

遠隔非接触測定による岩塊安定性評価システムの開発

鉄道総合技術研究所 正会員 上半 文昭
 鉄道総合技術研究所 正会員 箕浦慎太郎

1. はじめに

これまで、鉄道の落石被害の予防を目的として、沿線の不安定な岩盤ブロックを遠隔非接触測定で検出する手法の研究に取り組んできた¹⁾³⁾。非接触振動測定技術、岩塊形状の空撮技術、振動・形状データを用いた安定性評価手法を検討し、この度、遠隔非接触測定による岩塊安定性評価システムとして取りまとめた。図1に本システムによる岩塊安定性評価の流れを示す。岩塊の安定性評価は、非接触振動測定で得た岩塊の卓越周波数を、事前に作成した転倒安全率ノモグラムに照合する簡易手法、ならびに、空撮による岩塊形状データから作成した FEM 解析モデルを用いた数値解析結果に照合して平時・地震時の安定性を評価する詳細手法を提案した。本報では、システムを構成する計測装置および安定性評価手法の概要を紹介する。

2. 岩塊振動および形状の遠隔非接触計測システム

岩塊振動の非接触計測システムとして、図2に示すスキャニング機能を有する赤外 LDV による非接触振動計測システムを開発した。同システムは、赤外 LDV に自己振動の補正機能を付加して水平鉛直回転台に搭載したもので、岩盤斜面上に反射ターゲットを設けることなく、多点を連続視準して常時微動レベルの振動データを収集することができる。また、常時微動によって動的特性の把握が困難である場合に岩塊を遠隔加振する装置として、高い指向性をもつ音波を発生することができる長距離音響発生装置(LRAD)を適用した。

斜面下方からの視認・測量が難しい岩塊の外観情報を簡易に把握するために、図3に示す空撮測量システム²⁾を開発した。同システムは、小型のラジコンヘリコプタ(ドローン)に防振化したステレオビデオカメラを搭載したもので、撮影したステレオ画像の相関から岩塊形状を3次元点群として取得できる。得られた点群データを重ね合わせて撮影方向による死角のない形状データを作成するとともに、得られた形状データから岩塊の FEM 解析モデルを作成するプログラムも開発した²⁾。

3. 非接触振動計測システムの性能検証実験

非接触振動計測システムによる模擬岩塊の測定実験結果例を示す。模擬岩塊は安定した台座の上に石膏ブロックを打設し、その底面および背面に切り込みを入れて岩塊の背面亀裂を模擬した模型である。模擬岩塊のサイズは横 260×高さ 350×奥行き 160mm、質量は約 28kg であり、背面の切り込み量を増加させて台座と模擬岩塊との接着長を減少させることにより模擬岩塊の安定性ならびに卓越周波数を変化させることができる。

図4に赤外 LDV の性能検証実験方法とその結果を示す。この実験では、台座を軽打して起こした模擬岩塊の衝撃振動を、赤外 LDV と従来用いていた赤色 LDV である Uドップラー¹⁾で同時測定し、卓越周波数の推定結果を比較した。赤外 LDV は測定距離 30m かつノンターゲットで、Uドップラーは測定距離 10m で塗料による反射ターゲットを用いて測定を実施した。結果として、両者の卓越周波数推定値が一致することが確認できた。

図5に音響加振装置の性能検証実験方法とその結果を示す。この実験では、模擬岩塊から約 5m 離れた位置に LRAD を設置し、音圧レベル 110~120dB 程度、周波数 100Hz~170Hz(10Hz 刻み)の正弦波音を照射して模擬岩塊の振動を測定した。事

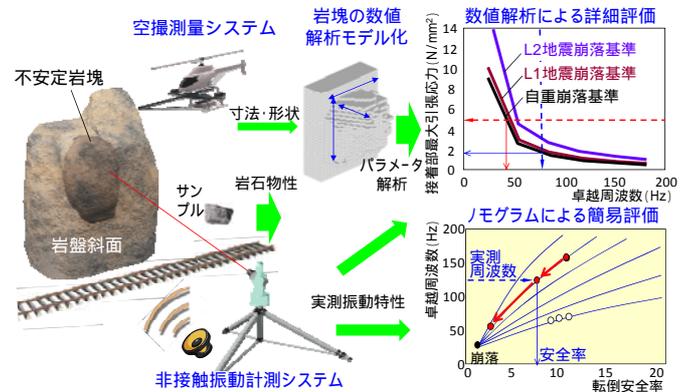


図1 遠隔非接触測定による安定性評価の流れ

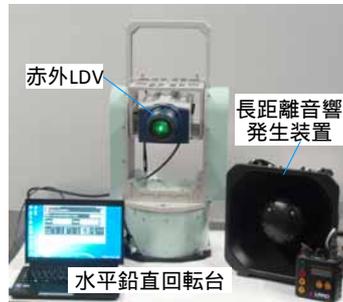


図2 非接触振動計測システム



図3 空撮測量システム

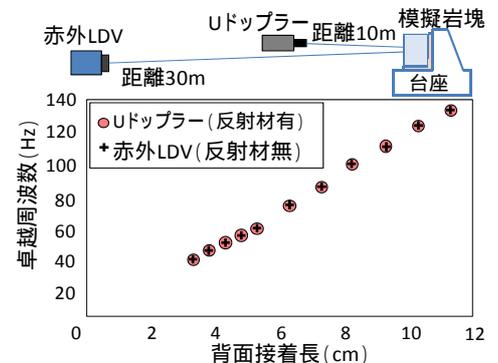


図4 赤外 LDV の性能検証実験方法と結果

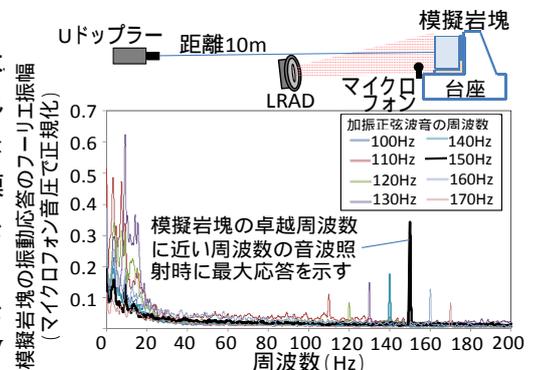


図5 音響加振装置の性能検証実験方法と結果

キーワード: 岩盤斜面、安定性評価、卓越周波数、LDV、ステレオカメラ、転倒安全率

連絡先: 〒185-8540 東京都分寺市光町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.fumiaki.41@rtri.or.jp

前に台座打撃による衝撃振動から推定した模擬岩塊の卓越周波数は 149Hz であり、常時微動測定では同周波数を検出できなかった。結果として、正弦波音照射による模擬岩塊の振動応答を近傍の音圧で正規化すると、模擬岩塊の卓越周波数とに近い 150Hz の正弦波音照射時に応答が顕著となり、音響による遠隔加振で模擬岩塊の卓越振動を励起できることが確認できた。

4. 空撮測量システムの性能検証実験

空撮測量システムの飛行・撮影性能、形状データ取得性能の検証を目的として、岩塊模型ならびに実岩盤斜面の空撮実験を実施した。図6は岩塊模型の空撮実験状況であり、直径約 1m の岩塊模型の周囲を距離約 5m で旋回してステレオ画像を撮影した。図7に撮影画像から作成した岩塊模型の形状データを示す。日射状況により表面に陰影が生じる屋外環境においても黒つぶれや白とびのない画像を取得して形状データを作成することができ、データの重ね合わせにより模型の全周囲形状を mm 単位の誤差で取得できることが確認できた。図8に実岩盤斜面の空撮状況を、図9に岩盤斜面の形状データを示す。強風を伴う環境下でも安定して飛行し、対象岩塊に接近して撮影・形状データ収集を実施できることが確認できた。

5. 岩塊安定性の評価手法

図10に示す岩塊の安定性の簡易評価および詳細評価を行った。非接触振動測定による岩塊の卓越周波数は 69.8Hz、岩石の材料物性値は比重 2.5、弾性係数 $3.2 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、引張強度 4.1N/mm^2 の値を用いた。

図11に簡易評価用のノモグラムを示す。このノモグラムは、岩塊の卓越周波数と転倒安全率³⁾(岩石の引張強度を岩塊と基盤岩の接着部に生じる最大引張応力で除したものと卓越周波数の関係を示したものであり、簡易な計算で対象岩塊の物性値に応じて作成できる。対象岩塊の縦横比は目視で概算すると 1.0~1.5 程度(形状データによれば 1.3)であり、転倒安全率は 1.5~1.9 程度(形状データが使用できる場合 1.7)と推定できる。

図12は空撮による岩塊形状から FEM 解析モデルを作成して基盤岩との接着面積と作用荷重によるパラメータ解析を実施し、岩塊の卓越周波数と接着部に生じる最大引張応力の関係を求めたものである。転倒安全率は平時(自重のみ) 1.95、地震(L2SpecII_G0)時に 1.11 と推定できる。

6. おわりに

今後は、本システムの現場適用を推進するとともに、開発した計測技術を橋りょう等鉄道構造物の検査技術の高度化に応用する計画である。なお、本研究は、国土交通省・鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

文献：1) 上半他：非接触振動計測による岩塊崩落危険度の定量評価手法の検討、鉄道総研報告、Vol.26、No.8、pp.47-52、2012、2) 上半他：空撮画像による岩塊形状の取得および数値解析モデル化の検討、鉄道総研報告、Vol.28、No.12、pp.47-52、2014、3) 箕浦他：崩落危険度評価を目的とした岩塊転倒安全率に関する一考察、J-RAIL2013、Vol.20、pp.131-134、2013



図6 岩塊模型の空撮実験状況

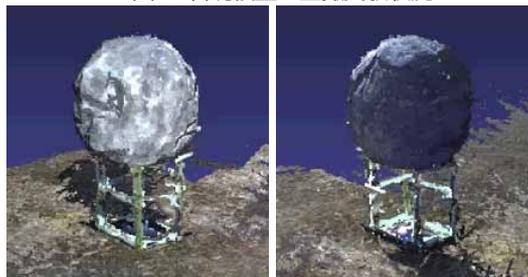


図7 岩塊模型の形状データ(左:日射側、右:日陰側)



図8 実岩盤斜面の空撮状況

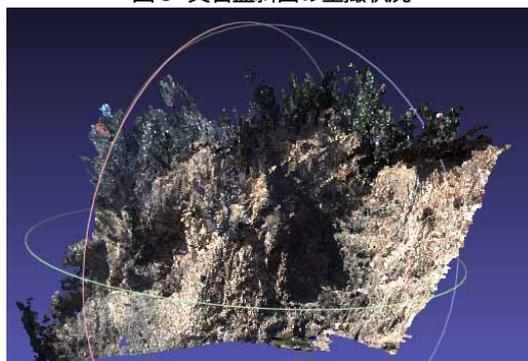


図9 実岩盤斜面の形状データ



図10 評価対象岩塊

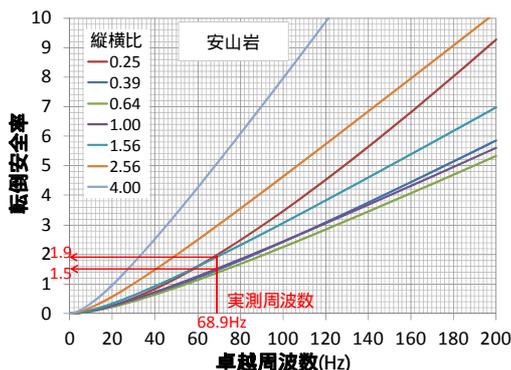


図11 簡易評価用ノモグラムと評価例

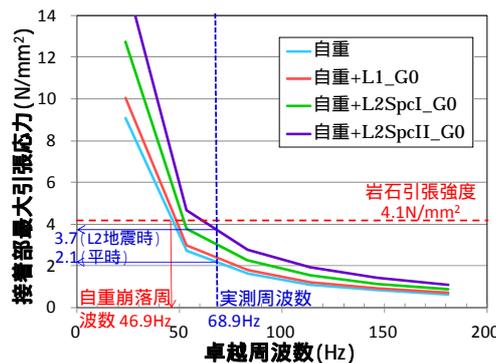


図12 詳細評価用数値解析結果と評価例