不安定岩塊の形状取得と数値解析モデル化手法の検討

鉄道総合技術研究所 正会員 〇上半 文昭 鉄道総合技術研究所 正会員 箕浦慎太郎

1. はじめに

筆者らは、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 を遠隔非接触計測で検出する手法の開発に取り組んでいる¹⁾。同手法は、常時 微動などの非接触測定により得られた振動特性、主として卓越周波数に基づい て岩塊の崩落危険度の推定を試みるものであり、推定精度を向上するためには 岩塊の規模や形状、ならびに支持状態に関わる情報の活用が望まれる。

そこでまず、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 握することができる空撮測量システムを開発した。同システムは、ラジコン模型へ リコプターに防振化したステレオビデオカメラを搭載したもので、撮影画像の相関 から岩塊形状を3次元点群として取得する。次に、3次元点群から対象岩塊の3 次元 FEM 解析モデルを効果的に生成する岩塊形状の数値解析モデル化プロ グラムを開発し、岩塊の支持状態を考慮した詳細な評価を行う手法を提案した。

本報では、まず、開発したシステムとプログラムについて説明し、模型実験による手法の検証結果ならびに実岩塊の評価事例を紹介する。

2. 空撮測量システム

図1の空撮装置は、操縦の安定化・自動化を図った全長1.6mの模型へリに IMUを付加したステレオビデオカメラを搭載したもので、図2の要領で評価対象 岩塊を多方向から撮影する。図3に示すように画像相関法により複数の点群デー タを作成するとともに、各点群データの輝度情報などを考慮してアフィン変換によ り座標変換して重ね合わせる。その結果、図4に示す撮影時の死角によるデータ 抜けや撮影奥行き方向の測量誤差が少ない3次元点群データが得られる。現状 の測量性能は、撮影距離5m以下で数mm、撮影距離10mで誤差10~20mm であり、長径0.5~5m程度の岩塊の形状取得に十分な精度を有している。

3. 岩塊形状の数値解析モデル化プログラム

岩盤斜面の点群データから、評価対象岩塊の数値解析モデルを作成するプロ グラムを開発した。図4の点群データを用いてモデル化の流れを説明する。点群 データに対して、まず、立方体要素を用いた形状近似およびノイズ除去手法(図 5)を適用して岩盤斜面の概略形状モデルを作成する。次に、対象岩塊周辺部を 切り出し、岩盤斜面の形状や傾斜を参考にして解析対象とする岩塊を直方体の フレームで切り出す(図 6)。最後に、岩塊を支持する基盤部と接着部を設定し、3 次元 FEM 解析モデルを作成する(図 7)。現状、岩塊と基盤岩との接着部は、直 方体による各切り出し平面(最大 5 面)に設定することができ、接着位置や接着面 積のパラメータスタディーにより岩塊の支持状態を推定することができる。

4. 模型実験による手法の検証

実験模型を対象として数値解析モデル化および卓越周波数の解析を実施した。 図8に実験模型を示す。実験では、石膏ブロックの背面に設けた接着部を徐々 に切断し、固有周波数の低下を検出した。初期の接着部のサイズは縦11.3mm ×横5.3mmで縦方向の接着長を徐々に短くした。図9に石膏ブロックの3次元 点群を1辺10mmの立方体要素で近似して作成したモデルを示す。モデル(a) は正確な3次元点群で作成したモデルである。一方、モデル(b)は撮影方法が不 十分な画像群による誤差とノイズの多い3次元点群で作成したモデルであり、得 られた FEM 解析モデルの表面に凹凸が生じ、質量が約9%増加した。

図 10 にブロックの接着長と卓越周波数の関係の実験および解析結果を示す。 モデル(a)については基盤部と接着部を設定し、室内試験による石膏の材料物性 値(比重1.89、弾性係数1.09×10⁴N/mm²)を与えて3次元 FEM 解析を行った。 モデル(b)は、モデル(a)の結果を参考に質量増加を考慮して概算した。各結果 の差は小さく、提案手法による形状のモデル化および卓越周波数の解析が可能 であると考えられる。

5. 実岩塊の平時および地震時の崩落危険度評価事例

図7に示した実岩塊の3次元 FEM 解析モデルを用いて、対象岩塊の平時



図3 点群データの作成・重ね合わせ



図4 重ね合わせ後の点群データ

ノイズ判定される座標点



キーワード:岩盤斜面、斜面安定性、卓越周波数、ステレオカメラ、画像相関法、3次元 FEM

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

および地震時の崩落危険度評価を行った。図 11 に基盤部と接着部の設定を示す。岩塊背面の基盤岩との接着部が上部から 徐々に浸食されて減少し、崩落危険度が増加する状況を仮定した。岩塊の材料物性値は岩種(安山岩)を考慮し、比重 2.50、 弾性係数 3.2×10⁴N/mm²、ポアソン比 0.3、引張強度 4.1 N/mm² とした。

図 12 に接着部の応力分布の解析結果例を示す。接着部の上部およびその端部で引張応力が高まっている。図 13 および 図 14 は同モデルの卓越周波数と背面下部の接着長および接着部の最大引張応力の解析結果であり、これらに別途測定した 対象岩塊の実測卓越周波数(68.9Hz)を照合することにより、対象岩塊の現状の背面接着長(101mm)と接着部に発生し ている引張応力(2.13N/mm²)を推定した。

次に、実岩塊モデルの平時および地震時の崩落危険度を FEM 解析によって調べた。平時は自重のみを作用させた静的解析、 地震時は自重と地震動を作用させた動的解析を行い、接着部の引張応力が岩石の引張強度(4.10N/mm²)を上回った際に、崩落 が生じると仮定した。入力地震波として図 15 に示す 3 種の設計地震動 ²⁰を用い、解析モデルを背面直交方向に加振した。

図 15 に接着長 40mm 刻みで設定した各解析モデルの解析結果の線形補間により推定した実岩塊の崩落卓越周波数、崩落接着長を示す。これらの結果から、対象岩塊は、現状では平時の崩落の危険はないが、卓越周波数が 60Hz 程度まで低下するとL2 地震動による崩落の危険があり、50Hz 以下まで低下した場合には、背面接着部の接着長が現状より約 30mm 減少しておりL1 地震動および自重による崩落の危険性が高まった状態にあると評価することができる。

6. おわりに

今後は,現場で簡易に崩落危険度評価を行うための簡易解析モデルの開発を行う。なお,本研究は,国土交通省技術開発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、2012.8、2)国土交通省鉄道局監修:鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)、丸善、2012.9

