

固有振動数と変位計測による 切羽安全検査技術の開発に関する研究

長崎大学大学院
長崎大学大学院

学生会員 〇劉 野
フェロー会員 蔣 宇静

長崎大学大学院
長崎大学大学院

学生会員 高 陽
正会員 李 博

1. はじめに

トンネル工事中の切羽の崩壊は、ひとたび発生すると大きな被害をもたらす可能性があるため、不安定な岩塊を検出して監視、対策を施す必要がある。岩盤の安定性評価は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るようになった。岩塊に地震計を設置して、固有振動数や変位による振動特性から、岩塊の安定性を評価する技術が実用化されている。しかし、この手法は、(1)計測に危険を伴い、手間もかかり、費用も高額となること、(2)振動特性の変化と岩塊の不安定化の間に定量的な関係が見出されていないことで、まだ十分に効果的な方法とはなっていない。そこで、トンネル切羽の安定性評価を安全かつ効率的に行うことを目的として、遠隔非接触振動計測による評価法の開発を行っている。

本研究では、レーザートップラ振動計による遠隔非接触計測によって、振動特性と切羽における岩塊の不安定さとの間の関係を見出すために、岩塊の振動特性を求める模型実験を実施した。本報はその結果を述べる。

2. 実験概要

2.1 非接触振動測定システム「U ドップラー」

U ドップラー(図-1)はレーザ照射によって構造物の振動を遠隔非接触で計測できるシステムである。レーザドップラー速度計(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り、地盤振動や風の影響でセンサ自身が揺れ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することができる。本装置は 30m まで測定できる。計測時間は1分間で、計測回数が各3回である。U ドップラー振動計の応答周波数範囲は DC~600Hz で、測定速度範囲は $0.2\mu\text{m/s}\sim 20\text{mm/s}$ である。



図-1 U ドップラーの外観

2.2 実験方法

トンネル施工において、切羽の掘削作業を行うと、切羽には様々な不安定な岩塊を出現する可能性があり、岩塊間の亀裂角度と摩擦力によって、岩塊が滑落する可能性もある。本実験は岩塊間の亀裂角度と摩擦力を模擬するために作製した。実験で使った供試体は、石膏と水と遅延剤(フローリック)を重量比に 1:0.2:0.015 の割合で配合し、実際の岩塊を模擬するように作製した。供試体を斜面上に載せて、供試体と斜面の間に数種の異なる粗さの紙やすりを敷設した。紙やすりの粗さの度合いが変わることによって、様々な岩盤間の亀裂の振動特性を再現できる。また、斜面の傾き角度を調整することによって、岩盤の安定性を変化させる。本実験のケースは供試体と斜面の間に紙やすりを敷設しないケース(ケース 1)と #320(ケース 2)、#180(ケース 3)、#120(ケース 4)、#80(ケース 5)、#40(ケース 6)の紙やすりを敷設した 6 つのケースを設定した。紙やすりの粗さの度合いが増大するほど、供試体と斜面間の摩擦力が増大することから、供試体が滑るまで斜面の傾きが大きくなっていく。

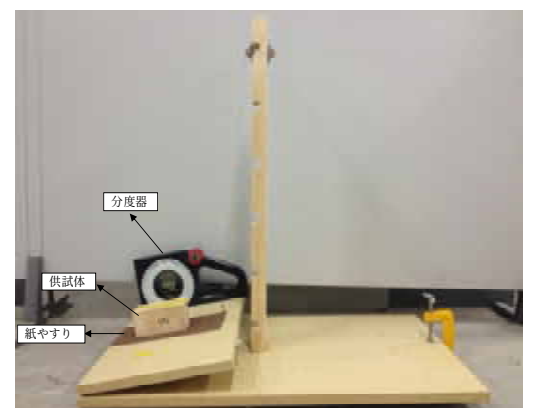


図-2 実験装置図

振動計測の手順としては、供試体から離れてレーザードップラー振動計を一台設置し、供試体の中心点に反射シールを貼ってレーザの反射ターゲットの微振動を計測し、得られた計測結果から、それぞれにフーリエスペクトルを算出する。

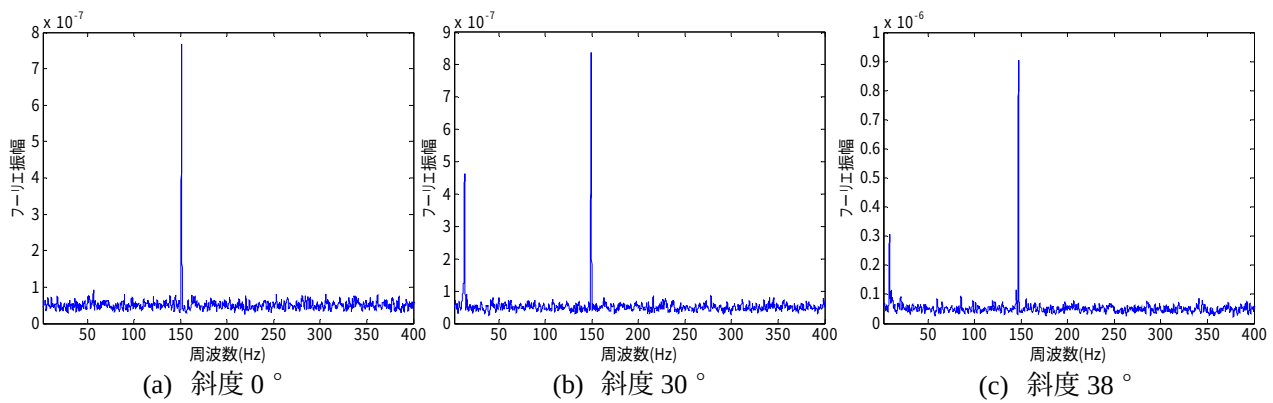


図-3 フーリエスペクトル(ケース 4)

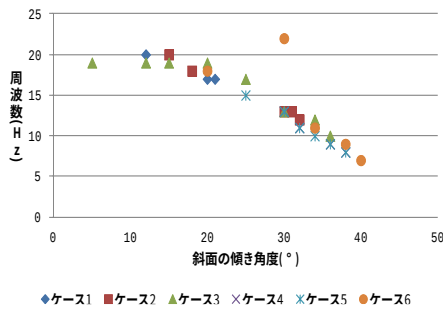


図-4 低周波数と斜面角度の関係

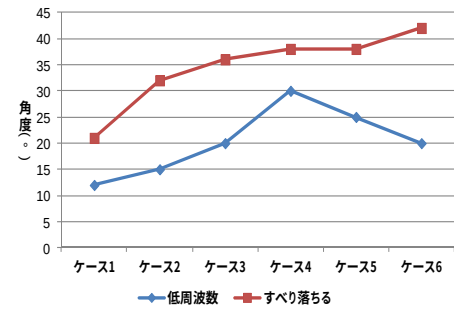


図-5 発見低周波数の角度と滑り動く角度

3. 実験結果と考察

図-3 に示したのは LDV で計測したフーリエスペクトルの例(ケース)4 である。横軸は周波数であり、縦軸はフーリエ振幅である。各ケースの周波数に着目して、計測結果を比較すると、図-3(a) に示すように、傾き 0° 供試体が安定した時の初期段階で周波数が 150Hz 付近で卓越しているのが確認できる。斜面の傾き角度が徐々に大きくなり、 30° となる時、図-3(b) から見ると、150Hz ぐらゐの卓越周波数が確認でき、20Hz 付近の低周波数も現れている。また傾き角度が増大し続けると、斜面の傾きが 38° に到達すると、供試体は滑り動き出して、フーリエスペクトルが図-3(c) のようになる。他のケースも同じ傾向が見られる。得られた結果から考察すると、斜面の傾き角度が小さい時、卓越周波数は主に 150Hz 付近である。これは、微小振動を計測して雑振動などがあるので、U ドップラー装置の誤差と考えられる。または U ドップラー装置自身の周波数とも推測できる。傾き角度を徐々に増大していくと、低周波振動も現れ、周波数は主に 5Hz~20Hz に集中する。

各ケースの異なる傾き角度に現れた低周波数をもとに、図-4 を作成した。図-4 からは、各ケースの傾き角度が大きくなるほど、低周波振動の周波数が次第に減っていくことが確認できた。また図-5 に示すように、各ケースの低周波数が現れる斜面角度と供試体が滑り落ちる斜面角度の関係から、ケース 1 からケース 6 まで、紙やすりの粗さの度合いが増加することにつれて、滑り動く角度も徐々に大きくなり、低周波数が出現する角度も大きくなる傾向が確認できる。

4. おわりに

本研究では、レーザートップラ振動計による遠隔非接触計測によって、振動特性と岩塊の不安定さとの間の定量的な関係について検討した。得られた知見を以下に示す。

(1)傾き角度を増大するにしたがって、一定の角度になると、低周波振動も現れ、周波数は主に 5Hz~20Hz に集中する。

(2)傾き角度が大きくなるにしたがって、低周波振動が次第に減っていく。

(3)紙やすりの粗さの度合いが増加することによって、滑り始める角度も次第に大きくなり、低周波数が出現する角度も大きくなる傾向がある。

上記の結果を岩盤の工学的安定性と比較すると、岩盤の周波数とその安定性との間に相関関係があることが確認できた。低周波振動を検知した時は、岩盤の滑落タイミングを予測することができると考えている。

【参考文献】

(1) 上半文昭：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。