車両走行振動および微小地震による岩盤斜面の脆弱性評価

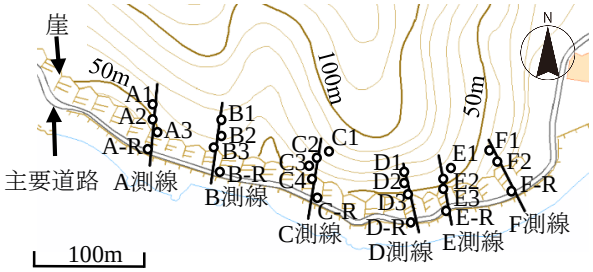
愛媛大学　工学部　　学生会員　○佐古昇大
愛媛大学　大学院理工学研究科　フェロー　　森伸一郎

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，振幅が増幅するとの仮説を立てた．この仮説によれば，振動測定により岩盤斜面の脆弱性評価が可能となる．本論文では，微動，車両走行，微小地震の 3 種の振動の振動特性に着目し，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．振動の振動特性は，時間領域と振動数領域の両面から捉えられるが，本論文では前者に着目した結果を述べる．

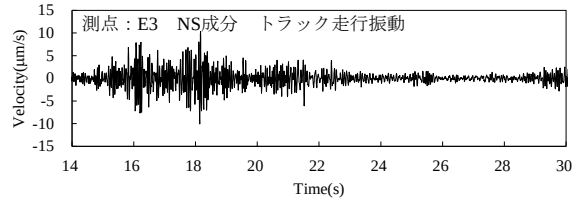
2. 調査対象とする斜面と測定方法

調査対象地域は，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．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．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．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．微小地震観測では 2 台の地震計を用いて 1 台を C2（基準点）に固定し，他の 1 台を比較点として各測線での斜面上方の最も崖寄りの点に設置して 2 点同時地震観測を行った．比較点に設置した地震計は 1 週間程度観測したのち，順次移設した．各比較点での観測期間で記録できた地震数は 5～10 であるが，振幅の大きい順に 3 地震を採用した．

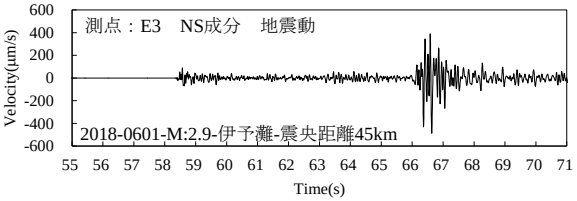


地図は地理院地図　http://maps.gsi.go.jp/

図-1　調査地の斜面と振動測定位置図



(a) 車両走行振動速度時刻歴波形



(b) 地震動速度時刻歴波形

図-2　車両走行振動および地震動の速度時刻歴波形

3. 振動データの抽出方法

測定記録から振動の速度時刻歴波形を描いた．ここでは斜面 E3 地点のデータを例示する．図-2 に(a)車両走行

キーワード　岩盤斜面，振動測定，脆弱性，車両走行，微小地震
連絡先　　〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3　愛媛大学　森伸一郎　email:mori@ehime-u.ac.jp

© Japan Society of Civil Engineers

による振動と(b)地震動（2018 年 6 月 1 日，M2.9，伊予灘，震央距離 45km）の速度時刻歴波形を示す．車両走行振動ではトラックが斜面下側を通過した時刻を含む 16.384 秒間を抽出した．微小地震では，対象地震動の P 波と S 波を含む 16.384 秒間を抽出した．

4. 車両走行振動に基づく評価

図-3 に，各測点の振動（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. 車両走行振動の速度時刻歴波形から絶対値最大速度を読み取り，各測点で比較した. 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. 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．

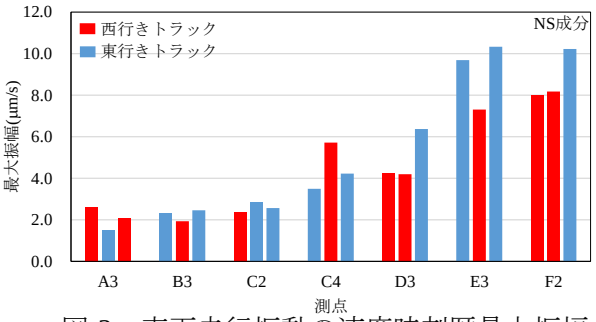


図-3　車両走行振動の速度時刻歴最大振幅

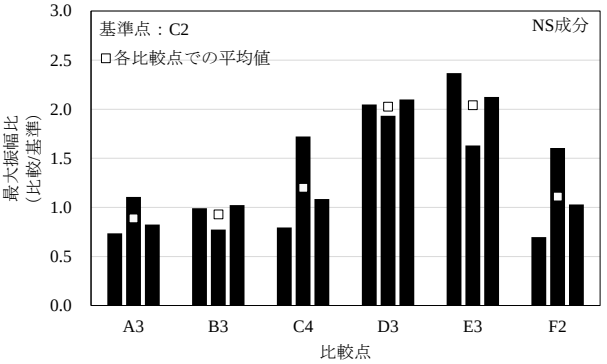


図-4　地震動の速度時刻歴最大振幅比

5. 微小地震に基づく評価

前述のような方法で，微小地震の速度時刻歴波形の S 波における絶対値最大振幅を読み取った. 地震ごとに基準点に対する比較点の最大振幅比を求めて大きさを比較した. 振幅比が大きいほど地盤が揺れやすいと考えることができる．図-4 に，各測点の NS 成分の速度時刻歴最大振幅比（比較点/基準点）の棒グラフを示す（□は 3 地震の平均値）．測点 C4，E3，F2 で地震によるばらつきが大きいが，他の測点では同程度である．ここで平均値を指標とすれば, D3, E3 が大きく A3 が最小となる．

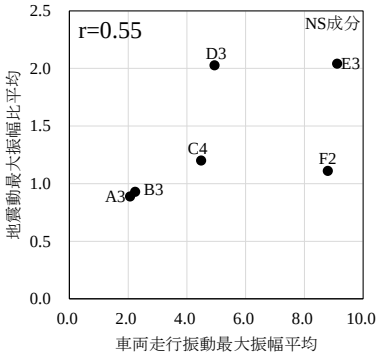


図-5　車両走行振動および地震動の最大振幅の相関

6. 車両走行振動と微小地震による時刻歴最大振幅の相関

図-5 に車両走行振動による速度時刻歴最大振幅と地震動の速度時刻歴最大振幅比（平均値）の相関を示す．相関係数は 0.55 となり，やや相関があると言える．A3 が最小で E3 が最大となり，脆弱性指標として D3，E3 が高く，A3 が最も低いと評価できることになる．本論文では時刻歴最大振幅の結果について示したが，別途実施したスペクトルの増幅率に関する結果もある．地盤の固有振動特性を反映したスペクトルの結果からも，脆弱性指標として D3 と E3 は高かったことから，時刻歴波形とスペクトルの総合的判断より，D3，E3 で相対的に脆弱性が高いと評価できる．D 測線と E 測線との間で 2016 年 6 月に崩壊が発生し，2018 年 7 月の西日本豪雨でも崩壊が起きた．D，E 測線が最も脆弱性の高い斜面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

(1) 岩盤斜面に隣接する道路で重量車両を走行させて観測される車両走行振動は，測点ごとの速度時刻歴波形の最大振幅は安定しており，斜面測線で大きく変化し，再現性のある実験方法である．

(2) 観測された地震動の速度時刻歴最大振幅は，基準点に対する振幅比は比較的安定して評価できた．

(3) 車両走行振動と微小地震を利用した方法で最も脆弱な斜面と評価された D 測線と E 測線の間で評価の前後で 2 度の崩壊があり，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．

© Japan Society of Civil Engineers