

車両走行振動の高振動数成分が卓越する岩盤斜面表層の特性

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

日本の急傾斜の道路斜面は災害が多発するため、点検要領¹⁾に則った防災点検が実施されるが、それらは主に定性的な評価であるため、定量的な評価手法が求められている。森ら²⁾は岩盤斜面の固有振動特性に着目し、振動源に走行車両を用いた車両走行振動測定(Vehicle-running Vibration Measurement : VVM)を実施した。その結果、約 20 Hz と約 50 Hz で 2 つのピークが見られ、これを斜面表層の卓越によると推定した。本論文ではこの斜面において表面波探査(Surface Wave Exploration : SWE)と簡易貫入試験(Dynamic Cone Penetration Test : DCPT)を実施して表層構造を明らかにすることで、これらの高次の卓越振動が岩盤斜面表層の卓越によるという推定メカニズムを検証した。

2. 調査対象斜面および測定・解析方法

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、チャートが露出している。図-1 に調査対象斜面の地形図と振動測定の測線(A~F)における測定点ならびにSWEの測線を示す。VVMは2018年4月に、DCPTおよびSWEは2019年8月に実施した。DCPTはB3, C2, D3, E3の4点で行い、SWEは測点C2を通る斜面平行方向のほぼ平坦な地形に測線を設定した。測点C2はSWE始点から9mに位置する。SWEには多チャンネル地震探査装置McSEIS-SXW(応用地質社製)を用いるとともに、固有振動数4.5 Hzの上下動速度型のジオフォンを使用した。ジオフォン24個を1m間隔で設置し、23mの測線で探査を行った。表面波を励起させる打撃起振は重さ約10 kgのかけやを用い、各受振点の間および両端の25点で起振を行った。解析は、複数の起振点記録から中心位置が同一となるデータについて解析するCMP解析³⁾により位相速度を読み取り、分散曲線を求めた。その後、非線形最小二乗法を用いた逆解析によりS波速度構造を求めた。解析には表面波探査解析ソフト「Seisimager/SW」を使用した。

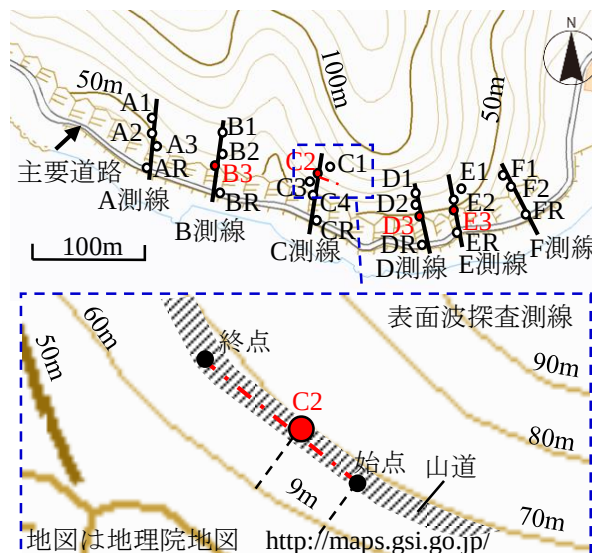


図-1 調査対象斜面の地形図と各調査測定点

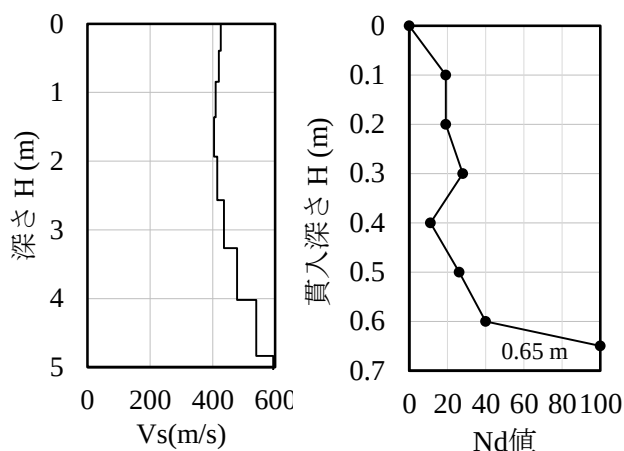


図-2 表面波探査で得られた 測点C2のS波速度構造

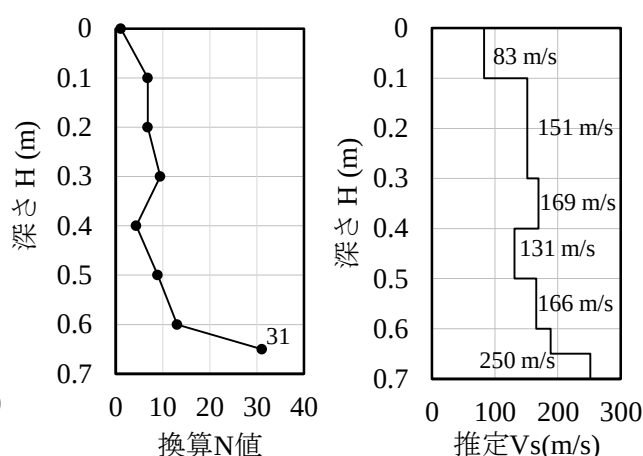


図-3 測点C2の簡易貫入試験の結果

キーワード 岩盤斜面、表層、Vs構造、表面波探査、簡易貫入試験、車両走行振動測定

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

3. 表面波探査 (SWE) および簡易貫入試験 (DCPT) 結果

図-2 に SWE の解析で得られた C2 測点の S 波速度構造を示す。解析の結果、深度 6 m 以深では信頼度が低い。表層の V_s は 400 m/s 程度であった。図-3 に測点 C2 における DCPT の (a) Nd 値の結果と (b) Nd 値を用いた換算 N 値の結果、(c) 推定 S 波速度構造を示す。N 値は換算式⁴⁾ $N=1.1+0.30Nd$ (砂質土) より算出した。また推定 S 波速度構造は経験式⁵⁾ $V_s=80N^{1/3}$ より算出した。(b) より深さ 0.6 m までの換算 N 値は 1.0~13 程度、深さ 0.65 m では 31 であった。(c) より推定 S 波速度構造は深さ 0~0.1 m で 83 m/s、深さ 0.1~0.6 m で 131~189 m/s、深さ 0.65 m では 250 m/s であった。

4. VVM における車両の走行方向ごとの再現性の検討

図-4 に測点 C2 における VVM の速度時刻歴を示す。測定には固有振動数が 2.0 Hz の 3 成分動コイル型の速度計 KVS-300 (近計システム) とデータロガー EDR-X7000 (同社製) を用いた。サンプリング振動数は 250 Hz である。VVM の調査・解析方法の詳細は森・佐古²⁾と同じである。斜面下方道路に総重量 6.7 t の車両を東と西の 2 方向に走行させ、測点 C2 では西行き 2 回、東行き 1 回の計 3 測定を行った。C 測線上の道路面 CR を通過した時刻の前後 10 秒間を示している。斜面の地質構造が不均質であると、走行方向が違っていると再現性が担保できないと考えられる。そのため、走行方向ごとの再現性を速度時刻歴より検討した。図より西行きの速度時刻歴 C2-1 と C2-3 では、車両が CR を通過する数秒前から明瞭な振動が伝わっているのが確認でき、振動伝達の様相が同等だと考えられる。C2 では東行きの測定は 1 回のみであるため、他の A~F の測点でも同様に西行きと東行きの速度時刻歴を確認した。その結果、他の測点でも走行方向ごとに再現性があった。

5. 車両走行振動測定 (VVM) と併せた岩盤斜面表層の速度構造

図-5 に測点 C2 における VVM のフーリエスペクトル (NS 成分) を示す。約 20 Hz と約 50 Hz に 2 つのピークが見られる。図-2 の SWE 結果より C2 の表層の V_s を 400 m/s と仮定し、卓越振動数 f (20 Hz) を 4 分の 1 波長則 $H=V_s/4f$ に当てはめ推定表層厚 H を算出すると、5 m となる。さらに深度 4.8 m で V_s が 600 m/s を上回る層を岩盤層と捉え、SWE および VVM 結果が整合する。また図-3 の DCPT 結果より最表層厚を 0.7 m とし、卓越振動数 f (50 Hz) を 4 分の 1 波長則 $V_s=4Hf$ に当てはめ V_s を算出すると 140 m/s となる。これは DCPT 結果から算出した推定 V_s とおおむね一致する。これらの結果より、50 Hz が最表層 0.7 m の卓越を、20 Hz が深さ 0.7~5.0 m までの卓越を反映し、当該岩盤斜面の表層は風化層と未風化層の 2 層構造であると考えられる。

6. 結論

DCPT および SWE で求めた V_s と VVM のフーリエスペクトルより、岩盤斜面の表層は 50 Hz が深さ 0.7 m の卓越を反映する風化層で、20 Hz が深さ 0.7~5 m の卓越を反映する未風化層であると考えられる。

【参考文献】 1) 国土交通省：点検要領，平成 18 年 9 月 29 日付け事務連絡，参考資料，2006。 2) 森伸一郎，佐古昇大：振動測定による岩盤斜面の脆弱性評価，第 54 回地盤工学研究発表会講演集，p.233-234，2019。 3) 林宏一，鈴木晴彦，斎藤秀樹：人工震源を用いた表面波探査の開発とその土木地質調査への適用例，応用地質技術年報 No.21，p.9-39，2001。 4) 岡田勝也，杉山友康，村石尚，野口達雄：盛土表層部の土質強度に関する異種のサウンディング試験結果の相関性，土と基礎，Vol.40，No.4，pp.11-16，1992。 5) 日本道路協会：道路橋示方書・解説 V 耐震設計編，p.33，2012。

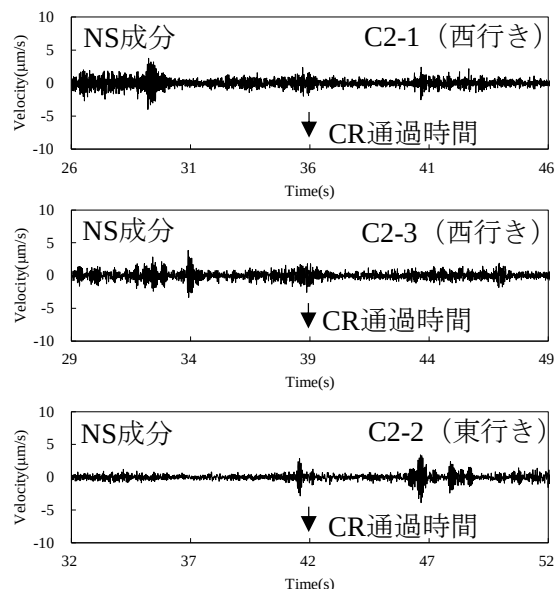


図-4 C2における車両走行振動の速度時刻歴

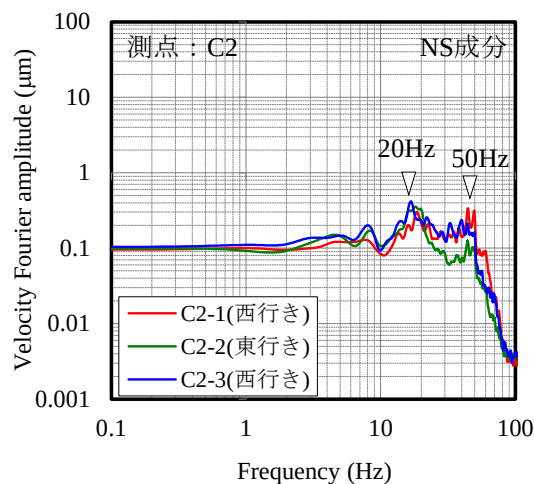


図-5 C2における車両走行振動のフーリエスペクトル