

表面波探査と簡易動的貫入試験による岩盤斜面表層の物性評価

岩盤斜面 簡易貫入試験 表面波探査

愛媛大学 学生会員 ○佐古 昇大
 愛媛大学 国際会員 森 伸一郎
 愛媛建設コンサルタント 正会員 増田 信
 愛媛建設コンサルタント 正会員 吉岡 崇

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く、防災などの観点から、その脆弱性を評価する手法が求められている。森・佐古らは岩盤斜面の固有振動特性に着目し、振動測定による定量的な脆弱性評価を行っている。振動測定による評価結果との検証を行うために、斜面の詳細な速度構造を明らかにする必要がある。本論文では実際の急崖斜面において表面波探査ならびに簡易貫入試験を実施した結果を報告するとともに、既往の振動測定との検証結果も併せて示す。

2. 調査対象とする斜面と測定方法

図-1に調査対象とした斜面の地形図とAからFまでの測線ならびに表面波探査を実施した測線を示す。調査対象としたのは、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。ここに示すAからFの測線は前述の振動測定を行った際の測線で、簡易貫入試験はB3、C2、D3、E3の4測点で行った。簡易貫入試験は質量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、岡田らの式(砂質土)によりN値に換算した。表面波探査はC2測点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は表面波探査始点から9mに位置する。探査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4.5Hz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10kg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. 表面波探査の解析方法

表面波探査の解析は、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、できるだけ形状を基本モードに近づけて解析を進めた。その後求めた分散曲線から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23m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、11mまでを解析深度として分析をした。また、層数は15に設定した。

4. 表面波探査および簡易貫入試験結果

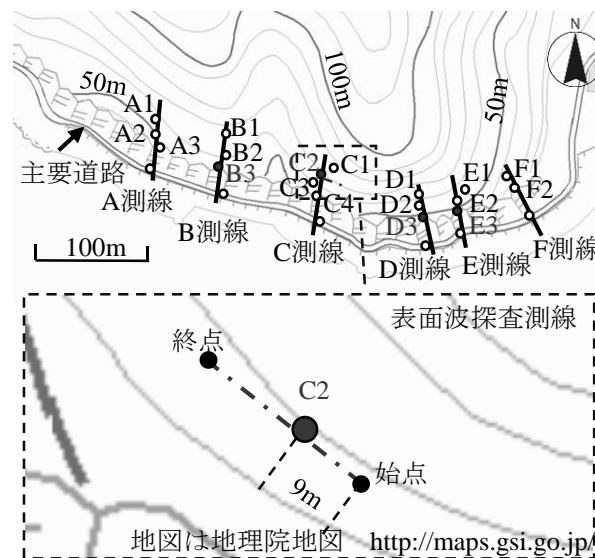


図-1 調査地の斜面と測定位置図

表-1 解析で得られたS波速度構造

		始点からの距離(m)											
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
下端深度(m)		Vs(m/s)											
	0.0	286	328	376	405	423	428	417	398	373	321	263	251
	0.5	280	319	363	397	417	424	419	402	367	311	255	235
	1.2	322	348	375	398	413	418	414	400	371	324	277	259
	1.9	379	391	406	416	420	419	414	404	385	350	313	296
	2.6	473	472	468	457	446	438	431	427	419	396	366	349
	3.5	522	519	513	506	500	495	489	486	482	465	437	419
	4.5	593	593	592	584	572	558	545	536	526	504	472	451
	5.5	673	670	662	646	626	609	596	585	569	540	503	480
	6.6	678	674	667	656	646	642	641	640	630	601	559	530
	7.8	463	433	391	370	391	453	531	595	622	606	566	538
9.1	457	427	384	365	387	449	528	593	619	604	564	536	
10.4	450	420	377	357	380	443	523	588	614	599	560	532	

表-1に表面波探査の解析の結果で得られたS波速度構造を示す。始点から22mの距離では分散曲線が得られなかったため、信頼度が低い。始点からの距離0~2mの深度1.2mまでのVsは280~350m/sであり、距離18~20mの深度1.9mまでのVsは250~350m/sとなった。また、距離6~14mの最表層ではVsが400m/s程度となり、探査測線両端部の最表層ではVsが比較的低く、測線中央部付近でVsが高い。深度5.5mからVsが600m/sを上回る層が現れるが、距離4~8mの深度7.8mからVsの低下が確認できる。その付近で地盤構造が大きく変化している可能性がある。

図-2に測点C2における簡易貫入試験の(a)換算N値の結果と(b)推定S波速度構造を示す。推定S波速度構造は、道路橋示方書⁴⁾のN値からVsを推定する式にあてはめ算出した。表層が固く貫入深さは65cmであった。深さ60cmまでの換算N値は1.0~13程度、深さ65cmでは30となった。推定S波速度構造は10cm以深で130~250m/sとなった。表-1より表面波探査始点から9mに位置するC2あたりの表層のVsは420m/s程度であり、簡易貫入試験の換算N値から推定したVsと比較すると1.7倍であった。したがって両者のVsは一致しなかった。貫入深さが65cmと極表層の評価に限られるので、今後は表面波探査測線内で簡易貫入試験実施箇所を増やし、相対的な評価を行う必要がある。

5. 既往の振動測定結果との検証

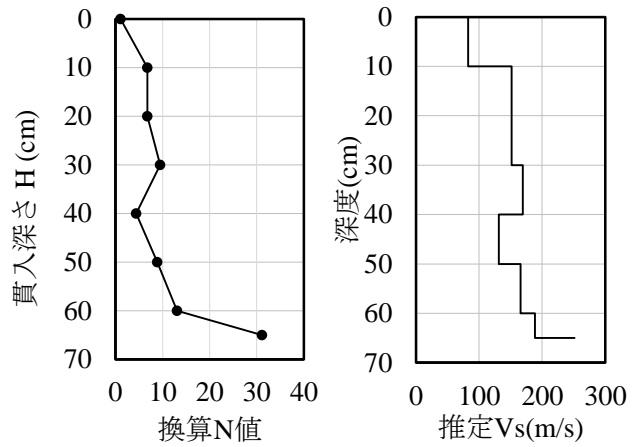
図-3に2018年に実施した測点C2における車両走行振動測定のフーリエスペクトル(NS成分)を示す。3回の測定により得られた車両走行振動のフーリエスペクトルを示している。車両走行振動の調査・解析方法の詳細は森・佐古りを参照されたい。C2-1からC2-3で読み取った卓越振動数はそれぞれ19Hz、18Hz、17Hzで、3回の測定による卓越振動数の平均は18Hzである。表-1を参考に測点C2の表層のVsを400m/sと仮定し、卓越振動数18Hzを4分の1波長則に当てはめると表層厚は5.6mとなる。表-1より下端深度5.5mでVsが600m/sを上回る層を岩盤層と捉えると、表面波探査と振動測定結果が整合性する可能性がある。

6. 結論

- (1) 表面波探査のS波速度構造は、表層では測線中央部付近でVsが400m/sと比較的高く、測線両端部では低い結果となった。また、深度5.5mでVsが600m/sを上回る層が現れた。
- (2) 測点C2における貫入深さはわずか65cmであり、換算N値から推定したVsは130~250m/sであった。今後は貫入試験箇所を増やして相対的な評価を行う必要がある。
- (3) 表面波探査で得られたVsと既往の車両走行振動のフーリエスペクトルで得られた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5.6mであり、岩盤斜面の地盤構造を把握できる可能性を示した。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 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) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, p.33, 2012.



(a) 換算N値結果 (b) 推定S波速度構造

図-2 簡易貫入試験結果

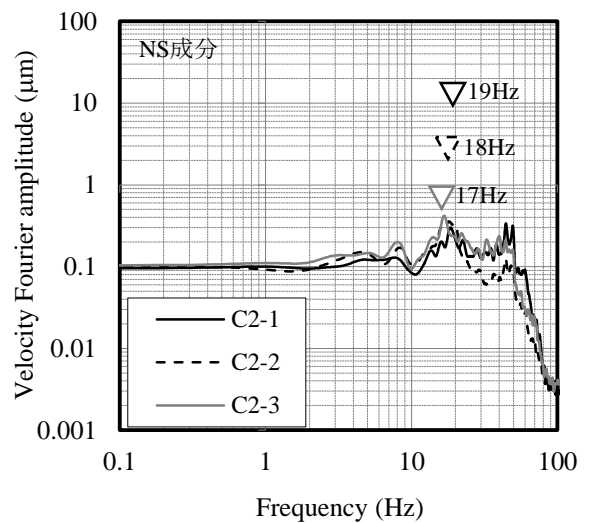


図-3 C2における車両走行振動のフーリエスペクトル