

弾 性 波 探 査 方 法

(スタッキング方式)

解 説 書

平成 1 5 年 1 月

有限会社 ジオインフォメ - ション 作成

目 次

1. 弾性波探査の概要	-----	1
2. 測定方法	-----	2
2 - 1 測線展開	-----	2
2 - 2 測定波形 データ処理	-----	4
3. 測定機器	-----	6
4. 解析方法	-----	8
4 - 1 弾性波探査解析の原理	-----	8
4 - 2 岩盤（最下層）速度の決定	-----	9
4 - 3 「はぎとり」の原理	-----	10
4 - 4 解析結果例	-----	13

1. 弾性波探査の概要

弾性波探査は地震探査とも言われ、大きく分けて屈折法と反射法とがあるが、土木地質の調査には屈折法が多く用いられる。本調査では、屈折法による弾性波探査を実施する。

屈折法は地表付近で発破等の人工的な方法によって弾性波を発生させ、縦波（P波）が直接か、または異層間で屈折して地層を伝わってくる状況を地表に設置した測定器によって観測し、その観測によって得られた記録を読み取り、走時曲線を作成して解析し、速度層断面図を作成する。

この速度層断面図と、他の地質調査によって得られた結果を照合して総合的な検討を行う。弾性波探査の概念図を図 1-1 に示す。

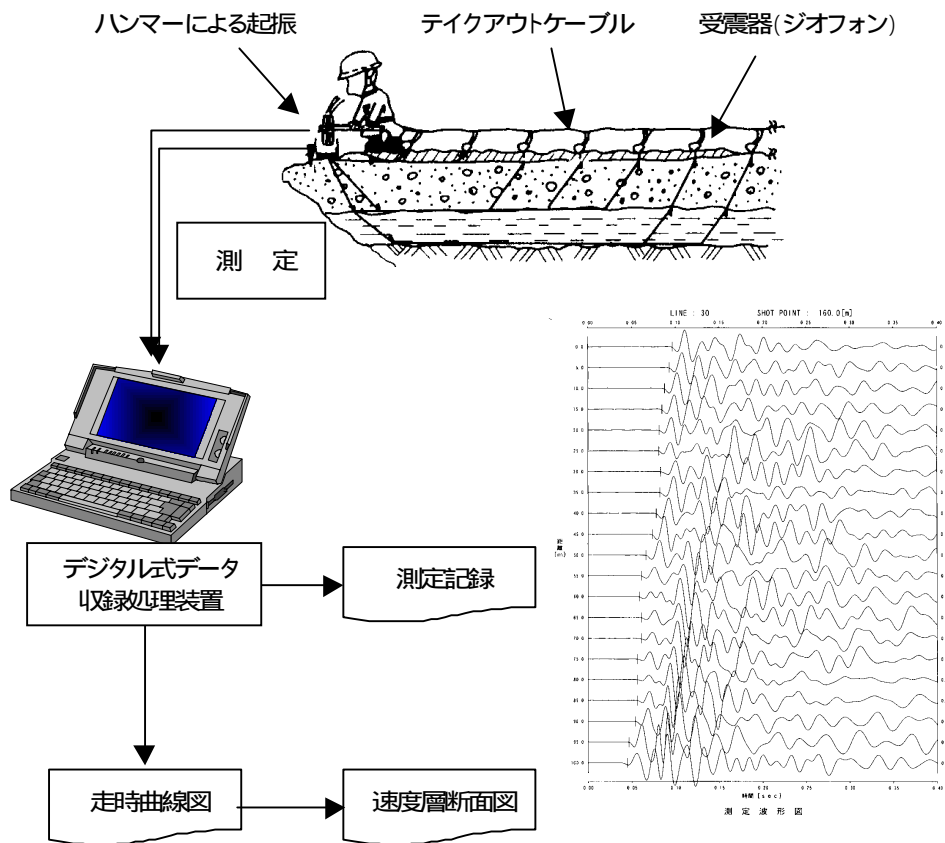


図 1-1 弾性波探査（スタッキング法）概念図

2. 測定方法

2-1 測線展開

今回の目的は、表層部における陥没箇所（空隙の有無）と、その境界を求めることである。測点間隔を出来るだけ短く行う必要があるため、測点間隔 2.0m を提案する。

測定作業の順序を流れ図にして図 2-1 に示す。

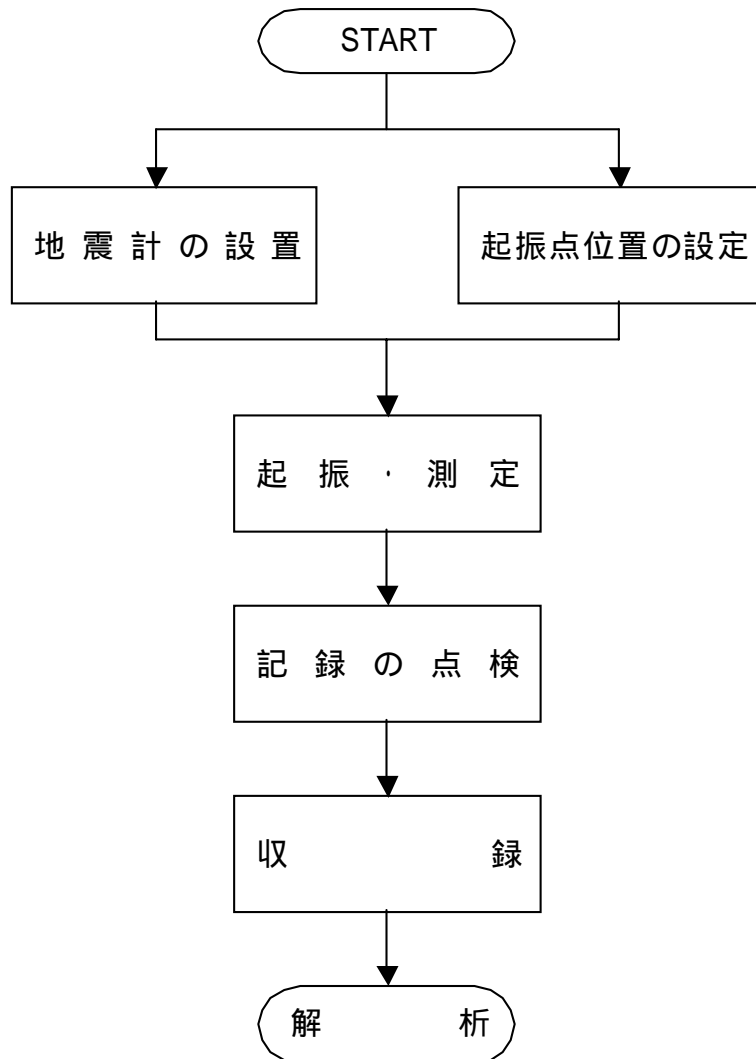


図 2-1 測定作業流れ図

測線設定は、基準杭によって計画測線の方向を求め、測点間隔 2m の地点にマーキングをする。感振器を設置・固定し、測定を行う。

本地点で測定に使用するデータ収録処理装置は 24 成分対応であるため、2m 間隔で地震計を設置した場合、1 回の測定（発振）で最大 46m 毎に記録の収録を行うことができる。

起振点は、1連の受振器の設置で6～7回とし、地下浅所の構造を知るための受振器に近接した起振点と、地下深部の構造を知るための遠隔起振点を取る。起振は測定者の合図によって行い、P波初動点を確認できるまでスタッキングを行う。測定者は振動が充分到着していることを確認した後、振動の記録をデジタル化した信号の状態データ収録装置のハードディスクに収録する。

スタッキング方式については、振源に火薬類を使用することが出来ない状況下や、小規模な弾性波探査などで行う探査方法である。振源は、ハンマーによる地表面打撃で行うため、火薬に比べて振動エネルギーがかなり小さいので、エネルギー不足を補うために、同一地点での記録を何回か加算することにより、S・N比の改善を図る探査方法をスタッキング（重合）方式という。

2-2 測定波形データ処理

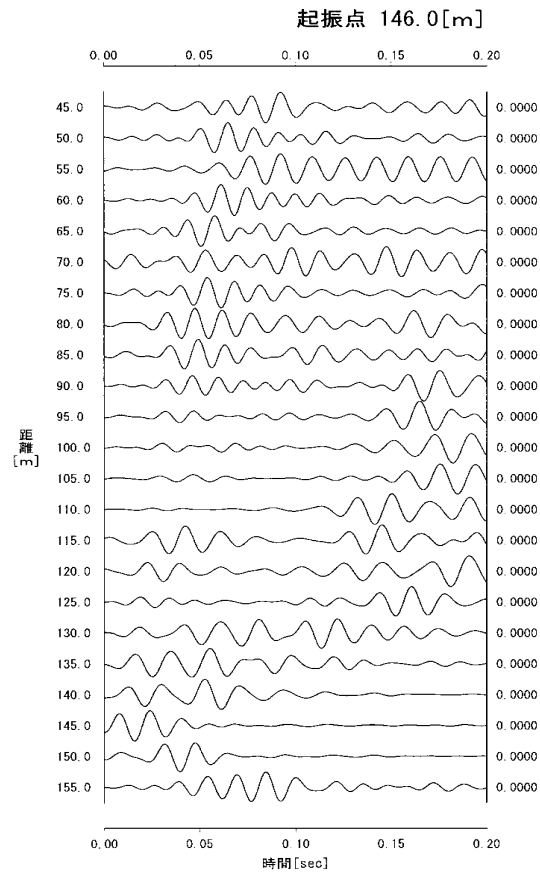
測定によって得られた波形データに対して、外部ノイズや初動振幅が小さいなど、初動点が明瞭でない場合のため、波形震幅の調整、フィルター処理を行う。

使用したデジタル式データ収録装置では、A/D変換部の高分解機能により以下にあげる4種類のフィルター処理を行うことができる。

- ・ Band-pass 指定周波数以外の周波数を削除する。
- ・ Low-pass 指定周波数以下の周波数を有効とする。
- ・ High-pass 指定周波数以上の周波数を有効とする。
- ・ Nocth-pass 指定周波数のみ削除する。

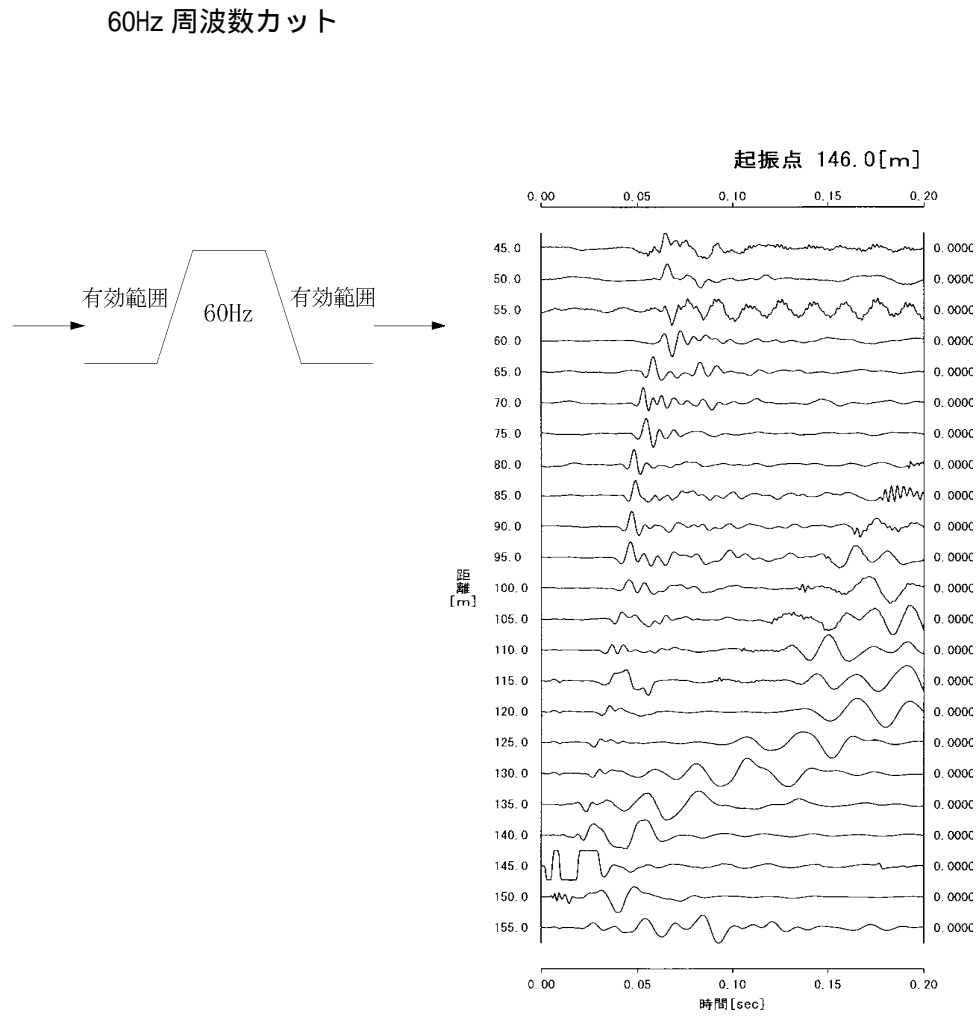
原記録例及び処理記録例を次頁に示す。

測定原波形図



測定波形図

フィルター処理波形図



測定波形図

3.測定機器

弾性波探査で使用する測定機器を下記に示す。

【可搬型データ収録処理装置】

型 式：デジタル式データ収録装置 GEODAS-7-DS20
入 力 成 分：24ch (AD ボード 1 枚あたり最大 6ch,4 枚まで収納可)
A D 変 換 方 式：デジタルシグマ,オーバーサンプリング方式
A D 分 解 能：20bit
入 力 電 圧：25V
サンプリング周波数：50,100,200,500,1k ~ 50kHz
ダイナミックレンジ：最大 24bit 相当
コンピュータ部：NEC 製 PC-9800 シリーズ使用
C P U：i486DX2 (50MHz) または相当のもの
ハードディスク：使用するコンピューターに内蔵
フロッピーディスク：使用するコンピューターに内蔵
メモリー：16MB
ディスプレイ：白黒液晶画面/カラー液晶画面
電 源：DC12V/AC100V
消 費 電 力：最大 16VA(入力 18ch の場合)
使 用 環 境：10 ~ 35 /湿度 20 ~ 80% (結露しないこと)
外 寸：W463 H334 D140 (D160 カラーモニターの場合)
重 量：約 11 kg
製 造：物探サービス株式会社



図 3-1 可搬型データ収録処理装置

【受振器 ジオフォン】

型 式	GS 20D型地震探査用ジオフォン 可動線式電磁制動方式
固有振動数	2.8 Hz
内部インピーダンス	215
感 度	0.15 V/kine
製 造	OYO GEOSPACE 社

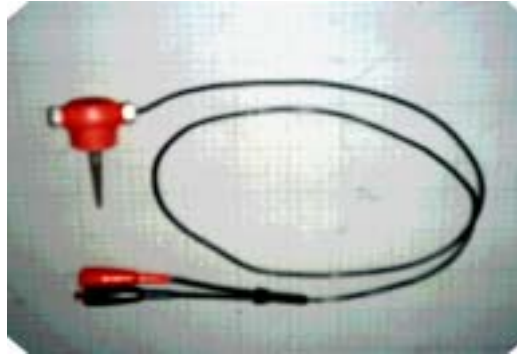


図 3-2 ジオフォン

【テイクアウトケーブル】

型 式	地震探査用ケーブル
チャンネル数	12ch × 2
受振器間隔	5m ピッチ (7.5m)
製 造	応用地質 (株)



図 3-3 テイクアウトケーブル

4. 解析方法

4-1 弾性波探査解析の原理

地層の弾性的性質は、地質の種類・生成地質年代・固結度や風化・変質・各作用等種々によって差異を有している。弾性波探査では、弾性波伝播速度の差異としてこれを表現し、地下地質構学的性状を定量的に把握しようとするものである。

弾性波動の理論によれば、均等等方な弾性体中を伝播する縦波速度(V_p)及速度(V_s)は次の如く表される。

$$V_p = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho} = \frac{E(1-\sigma)}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}$$
$$V_s = \frac{\mu}{\rho}$$

ただし、 ρ : 密度
 μ : ラーメンの定数
 σ : ポアソン比
 E : 弾性率 (ヤング率)
 G : 剛性率

本調査では、このうち縦波速度(V_p)を対象としている。火薬発破や打撃起震の場合、一般にP波が発生しやすく、かつS波に比べて速く伝搬するためP波の方が測定しやすい。岩盤の調査の場合は、P波の採用が一般的である。

ある地点で地盤に衝撃を与えると弾性波を発生し、これらが弾性的性質が異なる境界面に達し、屈折又は反射しながら伝播する。屈折した波動を利用し理論に基づいて地下構造を求めるとのが屈折法である。

4-2 岩盤(最下層)速度の決定

風化帯や被覆層の下の岩盤（最下層）速度、断層破碎帯や軟質帯に相当する低速度帯等を決定する。

新鮮岩が露出する場合

図 4-1 のように表層のない速度の均一な (V_1) 層から成る場合は、走時の距離と時間の関係は直線的で、走時曲線 (T) の勾配から速度を求めることができる。

図 4-2 のように、一部速度の異なる部分 (V_1') を含む場合は、走時曲線の勾配が、その部分のみ異なる。走時曲線のこの異常部から逆に地下の異常部を検知することができる。

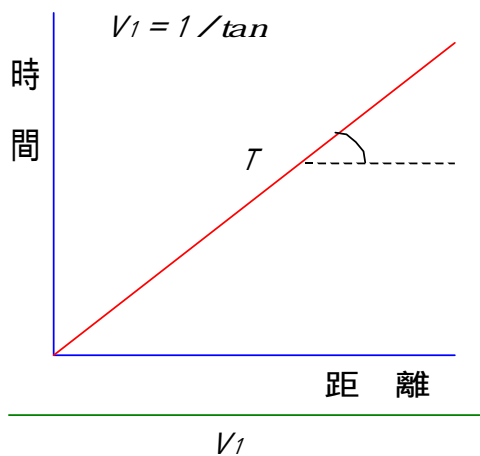


図 4-1 1層構造の場合

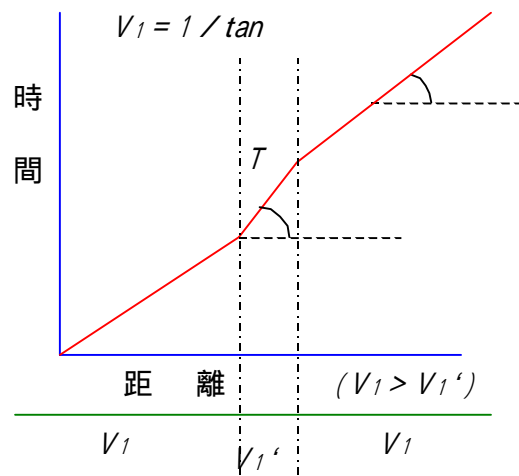


図 4-2 一部速度の異なる場合

表層のある場合

一般には、図 4-3 のように厚さの一様でない表層がのっている。このような場合には、表層を伝わる走時 (T_0) は、ほぼ直線で、速度はその勾配から求められる。しかし、下層から屈折してきた走時 (T_1) は、表層の厚さに応じて不規則な曲線となる。その勾配から速度は求められない。下層を伝わってきた振動が、下層上面で屈折して表層を通り抜けるに要する時間 (t) を差し引いた走時 (T_1') は直線となり、これが下層の速度を表す。即ち、(T_1') は下層上面 (岩盤面) に受振点を置いたと仮定した場合の走時曲線 (実際は直線から成る折れ線) である。

このように、一般に、岩盤の速度を求めるには、表層の影響を取り除いた走時曲線、 T_1 、即ち、表層を「はぎとり」露出させた岩盤面で測定した（と仮定した）走時曲線を求めなければならない。この操作を「はぎとり」と称し、このようにして岩盤速度を求める解析法を「はぎとり法」と称している。

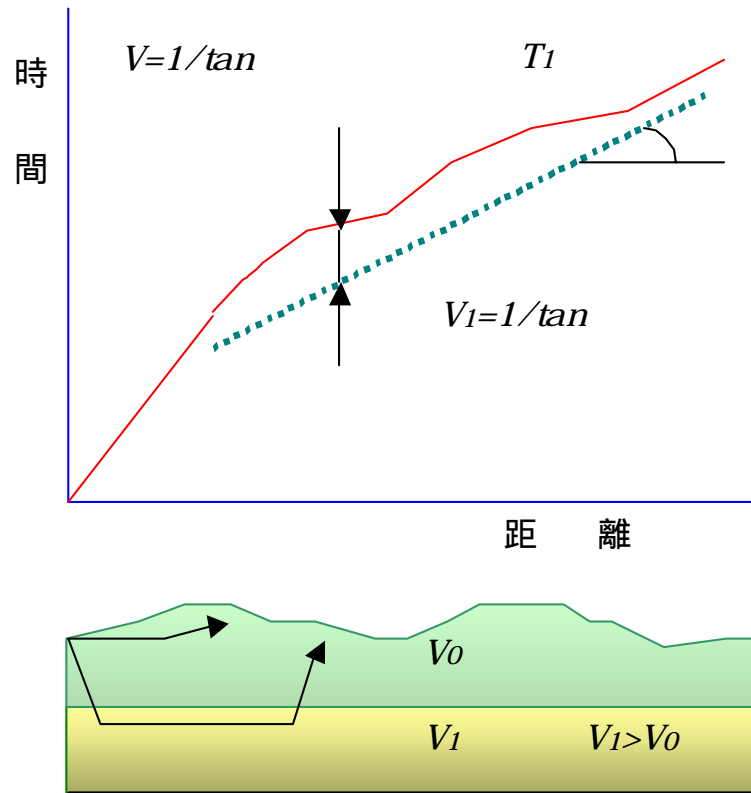


図 4-3 表層のある場合(2層構造)

4-3 「はぎとり」の原理

「はぎとり」は、振動が震源を発生して、一度岩盤内へ入り、岩盤面に沿って伝搬した後、再び表層を通過して地表に達するに要した時間から、表層のみを通過するに要した時間を引くことによって行われる。

表層のみを通過するに要する時間は次のようにして求められる。単純に考えて、振動は表層と下層との境界で直角に曲がるものと仮定する。図 4-4 のように各記号を決めれば、表層を通過するに要する時間は次の如くである

$$R'R = \frac{AR + BR - AB}{2}$$

である。 T_1 曲線は各点の走時から $R'R$ を差し引いた点を結ぶことによってでき上がる。従って、「はぎとり法」では往復観測をすること、両起振点間の走時（全走時）を測定すること、「はぎとり」を行う走時は必ず岩盤面を通過したものであること等が必要である。

説明の便宜上、振動は両層の境界面に直角に曲がるように仮定したが、実際は境界角

= V_0/V_1 の角度で斜めに入射する。その場合でも原理的に変わりなく、その後の計算において、 V_0/V_1 に応じた補正がなされる。

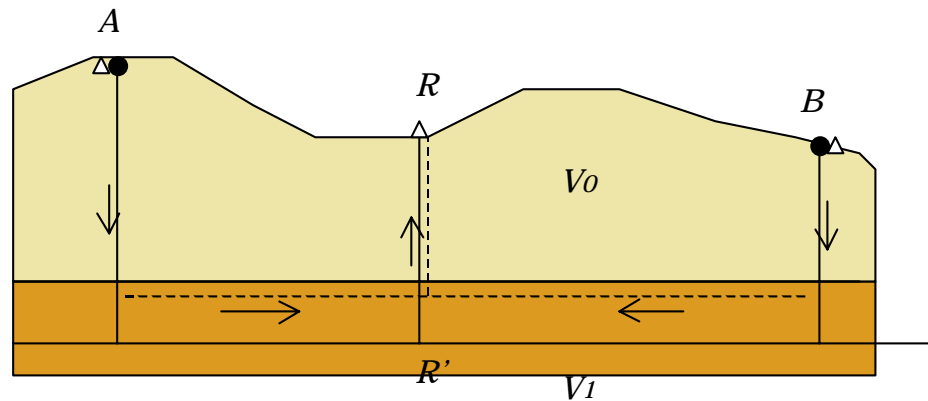


図 4-4 「はぎとり」の原理

注) 単純化し、臨界角 90° と仮定する。

R : 任意の受振点 () A, B : 起振点 () 及び受振点 ()

R' : R 直下岩盤面上の仮想受振点 () AR : $A \rightarrow R$ の走時

BR : $B \rightarrow R$ の走時

AB : $A \rightarrow B$ 又は $B \rightarrow A$ の走時

$R'R$: R' 表層を通過するに要する走時 = t

$$\overline{R'R} = t = \frac{\overline{AR} + \overline{BR} - \overline{AB}}{2}$$

AR 又は BR' : $A \rightarrow R$ 又は $B \rightarrow R'$ の走時

$$\overline{AR'} = \overline{AR} - t = T_1'(A \rightarrow R)$$

$$\overline{BR'} = \overline{BR} - t = T_1'(B \rightarrow R)$$

一般的には、図 4-5 に示したように、起振点 A, B からの往復測定が行われ、岩盤内を通過した走時について「はぎとり」が行われ、図示のように、 TAB の $1/2$ の線に対称に一組の「はぎとり線」 T_i' 曲線が得られる。

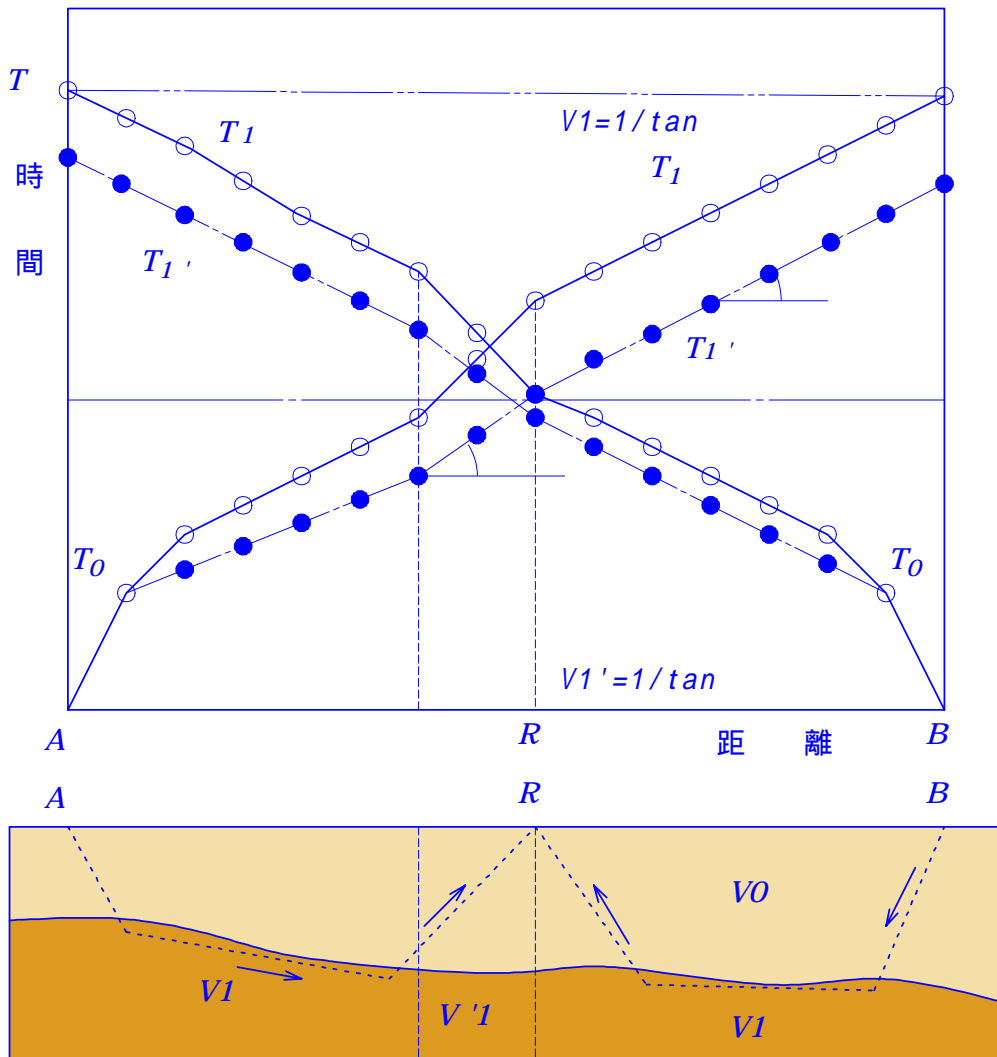


図 4-5 2層構造のはぎとり

4-4 解析結果例

弾性波探査における解析方法は、往復観測された走時曲線を利用した表層除去法（はぎとり法）である。

解析作業の手順を流れ図にして図 4-6 に示す。

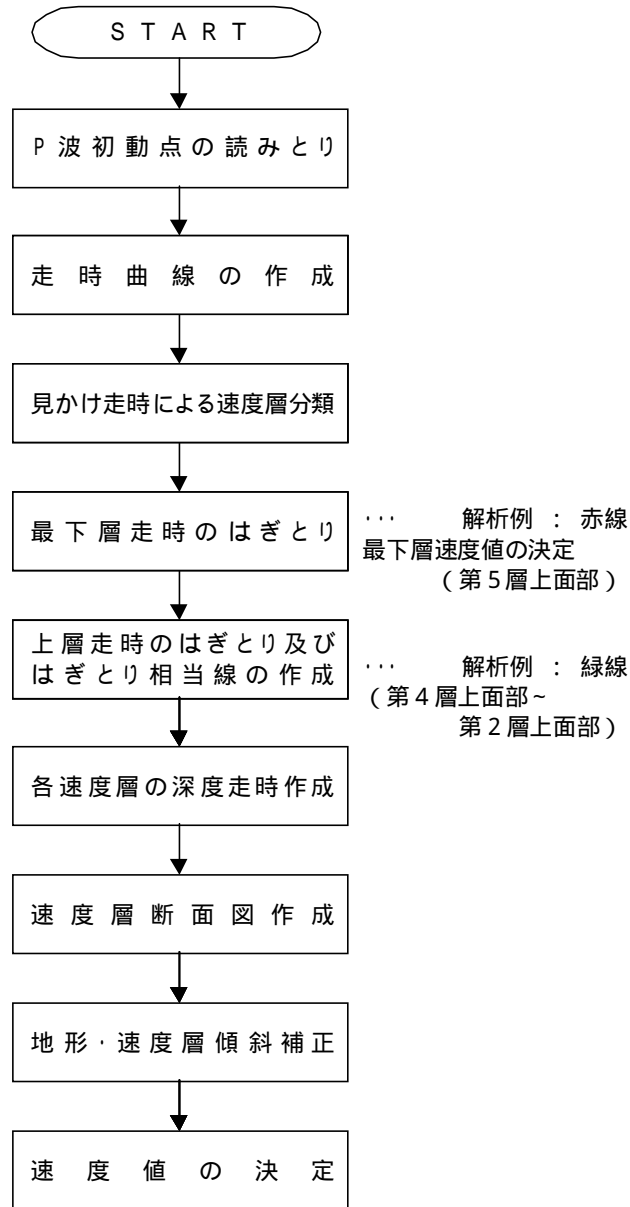


図 4-6 解析流れ図