

弾性波探査（屈折法）

Elastic Wave Exploration

概要

弾性波探査は、屈折法地震探査とも呼ばれ、地表または地中での発破などによって人工的に発生させた弾性波（縦波：P波、または横波：S波）が直接または屈折して地層中を伝播する状況を地表に設置した測定装置で観測し、その結果を解析して地下構造を解明する方法です。

日本では、1931年に山形県においてダム建設を目的とした河底砂礫層の厚さに関する調査が行なわれており、これが国内の土木分野で最初に実施された屈折法地震探査です。トンネル、ダム、鉄道、道路、造成など土木構造物の地質調査では必ずといっていいほど実施されています。1938年には、萩原（1938）が実際の現場データの走時曲線から基盤層の速度と基盤深度を計算する「萩原の方法（ハギトリ法）」による解析法を発表しました。この方法は、その後多くの研究者によって拡張展開され、いわゆる「拡張ハギトリ法」として今日に至るまで屈折法地震探査の標準的な解析法として用いられています。

実施方法

弾性波探査の一般的な実施手順は、図-1に示す通りです。火薬を用いる場合は、火薬使用量、有資格者、安全対策、地元の承諾書などを添付した「火薬類譲受消費許可申請」を行う必要があります。図-2に示すように、屈折波が地層境界を通過して再び地表で受信できる距離を考慮すると、測線長は探査深度の5～10倍程度とする必要があります。測定本部への計測機材の運搬、測線上へのケーブルの展開、受振器の設置、発破孔の削孔、火薬の充填を行って準備が完了します。発破は、火薬類取締法に準じて行い、特に飛石防止には十分注意して、保安物件や人・車の通行が近い地点では見張り員を配置して行います。

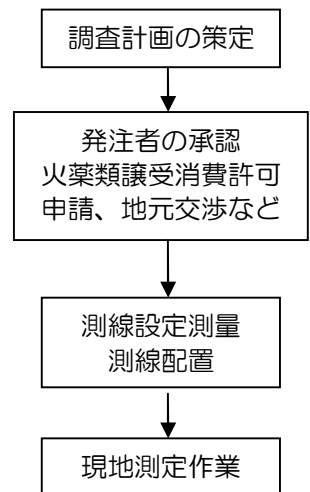


図-1 弾性波探査の実施手順

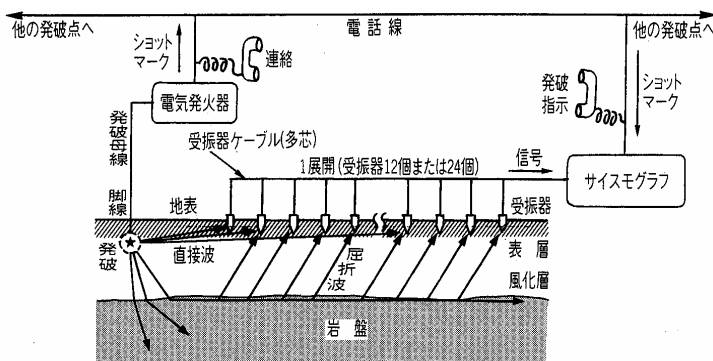


図-2 弾性波探査の測定概要図



図-3 火工所



図-4 弾性波探査計測器

解析方法

現場で取得した波形データから最終的な速度層断面を得るまでの作業（解析）は、図-5 に示す手順で行います。弾性波探査の解析は、「スネルの法則」を原理として、各地層の速度値より屈折の臨界面を求め、各速度層の境界面に沿って波動が伝播することを前提としています。波形記録から得られた走時曲線について、往復走時の一致、原点走時の一致、走時曲線の平行性といったチェックを行い、「拡張ハギトリ法」を適用して各層の速度走時曲線（ハギトリ線）を求め、速度構造が得られます。また、傾斜地での速度値の誤差を、解析された速度層の傾斜角で補正します（傾斜補正）。最終的に、解析と逆に速度構造を与えて走時を計算するパス計算を行い、パス計算結果が観測走時曲線と許容誤差以内で一致するように速度値と層境界深度を修正して、求める速度層断面が得られます。速度層断面の例を図-6 に示します。

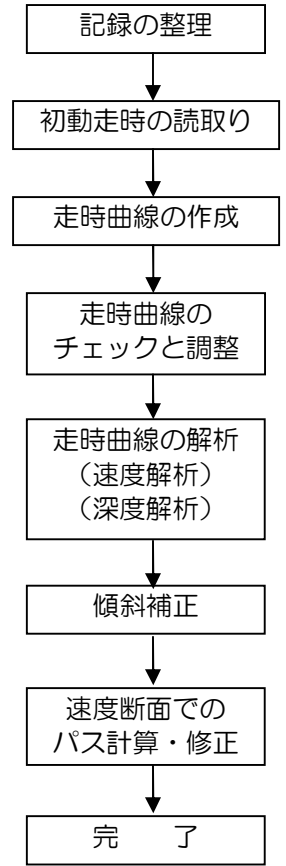


図-5 弾性波探査の解析手順

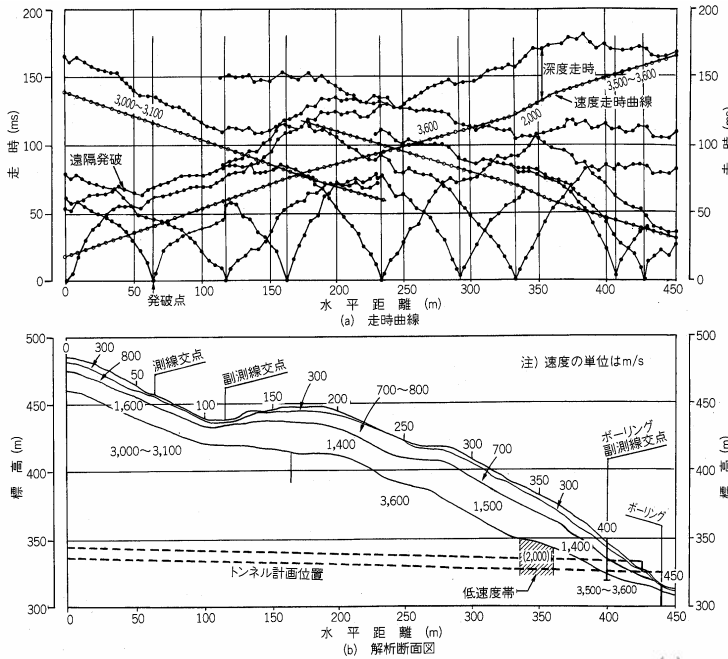


図-6 速度層断面の例

適用限界と技術動向

屈折法地震探査の大前提として、「地下の速度は深部ほど高い」と仮定しています。したがって、上位に高速度層が存在し下位が低速度となる、いわゆる速度逆転層が存在する場合、低速度層からの屈折波は地表で観測されないため、地下構造を知ることができません。このような場合は、反射法地震探査や速度検層を併用する必要があります。一定以上の層厚を持たない薄層や、地形や速度層境界の凹凸が解析誤差に影響するといった適用限界もあり、地形・地質状況を加味した判断が必要となります。

近年の技術動向としては、拡張ハギトリ法においても、コンピューターの進歩により速度層断面に対して行うパス計算もパソコンレベルで自動解析できるようになりました。一方、速度分布を層構造と仮定せず、深度方向ならびに横方向に連続的に変化するモデルによって観測値への逆解析を行う、いわゆる「トモグラフィー解析」によってやや複雑な速度分布が表現できるようになりました。図-7 は、層構造解析断面とトモグラフィー解析断面を比較したものです。

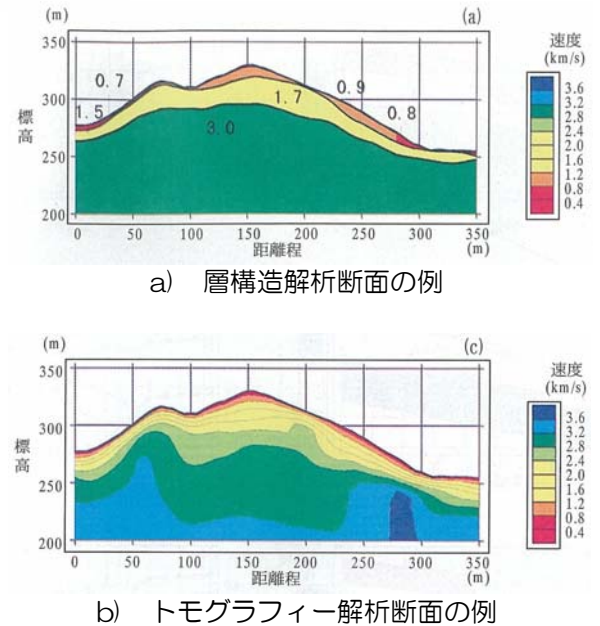


図-7 解析方法の違いによる速度層断面比較例

〔図表の出典：物理探査ハンドブック（物理探査学会）、斜面調査のための物理探査（吉井書店）、わかりやすい土木地質学（土木工学社）〕