

III-95 音波検層の土木工学への応用と実例

石油資源開発株式会社
同

山下武男(正会員)
藤原志一(正会員)

1 音波検層の原理

音波検層 (SONIC LOG) は、弾性波速度検層の一種で、超音波により、地層速度を測定する検層方法である。石油鉱業においては、地層速度から孔隙率を求める目的で、約10年前から、広く使用されている。孔内装置は、Fig.1のように磁歪振動子を発振器とし、これをゴム筒の中へ油とともに封入した型のもつが多い。

発振器と受信器の間の距離は、用途と装置の外寸などにより変り、2Mから1Mまで、さまざまである。また最近では、地層速度の測定に、孔壁の影響を少なくするために、Fig.2(A)のように、複数個の発振器を組み合わせたものが多用されている。

発振子の共振周波数は、20kHzで、パルス状に毎秒、14回の割合で音波を発射する。この音波は、Fig.2(B)の左図のように、TBCRの経路を通して受信器に到達する。TBとCRの間は孔内水が介在し、BC間が地層である。

受信器に受信された信号は、Fig.2(B)の右図のような波形になる。この波形の中には、音波の発射時を示すパルスIと、P波、S波、L波などの波が含まれている。

Fig.3は、最近筆者らが主として

土土地質の調査用に使用している音波検層機の電気回路のブロックダイアグラムである。

音波検層を実施する時には、ボーリング孔内は、水が充満していることが必要で、音波は、水を通して、無指向性に発射され

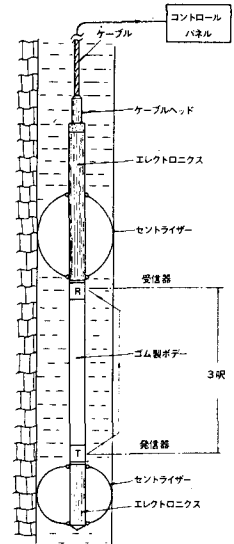


Fig.1 音波検層機構造図

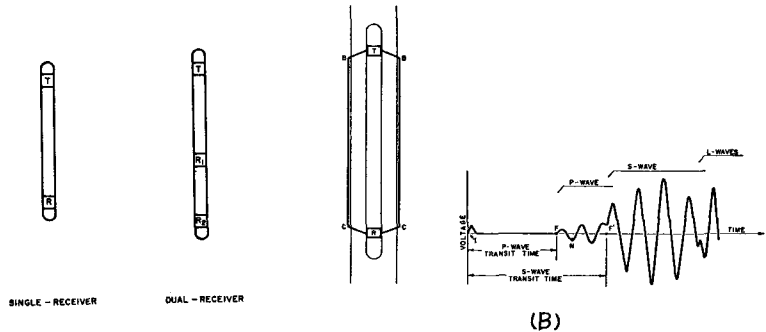


Fig.2 (A) 音波検層ゾンダの型式
(B) 音波の経路と受信波形

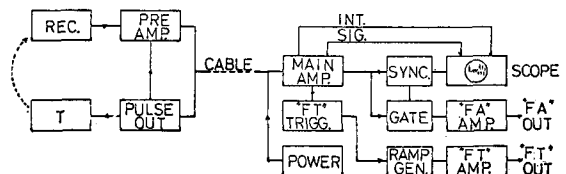


Fig.3 1 1/16" SONIC TOOL BLOCK DIAGRAM

る。この音波は、圧力波（P波）として地層に入射し、音波エネルギーの一部は、Snellの法則に従って孔壁に沿った方向に屈折する。

Fig. 4は、この状態を説明した模式図で、左は、孔壁に沿って地層中を進むP波を、右は同じくS波を示したものである。S波速度は、P波速度に比較して遅いので、孔壁に入射する音波エネルギーの入射角は、 $i_s > i_p$ になる。

孔壁に沿い、地層中を進む2種類の波は、再び逆の過程を経て発振子に入る。換言すれば、S波として存在するのは、Fig. 4の右図のB'C'間だけであり、発振子に入るS波信号は、地層を走行したS波が、発振子に近い孔壁で、水中をP波に変換されたものである。P波とS波の識別は、波形上で、それぞれの振中や固有周期の相違により行なう。

石油鉱業においては、P波と同時に観察されるS波については、殆ど利用されていない。近年、土木工学の分野で、S波の重要性が認められ、いろいろな探査方法が開発され、動弾性係数の算定に利用されている。筆者らは、音波検出を土木の地質探査に応用することを試み、トンネル、橋脚などの岩盤調査に実用した結果を、ここに報告する。

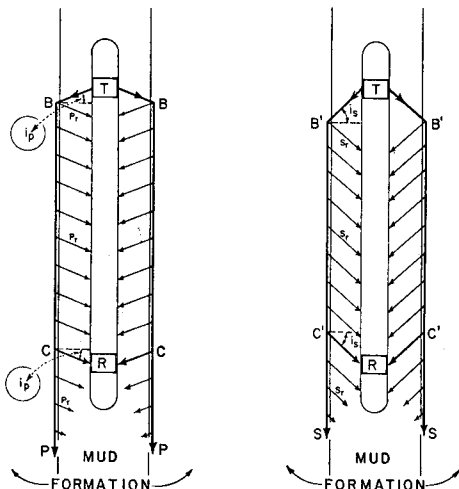


Fig. 4 左はP波、右はS波の伝播経路

2. 音波検出の記録方法

音波検出の記録には、次の3種類がある。

1) FT曲線とFA曲線

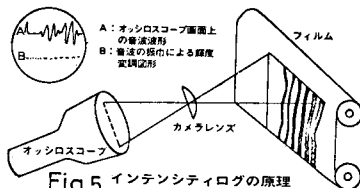
FT曲線は、P波が地層の単位長を走行する時間を、またFA曲線は、P波の最初に到着した半サイクルの振中を記録したものである。

2) Wave Train Film

受信した音波の波形を逐次、連続撮影装置により、フィルムにコマづつ撮影したものである。通常、1m当り、数コマの撮影を行なう。

3) Intensity Log

Fig. 5のように、音波信号の振中電圧によって、オシロスコープの輝度変調を行ない、これを深度とともに、連続的に記録したものである。



3 音波検出の記録の実例

以下に、実際にボーリング孔で行なった音波検出の各種の記録と、計算結果などについて、概要を述べる。

1) Wave Train による、P波とS波の読みとりと計算例

Fig. 6 は、孔径 65 mm、深度 40 M の孔内で撮影した Wave Train の例である。岩質は、花崗岩である。読みとり値と、計算したポアソン比、ヤング率を、記に示す。

$$\Delta T_P = 190 \text{ us/3ft.} \quad \Delta T_S = 360 \text{ us/3ft.} \quad \rho = 2.58 \text{ gr/cm}^3$$

密度 (ρ) は、同時に実施した密度検定の結果による。

$$V_P = 4810 \text{ m/sec.} \quad V_S = 2540 \text{ m/sec.}$$

$$\text{ポアソン比: } \nu = 0.307$$

$$\text{ヤング率: } E = 44.1 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

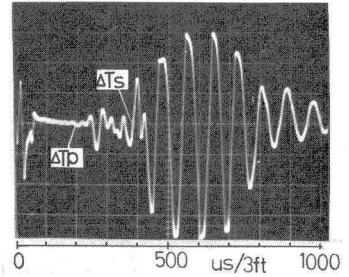


Fig. 6 ボーリング孔で記録した波形

2) Intensity Log の例

Intensity Log は、岩盤のキレツや、断層破碎帯の有無を調査する方法として、有効である。

即ち、FT 曲線は、単なる走行時間の記録であって、地層の速度の遅速が判明するに過ぎない。また、Wave Train Film は、P波、S波のある瞬間の記録であって、地層情報としての連続性に欠ける恨みがある。

その裏、Intensity Log は、黒と白の濃淡の縞もようになり、P波、S波などの変化を連続的に記録したものであり、振中や、速度の全体的な傾向を、一見して判別しうる利便がある。

キレツや破碎帯があれば、一般にP波、S波ともに振中は著しく減衰するが、その変化は、単に速度や振中にとどまらず、波の位相、固有周期などにも影響をあたえる。また、キレツの多い地層では、音波がキレツ内で反射し、波形に歪をあたえ、従って Log の縞もようになり、細かい乱れが生じる。また、地層の境界や、水平方向の大きなキレツがあれば、縞もようの上に、斜めになった反射波の特徴である縞が表示、判別できる。更に、孔径の変化も、音波の通路長が変わることにより、速度の遅れとなって表示、縞もようになり、階段状の変化をあたえる。

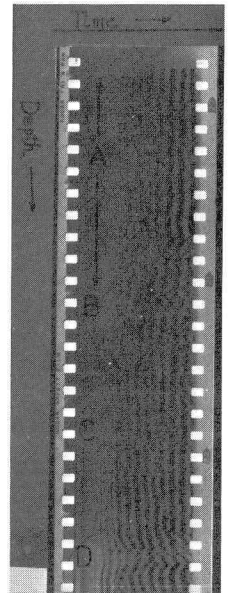


Fig. 7 ボーリング孔で記録した Intensity Log.

Fig. 7 は 1) と同じボーリング孔における記録で、同様に岩質は花崗岩である。A の部分は、比較的、風化の進んだ中硬度の花崗岩で、速度は、3 km/sec 前後である。B 以下は新鮮に近い硬質の花崗岩で、速度は、4 ないし 5 km/sec、縞もようの形も A とは、異なっている。B、C、D の各部分、キレツの影響が見える。

3) 岩質区分の判定

音波検定に比抵抗検定を併用し、岩盤の速度と、真の比抵抗値から、孔隙率を求め、岩盤の風化程度を定める場合の判定資料とすることを試みた。

一般に、硬い岩盤ほど、速度は早くなり、同時に比抵抗値も高くなると言えるが、岩盤内の空隙の状態、その中に含まれる地下水の比抵抗、および、その水の空隙中の飽和率などが影響を無視することはできない。詳細については、別途、報告することにしたい。