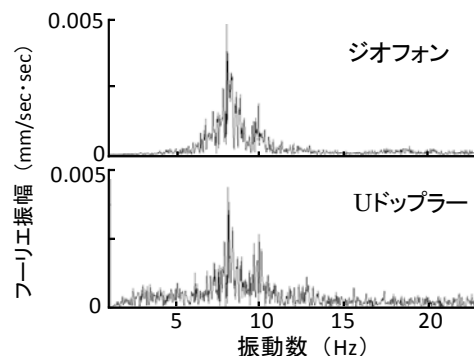


図8 微動のスペクトルの比較(不安定岩塊)

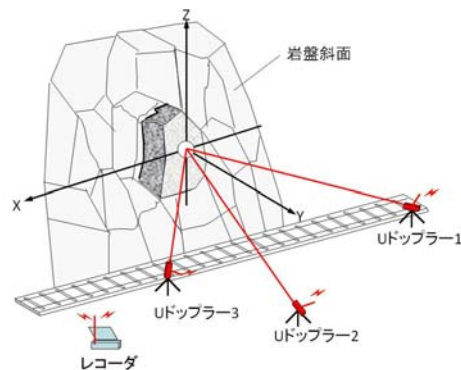


図9 岩盤斜面の3次元計測のイメージ



図10 岩盤斜面計測システムプロトタイプ

4. 不安定岩塊の現地計測実験

目視観察により不安定であることが確認され、除去が予定されている岩塊を対象として常時微動の現地計測実験を実施した。図5に示すように、U Dopplerは岩盤斜面下の道路脇に設置した。U Dopplerと岩塊間の直線距離は約 200m、仰角は 35.3° であった。図6に示すように岩塊表面には、U Dopplerのターゲットとして反射性能と遠方からの視認性が高い光波測量用反射プリズムを設置した。また、ジオフォンを設置して常時微動を同時計測した。U Doppler上部に取り付けたスコープを活用すれば、200m 遠方の直径 5cm 程度のターゲットにもレーザを正確に照射できることが確認された。また、U Dopplerの計測記録から、強風や大型車両の走行などによるとみられるノイズの影響が少ない 30 秒間の波形を選びジオフォンによる同時測定結果と比較したところ両者はよく一致し、U Dopplerを用いて岩塊の卓越振動数(8.1Hz)を推定できることが確認された(図 7, 図 8)。

5. 岩盤斜面計測システムの検討

次に、岩盤斜面計測システムの構成を検討した。岩塊の振動の卓越方向は背面亀裂の方向性などに関係している。そのため、岩塊の崩落危険度をより正確に評価するためには岩塊の挙動を3次元で捉えて振動の卓越方向を推定する必要がある。そこで、岩盤斜面の常時微動を3次元計測できる岩盤斜面計測システムのプロトタイプを開発した(図 9, 図10)。同システムは、無線接続した3台のU Dopplerセンサを基地局で制御して常時微動を同時計測できるシステムである。様々な方向から岩盤斜面の常時微動を同時計測し、得られた各方向成分の波形記録にベクトル演算を施して測定点の3次元挙動を推定する。図 11に示すように、センサと基地局の距離を変化させて通信状態を調査したところ、見通し距離 100m 以内では通信の途絶や速度低下が発生せず、距離 200m でも十分に通信・計測を実施できることが確認された。

6. おわりに

遠隔非接触振動計測による岩盤斜面評価手法の基礎的な検討として、岩盤斜面の常時微動の遠隔非接触計測が可能であることを示し、岩盤斜面計測システムのプロトタイプを試作した。今後は、①同プロトタイプを用いた不安定岩塊の振動特性データの収集、②振動計測結果に基づく岩塊の力学的安定性評価手法の検討、③岩盤表面への反射ターゲットの遠隔設置装置の開発などに取り組む計画である。

参考文献

- 緒方他: 振動特性を利用した落石危険度の判定, 土木学会論文集, 749 巻, 6-61, pp.123-135, 2003.
- 上半: 構造物診断用非接触振動測定システム「U Doppler」の開発, 鉄道総研報告, Vol.21, No.12, pp.17-22, 2007.

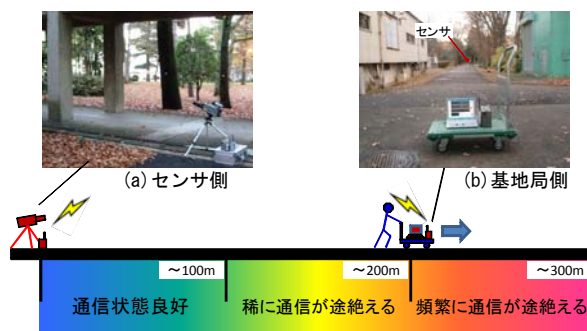


図 11 プロトタイプシステムの無線通信試験