

# 振動測定による岩盤斜面の脆弱性評価に関する研究

愛媛大学 学生会員 ○佐古昇大  
愛媛大学 フェロー 森伸一郎

## 1. はじめに

山岳地の多い日本では、道路が急傾斜の岩盤斜面に隣接することが多い。岩盤斜面の脆弱性を定量的に評価するため、風化が進展すると岩盤斜面の剛性が低下し、それに因り固有振動数が低下し、振幅が増幅するとの仮説を立てた。この仮説によれば、振動測定により固有振動数を特定できれば岩盤斜面の脆弱性評価が可能となる。本論文では、振動源に走行車両を利用し、その振動の増幅特性に着目し、実際の道路斜面で振動測定による斜面の脆弱性評価の可能性を検討した。振動の増幅特性を、時間領域と振動数領域の両面から着目した結果を述べる。

## 2. 調査対象とする斜面と測定方法

調査対象は愛媛県南予地方の海岸線近くを通る主要道路沿いの急傾斜の岩盤道路斜面であり、仏像構造線近傍の石灰岩、チャート、砂岩、泥岩よりなり、チャートが露出する急崖斜面である。図-1 に対象斜面の地形と A から F までの振動測定の測線を示す。南側が海に面している。測定の結果、本調査地の微動レベルは低く対象測定点の全てに微動を利用することは困難であることがわかった。そこで、2018 年に振動源として車両走行実験（4 月）を行った。使用した地震計は、固有振動数が 2Hz の 3 成分動コイル型速度計（KVS-300、近計システム製）で、データロガー（EDR-X7000、同社）は電池駆動である。測定時には地震計に風除けをかぶせ、NS 成分が斜面直交方向、EW 成分が斜面平行方向に設置した。測定は設置から撤収まで連続測定で、サンプリング振動数は 250Hz である。この地震計はモニターできないので、モニターと測定のため固有振動数が 4.5Hz の 3 成分動コイル型速度計（GEODAQS、ANET 製）を併せて使用した。

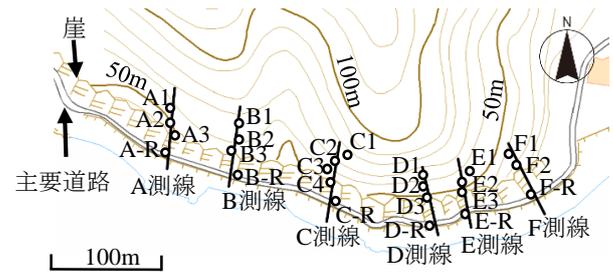
斜面上の測点の標高は、F 測線では 30~40m であるが、A~E 測線では 50~80m である。各測線で斜面下方の道路面にも測点（R）を設けた。車両走行振動測定では、総重量 6.7t の測定用トラックを A から F までの区間を挟むように斜面下方の道路面を 30km/h で往復走行させ、発生・伝播した振動を斜面上方と下方道路面の 2 点で測定し、各測線を移動して測定した。再現性の確認のため、好データが各測線で最低 3 組得られるまで実施した。さらに、斜面の地質が不連続であることを考慮すると、トラックの進行方向により振動の伝播の仕方に差異が生じると考えた。よって、西行きと東行きの走行実験データを独立して捉えることとした。

## 3. 振動の解析方法

測定記録から速度時刻歴波形を描き、それをフーリエ解析しフーリエスペクトルを求めた。ここでは斜面 E3 地点のデータを例示する。図-2 に車両走行による振動の速度時刻歴波形を示す。トラックが斜面下側を通過した時刻を含む 16.384 秒間（4096 個のデータ）の 1 セグメントをフーリエ解析の対象とした。図-3 に車両走行振動のフーリエスペクトルを示す。同図より、19 Hz に卓越が見られた。車両走行時の振動は斜面表層の風化層での増幅を反映したものと考えて、以降の分析・評価を実施する。

## 4. 速度時刻歴波形による評価

各測点で測定した車両走行振動の速度時刻歴波形から最大速度と最小速度を読み取り、その絶対値を最大振幅



地理院地図 <http://maps.gsi.go.jp/>

図-1 調査地の斜面と振動測定位置図

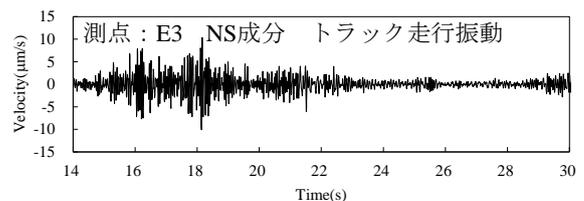


図-2 車両走行振動の速度時刻歴波形

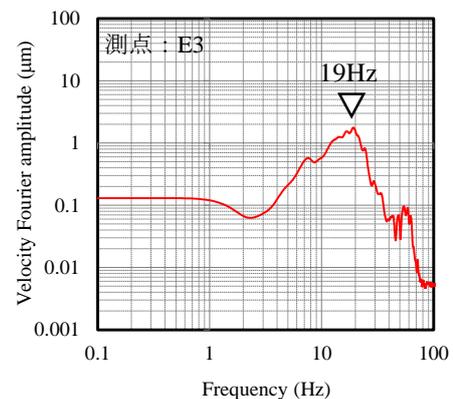


図-3 車両走行振動のフーリエスペクトル

として比較する。最大振幅が大きいほど揺れやすく、風化が進展していると推測できる。図-4に各測点の車両走行振動（斜面直交方向、NS成分）の速度時刻歴での絶対値最大振幅を示す。各測点3回の測定結果を車両の走行方向を区別して示している。図中の□は、3回の測定値の平均である。E3、F2で最大振幅が大きく、A3、B3、C2で小さい。また、C4、D3、E3、F2では他の測点よりも西行きと東行きの差が大きくなる。測点間の比較という観点からは各測点での3回の測定値は同程度であり、一定の再現性が確認できる。

#### 5. フーリエスペクトルによる評価

図-5に各測点の振動のフーリエスペクトル（NS成分）での卓越振動数におけるスペクトル振幅を示す。各測点3回の測定結果を車両の走行方向を区別して示しており、棒グラフの棒の上には卓越振動数を記入している。図中の□は、3回の測定値の平均である。A3の卓越振動数は30~40Hz程度で、他の測点では20Hz前後と安定している。E3、F2で大きく、A3、B3、C2で小さい。また、D3、E3、F2では他の測点よりも西行きと東行きの差が大きくなる。走行方向によって振幅の大きさが違う測点もあるが、測点間の比較という観点からは各測点での3回の測定値は同程度であり、一定の再現性が確認できる。EW成分でも、同様の傾向があった。

#### 6. 速度時刻歴最大振幅とスペクトル振幅の関係

図-6に車両走行振動による速度時刻歴最大振幅（平均値）と卓越振動数におけるスペクトル振幅（平均値）を示す。各測点3回の測定値の平均を用いている。同図より、速度時刻歴最大振幅とスペクトル振幅の両方でE3、F2が大きく、A3、B3、C2で小さい。よって、速度時刻歴とスペクトルの両面で同程度の結果が得られた。固有振動特性の観点から言えば、スペクトル振幅の方が安定していると考えられる。また、E測線とF測線との間で2016年6月に小崩壊が起き、さらに2018年7月の西日本豪雨でも小崩壊が起きた。これらによりE、F測線が脆弱性の高い斜面であるとの評価に整合する事態が2度あったことは、一定の妥当性を提示できたと考えられる。

7. 結論

本研究で以下のことがわかった。

- (1) 隣接する道路を重量車両を走行させて観測される岩盤斜面の車両走行振動は、測点ごとの速度時刻歴最大振幅は安定しており、斜面の測線ごとの比較方法としての再現性がある。
- (2) 測点ごとのフーリエスペクトルは安定した卓越振動数（A3以外）とスペクトル振幅が観測でき、斜面測線で大きく変化し、再現性のある実験方法である。
- (3) 速度時刻歴とスペクトルでの結果から脆弱と評価したF測線とE測線の間で評価の前後で2度の小崩壊があり、評価結果と崩壊事態が整合して、評価法の可能性を提示できた。

謝辞：本研究の一部は、愛媛県の業務で愛媛建設コンサルタントと連携して実施したものであり、調査の実施に協力いただきました。記して謝意を表します。

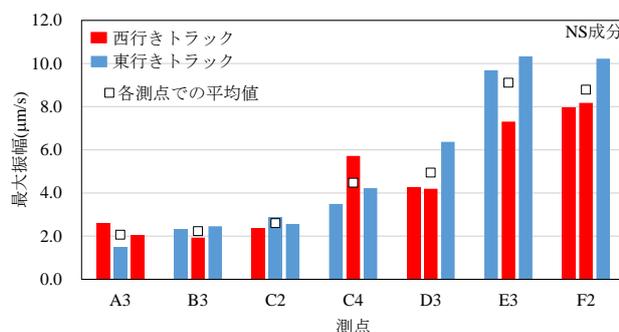


図-4 車両走行振動の速度時刻歴最大振幅

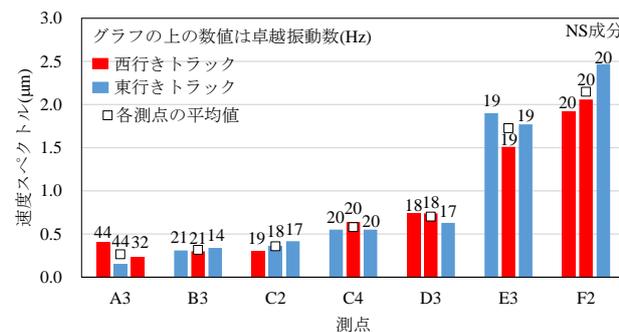


図-5 車両走行振動スペクトルのスペクトル振幅

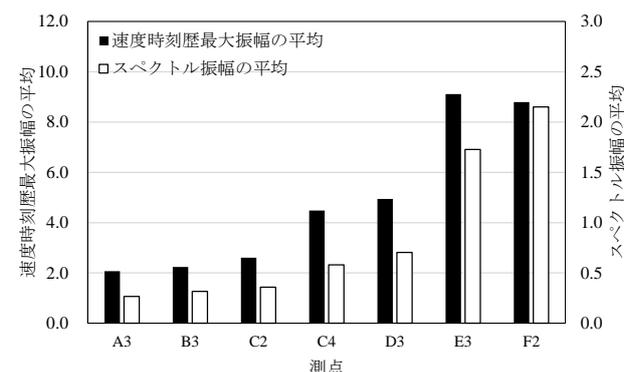


図-6 速度時刻歴最大振幅平均とスペクトル振幅平均