車両走行に起因する高振動数成分が卓越する岩盤斜面の表層の構造

愛媛大学 学生会員 〇佐古 昇大 愛媛大学 フェロー 森 伸一郎

1. はじめに

日本では道路が急傾斜の岩盤斜面に隣接することが多く、点検要領¹⁾に則った防災点検が実施される.しか し、それらは定性的な評価が主であるため、定量的に脆弱性を評価する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.それによると、20 Hz 程度以上の高次で振動数が卓越し、これを斜面表層の卓 越と推測した.本論文では実際の急崖斜面において表面波探査と簡易貫入試験を実施して表層構造を明らかに するとともに、VVM による卓越振動数が岩盤斜面表層の卓越によるという推測の妥当性を示した.

2. 調査対象斜面および測定方法

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に調査対象斜面の地 形図と振動測定(VM)の測線(A~F)における測定点ならびに表面波探査(SWE)の測線を示す.簡易貫入試験 (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.DCPTは質量5kgのハンマーを50cmの高さから自由落下さ せ、先端のコーンを10cm 貫入させるのに要する打撃回数Nd 値を求めた.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、センサーは固有振動数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 1 m 間隔で設置し,23 m 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.

3. 表面波探査(SWE)の解析方法

SWE の解析は、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.求めた分散曲線から低 周波数域のノイズなどを消去し、形状を基本モードに近づ け解析を行った.その後、非線形最小二乗法を用いたイン バージョンにより S 波速度構造を求めた.解析には高精度 表面波探査解析ソフト「Seisimager/SW」を使用した.イ ンバージョンの繰り返し回数は 5 回である.水平方向への ジオフォンの配置長さが 23 m であるので、そのおおよそ 1/2 が探査深度の上限の目安となる.そこで、解析対象深 度を 11 m として分析した.また、層数は 15 に設定した.

4. 表面波探査 (SWE) および簡易貫入試験 (DCPT) 結果

表-1にSWEの解析の結果で得られたS波速度構造を示 す.信頼度が低い結果は灰色で網掛けしている.測線両端 部の深度1.9mまでのVsは250~300m/sで,始点から10 m付近の測線中央付近では400m/sであった.したがって, 探査測線両端部よりも測線中央部付近でVsが高い.また 深度4.8m以深でVsが600m/sを上回る層が現れる.図-2 に,表-1のSWE解析結果よりC2測点のS波速度構造を 示す.C2の表層のVsは400m/s程度である.図-3に測点 C2におけるDCPTの(a)Nd値の結果と(b)換算N値結果 (c)推定S波速度構造を示す.換算N値は岡田ら⁴⁰の式(砂



表-1 表面波探査結果で得られたS波速度構造

		★ 測点C2の位置												
		始点からの距離(m)												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	
深度 (m)		Vs(m/s)												
	0.0	297	338	386	415	425	429	416	399	375	325	270	257	
	0.4	294	327	369	402	420	426	421	405	372	319	267	247	
	0.8	285	317	354	389	409	418	415	399	363	308	255	232	
	1.4	333	351	370	391	405	411	409	396	368	324	280	261	
	1.9	389	397	405	412	415	415	412	404	386	354	319	302	
	2.6	468	466	459	449	436	428	424	421	412	389	359	342	
	3.3	503	501	495	487	478	469	463	460	453	434	406	388	
	4.0	551	550	548	544	539	533	527	521	511	489	458	438	
	4.8	630	629	624	612	594	576	562	553	541	517	483	461	
	5.7	678	676	672	662	649	635	621	605	582	549	509	485	
	6.6	643	643	643	642	641	639	638	634	621	592	550	523	
	7.6	446	419	381	365	388	449	525	586	610	594	556	529	
	8.7	447	421	383	366	390	451	528	589	613	597	559	532	
	9.8	451	424	387	370	394	455	531	592	616	600	562	535	
	13.4	684	684	684	684	684	684	684	684	683	683	683	683	



質土)により算出した.また,推定S波速度構造は道路橋示方書⁵⁾ のN値から Vsを推定する式より算出した.貫入深さは0.65 m であ った. (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 となった. (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 となった.

5. 車両走行振動測定 (VVM) 結果と併せた岩盤斜面表層の速度構造

図-4に2018年に実施した測点C2におけるVVMのフーリエスペ クトル(NS 成分)を示す.3回の測定により得られた結果を示してい る. VVM の調査・解析方法の詳細は森・佐古 いと同じである. フ ーリエスペクトルには 20 Hz 付近と 50 Hz 付近に 2 つの卓越が見ら れる. 図-2のSWE 結果より C2の表層の Vs を 400 m/s と仮定し, VVM の卓越振動数(f)20 Hz を4分の1波長則 H=Vs/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 Vs が



フーリエスペクトル

600 m/s を上回る層を岩盤層と捉えると, 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, VVM の卓越振動数(f)50 Hz を 4 分の 1 波長則 Vs=4Hf に当てはめ Vs 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 Vs とおおむね一致する. これらの結果より, VVM の 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

(1) 表面波探査(SWE)で得られた Vs と車両走行振動測定(VVM)のスペクトルで得られた 20 Hz の卓越振動数を 検証した結果,4分の1波長則で仮に算出した表層厚は5mであり,両者の結果は整合した.

(2) 簡易貫入試験(DCPT)から算出した推定 Vs と車両走行振動(VVM)のスペクトルで得られた 50 Hz の卓越振動 数から4分の1波長則で算出した Vs はおおむね一致した

(3) 車両走行振動(VVM)のフーリエスペクトルは 20 Hz と 50 Hz で卓越し, 岩盤斜面の表層は深さ 0.7 m が 50 Hz の卓越を反映する風化層で、深さ 0.7~5 m が 20 Hz 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: 振動測定による岩燃斜面の脆弱性評価, 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·同解説 V 耐震設計編, p.33, 2012.