

I-633

衝撃荷重による表面波を利用した簡易地盤探査法について

熊本大学工学部	正 員	○秋吉 卓
八代高専	正 員	淵田 邦彦
熊本大学工学部	正 員	松本 英敏
若築建設(株)		井生 智明

1. まえがき 構造物の大規模化や地下開発などに伴って地中の構造を簡便・迅速・安価に面的に調査できる非破壊探査法の開発が要請されている。その有力な方法として、実体波の屈折・反射現象を利用する弾性波探査法があるが、測線を長くとらねばならないことと、波形の読みとりには熟練を要する。一方、地表面を鉛直正弦加振するとき、主要成分として観測される表面波の伝播性から、波長-位相速度の分散曲線を近似的に、深さ-S波速度分布と見なす簡便な方法が提案され¹⁾、国内でも実用化されている²⁾。これの応用として、上述の実験曲線からS波速度(V_s)と層厚(H)を逆解析³⁾ないしは簡略な推定により⁴⁾、かなりの成果を得ているが、数種の加振器と制御装置を余分に要するので、経済的には若干問題はある。一方、本研究では、後者の表面波の性質を利用して地表面の加振を重錘落下による衝撃荷重としているため、加振装置などの費用が不要で、簡便で安価な解析システムとなる⁵⁾⁻⁷⁾。

2. 解析手法の概要 半無限弾性体の表面上の鉛直振動源からある程度離れた地表面上の点で鉛直振動を測定すると、ほとんどレーレー波を観測したことになるといわれており、これより層状地盤のレーレー波の位相速度 c が求められる¹⁾。

すなわち、図1のように、地表面測線上の一端に重錘を落下させて衝撃波動を発生させ、数 m (約4 m)離して設置した2台のピックアップP1およびP2で観測した波形(図2参照)をただちにデジタル化して高速フーリエ変換を行う。P1およびP2での両波形のフーリエ変換型を、 C_k および D_k とすると、両地点間の伝達関数は $D_k/C_k = |D_k|/|C_k| \cdot \exp(-i\phi_k)$ となるので、2地点間の位相差 ϕ_k は容易に振動数 f_k の関数として求まる。このとき ϕ は図2の下図のように、周波数とともに増大する傾向を示す。Richart¹⁾によると、次の近似的な関係が成り立つ。

$$V_s \doteq c = L/t_0, \quad D \doteq \lambda/2 = c/2f \quad \cdots (1)$$

ただし、 c 、 λ :レーレー波の位相速度と波長、 t_0
 $= \phi/2\pi f$:2台のピックアップ間の距離と波形到達時間差、 f :振動数、 D : V_s の存在深さ。

ところで、分散曲線は一般的には、Haskellの方法による限り、振動数 f に対する位相速度 c は次の観測方程式の形をとる。

$$c = f(f; \rho_1, V_{P1}, V_{S1}, H_1; \cdots; \rho_N, V_{PN}, V_{SN}) \cdots (2)$$

ただし、 ρ 、 V_{Pj} 、 V_{Sj} 、 H_j はそれぞれ j 層の密度、P波速度、S波速度および層厚である。したがって、振

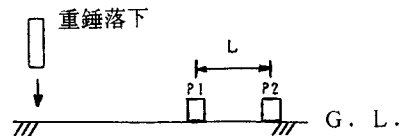


図1 地表面衝撃実験の概要図

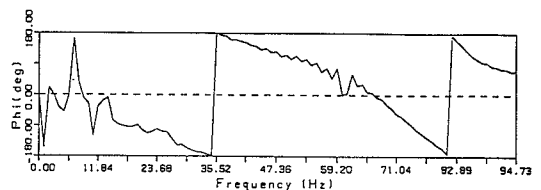
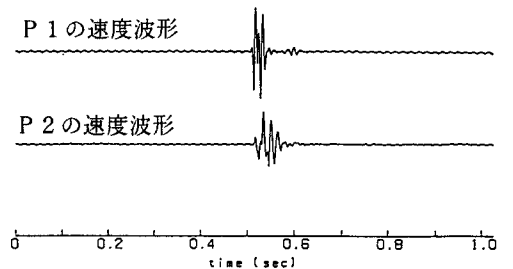


図2 観測波形とその位相差

動数 f_i のとき、式(1)に従って観測された位相速度 c_{ei} は、式(2)の c_i 標本値であるから、

$$S = \sum (c_i - c_{ei})^2 \rightarrow \text{minimum}$$

とする最小2乗法をくり返し適用して、最適な層の物理定数の組み合わせを見つけることになる⁹⁾。

以上のような手続きで層の物理定数を同定する流れを示すと図3のようになるが、中間に一度適切な実験分散曲線 ($c_e - \lambda$) を定めるための手作業が入る。

3. 実験結果および考察 衝撃荷重としては、コンクリートテストピースを用い、2 kHz ($\Delta t = 0.5$ ms) でサンプリングを行った。図4には、熊本大学構内の運動場で行った実験の見取り図を示しているが、近くに1本だけボーリング資料がある。

図5には、計測地点Bの観測位相速度（*印）、Di x式によるS波速度の簡易予測 V_s^* （点線）⁴⁾ および同定された V_s （実線）が図示されているが、同定結果は近辺のボーリング資料と比較的対応しているようであり、Di x式による簡易予測もうまくなされていることが分かる。

参考文献

- 1) F. E. Richart他: Vibration of Soil and Foundation, Prentice-Hall.
- 2) 佐藤長範: 起振器による地盤探査システム (Model-810), ビック株式会社
- 3) 例えば、田中・他: 第24回土質工学研究発表会講演集, pp. 701-702, 1989. 6.
- 4) 高尾正, 他4名: 第8回日本地震工学シンポジウム(1990)論文集, Vol. 1, pp. 789-793, 1990.
- 5) S. Nazarian and K. H. Stokoe II: 8WCEE, Vol. III, pp. 31-38, 1984.
- 6) J. S. Heisey, K. H. Stokoe II, and A. H. Meyer: Transpor. Res. Rec. 852, pp. 22-31, 1982.
- 7) 秋吉 卓他3名: 平成2年度土木学会西部支部研究発表会概要集, pp. 70-71, 1991. 3.
- 8) N. A. Haskell, Bull. Seismolo. Soc., Am. Vol. 43, pp. 17-34, 1953.
- 9) J. Dorman M. Ewing, J. Geophys. Res., Vol. 67, No. 13, pp. 5227-5241, 1962.

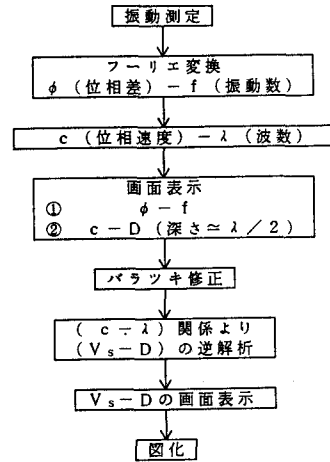


図3 振動計測から V_s (S波速度) - D (深さ) 関係の逆解析までのフロー

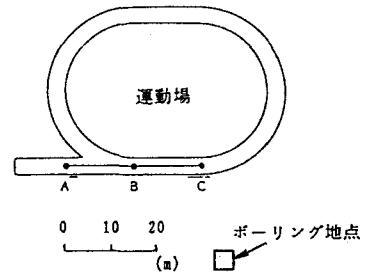


図4 計測地点とボーリング地点の見取図

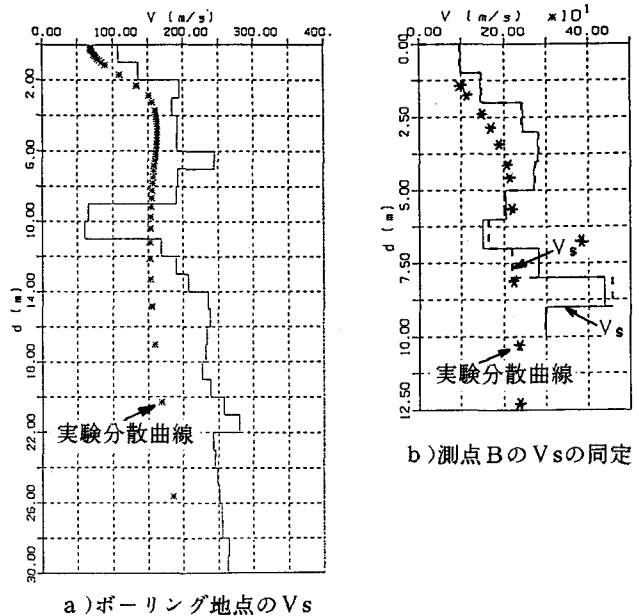


図5 ボーリング資料と V_s の同定結果