

## 人工振源を用いた表面波探査による浅部 S 波速度構造の推定

### Near-surface S-velocity delineation by a surface-wave method using artificial sources

# 林 宏一[1], 鈴木 晴彦[1]

# Koichi Hayashi[1], Haruhiko Suzuki[1]

[1] 応用地質

[1] OYO

<http://www.oyo.co.jp/>

#### 1. はじめに

地盤の S 波速度は、物質の硬さなど工学的な目安となる剛性率に直接関係する値であり、地盤の動的特性の把握・検討などには不可欠なパラメーターである。したがって土木地質調査において深度数 10m までの S 波速度構造を把握することは、構造物の耐震設計や地盤の液化判定などにおいて重要である。地表付近を伝わる表面波（レーリー波）は、一般に地盤の S 波速度に敏感である。したがって表面波を用いた探査により、S 波速度構造を地表から簡単に把握することができると考えられ、常時微動を用いて深度数 10m ~ 数 km の S 波速度構造を求める微動探査などは近年実用化されつつある。また深度数 10m 以浅の地盤構造を簡便に調べる手法として人工振源を用いた表面波探査の適用も試みられてきた。これは、主にバイブレーターにより励起された定常波を二個の受振器を用いて測定し、水平成層構造を仮定して一次元の解析を行うものであるが、起振器が特殊であることなどにより、広く一般に用いられるにはいたっていない。そこで筆者らは、一般の土木地質調査目的の物理探査に用いられる測定システムを用いて、深度 20m 程度までの浅部地盤の S 波速度構造を簡単に求めることができる表面波探査手法を開発した。

#### 2. 測定

開発した手法では、振源としてカケヤや重錘落下などを用い、受振器として 4.5Hz などやや固有周波数の低い物理探査用のジオフォン（上下動速度計）を用いる。12~48 個程度の受振器を 0.5~2 m 間隔で測線上に並べ、受振器アレイの外側（測線の延長上）で起振する。データ収録には、反射法地震探査や屈折法地震探査に用いる小型の地震探鉱器を用いる。サンプリング間隔は 0.5~1msec、記録長は 0.5~2 秒である。図 - 1 に測定の模式図、図 - 2 に測定波形例を示す。この手法により測定される波形の周波数は主として数~数 10Hz である。筆者らのこれまでの経験から振源は、探査深度が 10m 以浅の場合はカケヤによる 1 回の打撃で良く、20m の探査深度を確保したい場合には重錘落下（50kg 程度）を何度かスタックすることが望ましい。

#### 3. 解析

解析はまず、各受振点で測定された波形を周波数領域に変換する（1式：距離 - 時間から距離 - 周波数に変換）。次に、起振点からの距離と位相速度に応じて位相シフトを行い距離軸について積分する（2式：距離 - 周波数から位相速度 - 周波数に変換）。位相速度 - 周波数の二次元断面において振幅の絶対値をプロットすると、これが周波数領域の見かけ速度分布となる（図 - 3）。こうして求めた見かけ速度分布において、各周波数に対して最も振幅の大きい位相速度を求め、これを結んだ線を位相速度曲線（分散曲線）とする。得られた位相速度曲線から、非線型最小二乗法により一次元の S 波速度構造を求める。本手法により深度 20m 程度までの S 波速度構造を求めるのに必要な測線長は 25~50m、測定・解析に要する時間は 30 分から 1 時間である。

#### 4. PS 検層および N 値との比較

同手法をこれまでに約 50 ヶ所の現場に適用し、PS 検層で得られた S 波速度および標準貫入試験などで得られた N 値との相関を蓄積している。図 - 4 に PS 検層で得られた S 波速度と表面波探査により得られた S 波速度の比較を示す。比較に使用した PS 検層の深度は 0~40m であり概ね 20m 以浅である。両者は良く一致しているが、特に速度が高い領域において表面波探査により得られた S 波速度は低い傾向がある。これは、主に深度の大きい場所（20m 以深）の高速度層に相当し、表面波探査では探査深度が足りなかったためと思われる。

図 - 5 に標準貫入試験などから得られた N 値（対数値）と表面波探査から得られた S 波速度（対数値）の比較を示す。比較に使用した N 値の深度は 0~40m であり概ね 20m 以浅である。言うまでもなく、N 値と S 波速度は 1 対 1 に対応するものではないので、両者の関係はばらついてはいるが、N 値が大きくなると S 波速度が大きくなる傾向は明瞭である。

以上の比較から、人工振源を用いた表面波探査により地盤の S 波速度構造を地表から推定することができ、得られた S 波速度を用いて地盤の力学特性を検討することが可能と考える。

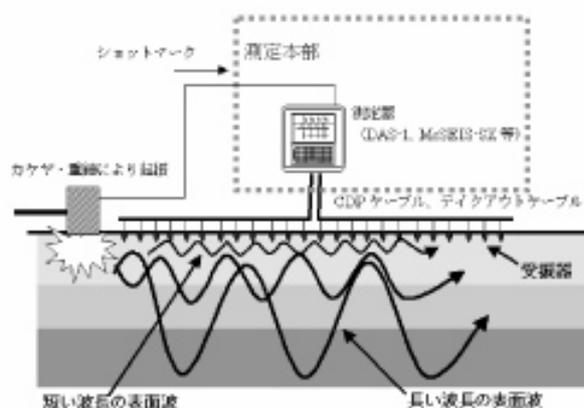


図-1 測定の模式図

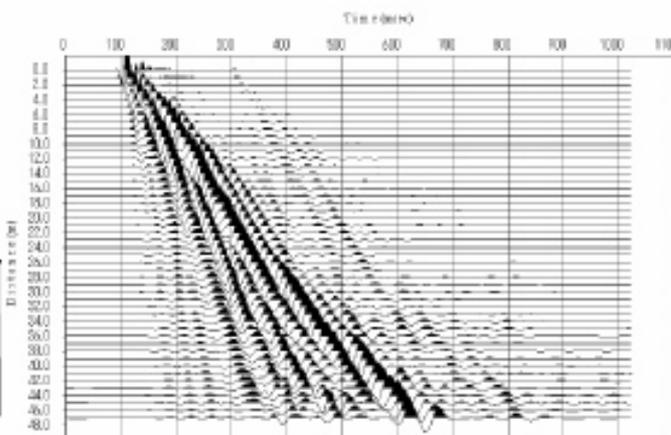


図-2 測定波形例 (振源は重錘落下)

$$F(x, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, t) \cdot e^{-i\omega t} dt \quad (1式)$$

ここで、 $x$  は距離、 $t$  は時間、 $\omega$  は角周波数、 $f(x, t)$  は時間領域の共通起振点記録、 $F(x, \omega)$  はそのフーリエ変換である。

$$F(c, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(x, \omega) \cdot e^{i\omega \frac{x}{c}} dx \quad (2式)$$

$c$  は位相速度である。

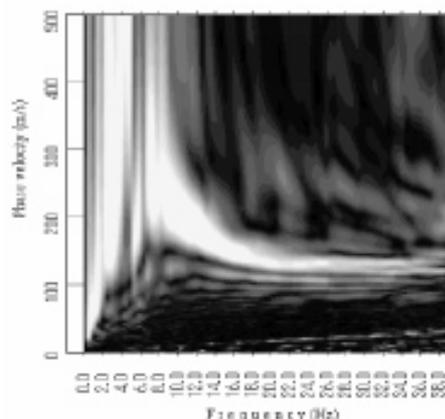


図-3 周波数領域の見かけ速度分布

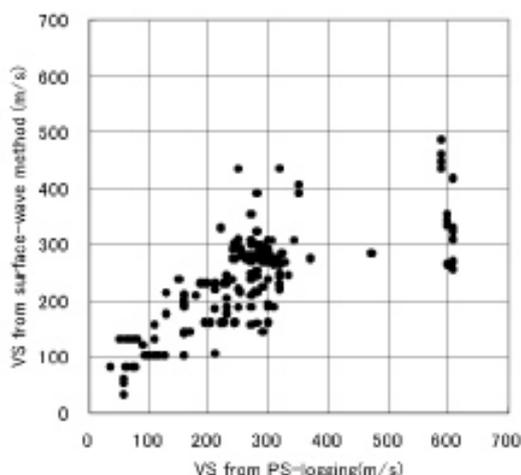


図-4 PS 検層から得られた S 波速度と表面波探査から得られた S 波速度の比較

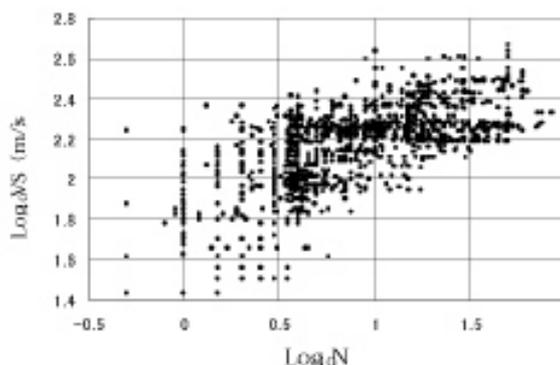


図-5 標準貫入試験などから得られた N 値と表面波探査から得られた S 波速度の比較