

## 速報

火山域における地盤特性把握のための表面波探査の適用\*<sup>1</sup>浅野志穂\*<sup>2</sup> ・ 玉井幸治\*<sup>2</sup> ・ 宮縁育夫\*<sup>2</sup> ・ 清水貴範\*<sup>2</sup> ・ 落合博貴\*<sup>3</sup>

浅野志穂・玉井幸治・宮縁育夫・清水貴範・落合博貴：火山域における地盤特性把握のための表面波探査の適用 九州森林研究 61：128-130, 2008 火山域の山地斜面において治山施設の機能発揮のため、不均質な地盤特性の空間分布の評価手法が求められている。本調査では物理探査の1つである表面波探査を、地表の変位が見られた治山堰堤周辺で実施し地盤特性について検討した。調査地は桜島における溪流沿いの治山堰堤周辺である。現地調査と解析から垂直二次元断面のS波速度分布を推定した。その結果S波速度が低速度となる部分では比抵抗法電気探査で間隙が大きい部分と推定される場所に対応することや、地表変位が見られる場所では深部に高速度層に挟まれた低速度層、すなわちN値が小さいと推定される層が地中に分布し、その分布等が明らかとなった。

キーワード：表面波探査, 地盤強度, 火山, 治山

## I. はじめに

活動中の火山地域では、堆積時期が新しく固結度の低い地層が広く分布しており、降雨などに伴って斜面崩壊や土石流など多くの土砂災害がしばしば発生する。土砂災害を防止・軽減するために治山堰堤や護岸工など多くの治山施設が施工されている。このような土砂災害の発生機構の解明や対策構造物が機能を十分発揮するためには、地盤特性の空間的な広がりの評価が重要である。ボーリング調査などは直接的に地盤の特性を明らかにできるものの、コストがかかるため広い範囲を対象に調べるには課題も多い。このため特に調査条件に制約の多い山地において広い範囲の地盤特性を効率的に調査する手法が求められている。

そこで本研究では、ある程度広い範囲の調査が可能となる表面波探査に着目して、火山域における治山事業のための地盤特性把握への適用性について検討を行った。

## II. 調査手法

強度など地盤の物性は、地震波の1つであるS波速度との関係がこれまでよく調べられており、S波速度の分布を調べることで広い範囲の地盤物性の分布を推定することができる。S波速度の分布調査は屈折法地震探査などでも行われるが、その場合大掛かりな地震動の発生が必要であったり、S波の高速度層に挟まれた低速度層が感知できないなど、地表付近の詳細なS波速度分布を解明する場合には課題も多い。一方、表面波探査は、地震波の中でも主に地表面を伝わる表面波を用いる。表面波は波の持つエネルギーが大きいためカケヤによる人力の起振でも地表付近の地盤の表面波の速度分布を知ることができ、また高速度層に挟まれた

低速度層も探知することができる等の利点がある。表面波探査は表面波の中で特にレイリー波と呼ばれる、波の伝わる方向に対して垂直面内に生じる波を用いて行う。レイリー波速度 ( $V_r$ ) はS波速度 ( $V_s$ ) と高い相関 ( $V_r \approx 0.92V_s$ ) を持っており (Stokos, 1984), これにより表面波探査で地盤のS波速度分布を推定することができる。地盤のS波速度は貫入試験N値との正の相関性が高い (Imai and Tonouchi, 1982) ため、地盤の強度分布を概略的に知ることができる。

今回の対象地は、桜島西側の長谷川流域内で実施されている治山事業地内の谷止工周辺である。ここでは土石流災害を防止するため多くの流路工や溪岸工が施工されつつある。近傍のボーリング調査によると溪床では桜島火山起源の軽石混じりの砂の埋土が約9 m深まで堆積し、その下はシルト層や軽石混じりの砂層からなる土石流堆積物が厚く堆積する。また谷止工設置時の基礎と



図-1. 調査地の状況

\*<sup>1</sup> Asano, S., Tamai, K., Miyabuchi, Y., Shimizu, T. and Ochiai, H. : Application of surface wave prospecting for geotechnical condition in a volcanic area

\*<sup>2</sup> 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862

\*<sup>3</sup> 森林総合研究所 For. & Forest Prod. Res. Inst., Tsukuba, Ibaraki 305-8687

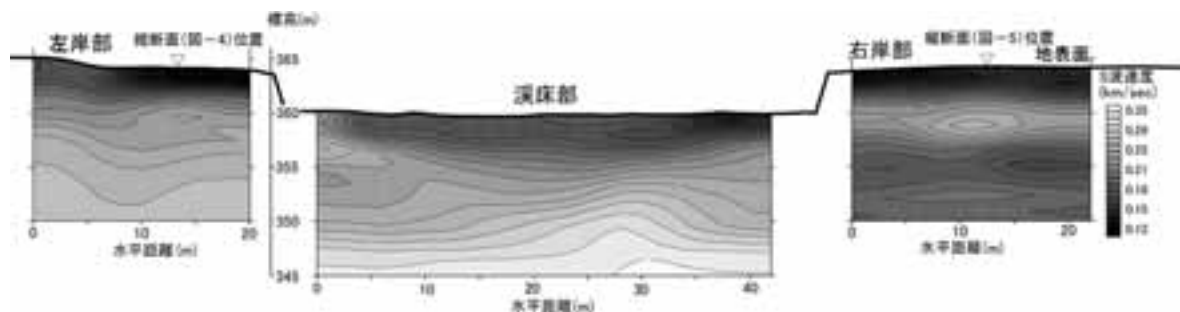


図-2. 横断測線のS波速度分布

なるような強固な岩盤を見いだすことが難しいため、これら堆積物の上に構造物が設置されている。これらの中で一部の谷止工付近では数 cm 程度地盤の変位が見られた。そこで地盤変位が見られた谷止工と変位が見られなかった上流側の谷止工の間の区間で、溪岸部や溪床部でそれぞれ探査を行い、結果を比較した。測線は溪床は横断方向、溪岸部は横断方向と縦断方向に設定した(図-1)。地表変位が見られたのは右岸溪岸部の調査区間の下流側付近である。

探査の方法は、地表面に上下方向の振動を検出する加速度センサー 24 点を一列に配置して、カケヤによる起振を行った。センサーの設置間隔は溪床横断方向と右岸縦断方向は 2 m、それ以外は 1 m とした。探査機材は応用地質(株)製 McSEIS-SXW を用いた。得られた全ての振動データを解析し、地点毎の周波数-速度関係を求めた(鈴木ほか, 2001)。更に表面波の波動理論を用いて、得られた周波数-速度関係を再現できるような地盤モデルを逆解析により推定した。周波数-速度関係の観測値と理論値の差が最も小さくなる時の地盤モデルの表面波速度分布から、表面波速度と S 波速度の関係式を用いて各地点の S 波速度を求めて、これを対象測線の S 波速度分布とした。

### Ⅲ. 結果と考察

図-2 は探査により得られた横断方向の S 波速度分布である。表面波は波長が長い波ほど地盤深部の特性が反映されるが、人力で発生できる波長の限界などの理由のため、有効な探査深度は最大 15m である。図では暗色系ほど低速度側にあることを表す。S 波速度は 0.1km/s から 0.35km/s の範囲に分布しており、全体的に S 波速度は表層部ほど遅く、深層部ほど速くなる傾向が見られる。

Imai and Tonouchi (1982) 等によると S 波速度と N 値は相関が高く、S 波速度が速いほど N 値は大きくなる。S 波速度の調査結果を太田・後藤(1978)に従って N 値に換算すると約 7~25 の範囲に相当する。測線近傍の溪床におけるボーリング調査によると、礫打ちした部分とその直下の N 値が極端に小さくなった部分を除けば、地表から深度 13m 付近までの範囲で N 値は 8~22 程度であり、S 波速度による換算値はこれに近い値であった。当地の様に礫を多く含む堆積物層では貫入試験による N 値は、礫の影響を受けやすく解釈が難しくなる場合もある。表面波探査による推定強度は直接的ではないが、ある範囲の平均的な強度を反映していると考えられ、概略を把握する場合には有効であると

考えられる。

また地表の変位が見られた右岸部は左岸部や溪床と比べて低速度層が広く分布した。ここで同じ測線上で実施された比抵抗法電気探査の調査結果(図-3)(九州森林管理局, 2004)と比較した。図では明色系ほど比抵抗値が小さく、右岸側に低比抵抗帯が分布している。ここでは右岸側の低比抵抗部分は空隙の大きい部分の特性を反映すると推定された(九州森林管理局, 2004)。空隙が大きく密度の低い地盤の場合には一般的に S 波速度は低速側となる傾向にあるため、図-2 の S 波速度分布は比抵抗分布と整合的と言える。また図-2 より右岸部の標高 355m 付近は特に S 波の高速度層の下に低速度層が分布することが分かった。

次に縦断方向の探査結果を比較した。図-4 には左岸部縦断方向の S 波速度断面、図-5 には右岸部縦断方向の S 波速度断面を示した。左岸部では地表から深部になるほど高速度になる傾向が見られる。一方、右岸部では概略的には表層で低速度、深部で高速度となる傾向にあるが、右岸部横断面とほぼ同じように標高 355m 付近に高速度帯に挟まれた低速度層が見られた。更にこの低速度層は調査区間の下流側だけに分布し、上流側には見られないことが分かった。低速度層は、N 値が小さく地盤強度が相対的に小さい特性を反映していると考え、右岸側測線上には地表から 10m 深度付近に強度の小さい層が分布していると見なすことができ、その分布は測線の下流側に偏っている。右岸に発生した地盤の変状は測線下流側の谷止工付近に見られ、測線の上流側の谷止工付近では地盤の変状は見られていない。2つの谷止工の間で地盤変位した範囲は厳密には不明であるが、探査により推定された地中の低速度層が地盤変位の大きな要因であると考え、

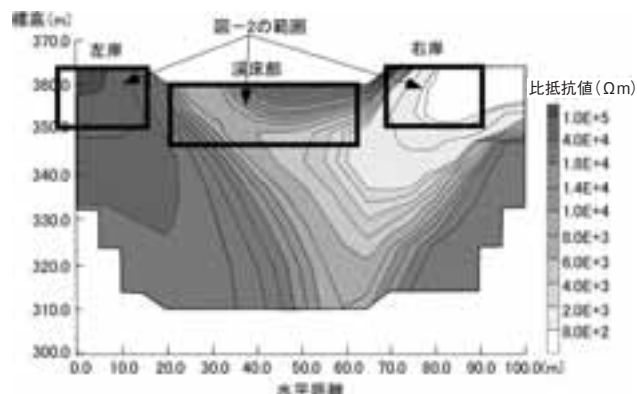


図-3. 横断測線上の比抵抗分布(九州森林管理局, 2004に加筆修正)

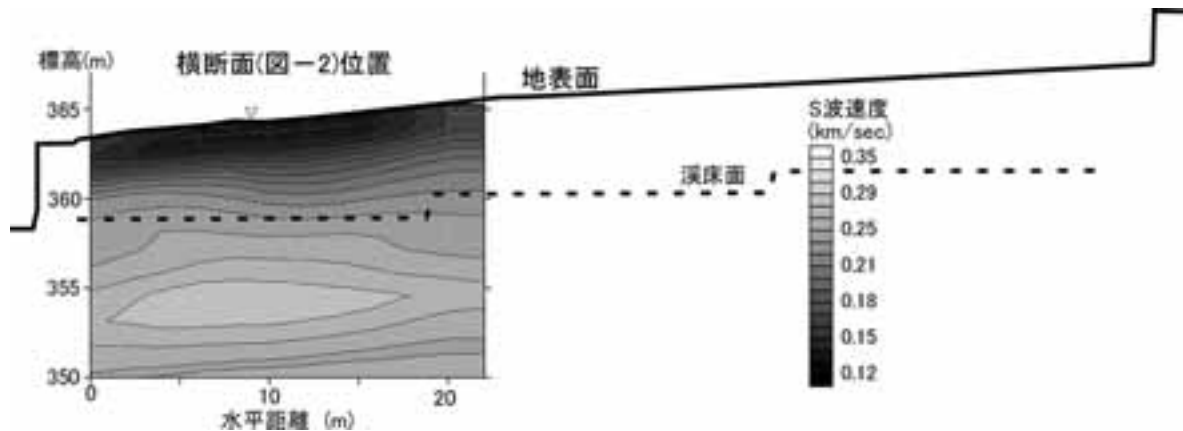


図-4. 左岸側縦断測線におけるS波速度分布

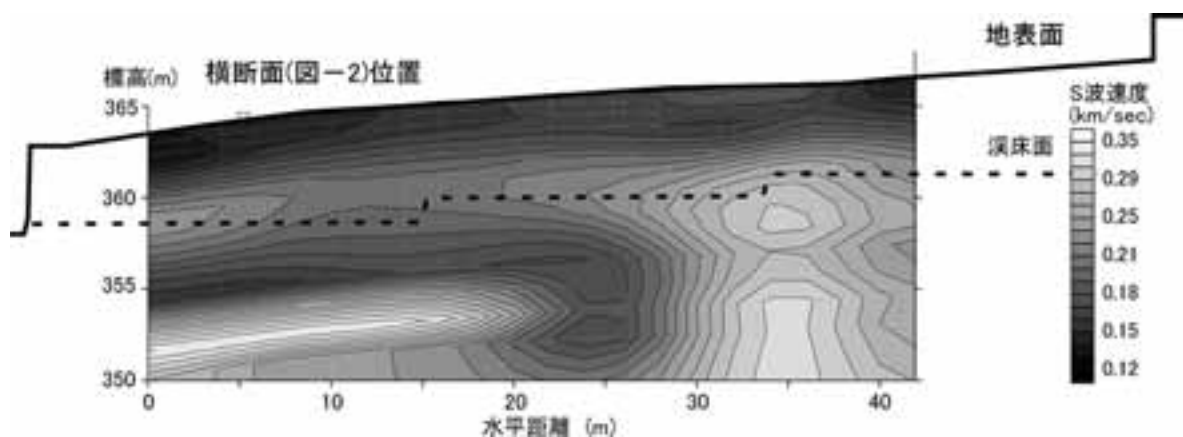


図-5. 右岸側縦断測線におけるS波速度分布

2つの谷止工の周辺地盤の変状の有無の違いを説明することができる。

#### IV. おわりに

本研究により治山施設周辺で地表の変位を起こす地盤要因の解明に、表面波探査が有効であることが明らかとなった。今後、サンプルなどを用いた室内実験などによる堆積物の振動特性などの調査や、現地調査を重ねて、表面波探査を利用した山地地域における斜面災害防止のための地盤調査手法の検討や斜面災害の発生機構などについて更に検討を行いたい。

なお本研究は九州森林管理局の委託調査事業の一部として実施した。現地調査においてお世話になった九州森林管理局および鹿

児島森林管理署の関係各位には深謝申し上げます。

#### 引用文献

Imai, T. and Tonouchi, K. (1982) Proc. of 2 nd ESOPT. 67-72.  
 九州森林管理局 (2004) 桜島地区治山施設等調査報告書. p. 64.  
 太田裕・後藤典俊 (1978) 物理探査 31 : 8-17.  
 Stokos, H. *et. al.* (1984) 8 th world conf. on earthquake eng. : 31-38.  
 鈴木晴彦ほか (2001) 物理探査学会学術講演会講演論文集 : 9-12.

(2007年11月19日受付 ; 2008年1月25日受理)