

1. はじめ

或る花崗岩地域の岩盤調査ボーリング孔で物理検層を実施し、岩盤の動盤の動弾性定数の算定、および、各検層測定値相互の相関などの検討を行ない、更にこの関係を利用して、岩盤区分の判定を試みた。

物理検層の測定種目は、速度検層を中心に、密度検層、比抵抗検層、孔歪検層を行なった。

速度検層は、超音波振動子を応用した、孔中発信、孔中受信形式のゾンデにより、ボーリング孔壁を伝播する超音波の伝播時間を測定する。また同時に、受信波形を記録し、波形から、P波とS波速度の読みとり、岩盤区分の判定などを行なう。

また密度検層は、ガンマ線源を用いて、岩盤の見掛け密度を測定するもので、この測定値は、ヤング率の算定に利用される。

比抵抗検層は、岩盤の比抵抗値を求め、岩質や岩盤の風化の進行の程度を判定する。

孔歪検層は、ボーリング孔の直径を測定し、速度検層、密度検層などの測定値の孔歪補正に利用する他、崩壊性の岩盤を発見することが出来る。

以上の物理検層種目の組み合わせは岩盤の動弾性的な性質を解明するためには、最も効果的と思われる。

2. 物理検層の原理と用途

2-1 速度検層



Fig. 1

音波検層機の原理

間には、次の関係式がある。

$$\frac{1}{V_p} = \frac{(1-\phi)}{V_m} + \frac{\phi}{V_f} \quad (1)$$

ここに、 V_m は岩石マトリックスの速度であり、 V_f は、空隙内に含まれる水の速度である。一般に花崗岩では、 $V_m = 6.1 \text{ km/sec}$ 、また水は $V_f = 1.5 \text{ km/sec}$ である。

速度検層機は、ボーリング孔壁の岩盤内を伝播する超音波の伝播時間を測定する

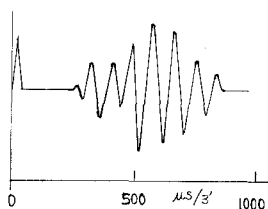


Fig. 2

音波検層機による受信波形

方法で、Fig. 1のように磁歪または電歪振動子をゴムの筒の中に収めて発受信子としたもので約20 kHzの音波を、毎秒20回の割合で発射しながら測定を行なう。P波の伝播速度： V_p と岩盤内の空隙率中の

Fig. 2は速度検層における受信波形で、P波の他にS波、L波が観察される。L波は、ボーリング孔内の孔内水中を伝播する波である。硬質 岩盤の場合はP波はもとより、S波も明瞭に識別できるが、軟質になると、S波は発生しないか、或は識別し得ぬ位、微弱になることが多い。即ち、孔内水の速度に近い岩盤速度の場合には、孔壁で屈折する波動は発生し得なくなる。受信波は、岩質、キレツや破碎の程度により、速度周期、位相、振中に大きな影響を受ける。従って受信波の記録から、P波、S波の速度を求める他、定性的な岩盤区分の評価が可能である。

2-2 密度検層

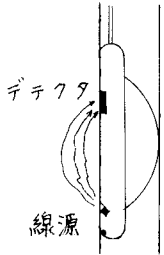


Fig. 3
密度検層の原理

密度検層機は、セシウム137などのガンマ線源を用いて、岩盤に向け、ガンマ線を放射し、コンプトン効果による散乱ガンマ線の強度をガンマ線デテクタによりカウントし、岩盤の見掛け密度を測定する方法である。

岩盤の見掛け密度を ρ_b とすると、

$$\phi = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m - \rho_f} \quad (2)$$

なる関係式により岩盤の間隙率が求められる。ここに、 ρ_m は岩石マトリックスの密度で花崗岩の場合は、2.7～2.8である。 ρ_f は水の密度である。密度検層の測定値は、ヤング率の計算の際に使用する。

2-3 比抵抗検層

Fig. 4は、比抵抗検層の原理図でいわゆる、2極法（ノルマル）と呼ばれる方法である。電極間隔はショートノルマルで $AM_1 = 0.4M$ 、ロングノルマルで $AM_2 = 0.8M$ である。

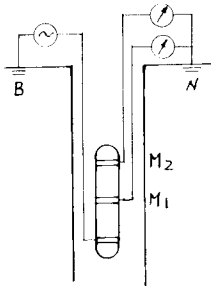


Fig. 4
比抵抗検層の原理

岩盤の比抵抗は、 M_1 および M_2 の各比抵抗値から算定される。

一般に地下水位以下の岩盤においては、比抵抗値は、岩盤のキレツの発達具合を示すものとみてよく、特に風化著しい岩盤或は、断層粘土などにおいては、著しく低い抵抗値を示す。

岩盤の比抵抗値を R_t とすれば

$$R_t = \frac{R_w}{\phi^2} \quad (3)$$

で表すことができる。 R_w は、岩盤内に含まれる水の比抵抗値である。

3. 測定結果の解析

3-1 V_p, V_s の解析

速度検層における受信波形（ウェーブトレース）

の代表的なものがFig. 5である。図は、

硬質な、比較的新鮮な岩盤のものである。

P波とS波の識別は、周期が早く振中がやや低い、200～350 μs 附近の波がP波の

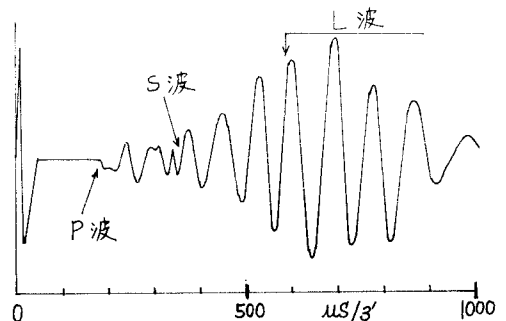


Fig. 5 音波検層のウェーブトレース

ものであり、周期が遅く、振中の高い約360 M/s 附近から始まる波がS波である。

各波の伝播時間から、 V_p ならびに V_s が計算される。

岩盤の新鮮さが失われるにつれ、ウェーブトレーンの形状は、変化し、一般にS波の振中は減少して、識別が難しくなる。

3-2 ρ の解析

岩盤の見掛密度値は、密度検出曲線のガンマ線カウント値から、較正図表を用いて、簡単に密度値として求められる。較正図表は、予め、密度既知のテストピットにおいて、ゾンドの較正を行ない作成されたものを使用する。

3-3 ポアソン比とヤング率の計算

$$\text{ポアソン比 } \nu \text{ は、 } \nu = \frac{0.5 \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1} \quad (4)$$

またヤング率、 E は

$$E = 2\rho V_s^2 (1 + \nu) \quad (5)$$

により、それぞれ、計算される。 ρ は、密度検出から求めた見掛密度値である。

3-4 比抵抗値の解析

岩盤の比抵抗値は、ショートノルマルとロングノルマルの各値から、比抵抗解析図表（シュランベルジャー社刊、Departure Charts）を用いて、求める。この際、孔内水の比抵抗値を、予め、正確に求めておく必要がある。

経験的に、ボーリング孔の孔径が65 mm程度の場合は、 $AM_1 = 0.4 M$ のショートノルマルが、比較的よく岩盤の比抵抗値に近い値を示す。岩盤の比抵抗、 R_t は、

$$R_t = \left(1 + \frac{0.8}{e} \right) R_a \quad (6)$$

なる関係式で概算を求めることができる。

ここで e は対象とする岩盤の厚さ、 R_a は、ショートノルマルの測定値である。

4. 結果の検討

4-1 岩盤の速度とヤング率

Fig. 6 は、岩盤の速度とヤング率の関係をプロットしたもので、実線は、 V_p 、鎖線は、 V_s を表す。2本の線の勾配から、 V_p/V_s は、約、2に近いことが判る。横軸に V_p に対応する中の値を目盛ってみた。

4-2 岩盤の見掛密度とヤング率

Fig. 7 は、岩盤の見掛密度と、ヤング率をプロットしたもので、図のように、各点は、ほぼ45°のライン上にのる。この関係を利用して、假に岩盤区分を試みると、次表のようになる。

岩盤区分	記事	ヤング率 $E \times 10^4 \text{ ksc}$	密度 $\rho \text{ gm/cc}$
A	極硬質	$E > 60$	$\rho > 2.70$
B	硬質	$60 \geq E > 45$	$2.70 \geq \rho > 2.60$
C	中硬質	$45 \geq E > 30$	$2.60 \geq \rho > 2.47$
D	軟質	$30 \geq E > 20$	$2.47 \geq \rho > 2.34$
E	極軟質	$E \leq 20$	$\rho \leq 2.34$

4-3 岩盤の比抵抗とヤング率

Fig. 8は、岩盤の比抵抗とヤング率の関係をプロットしたものである。(3)式のように、 R_t は、岩盤の空隙内に含まれる水の比抵抗 R_w により大きく影響されるので、縦軸は、 R_t/R_w で表した。ただし、 $R_w = 50 \Omega\text{-M}$ と假定した。

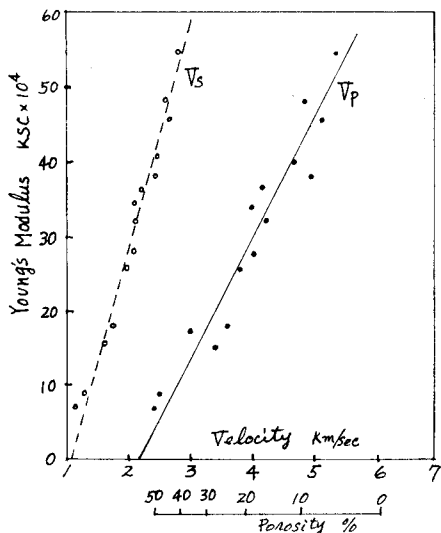


Fig. 6 岩盤の速度とヤング率

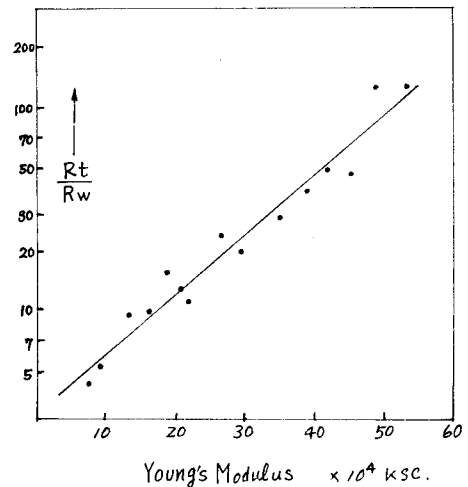


Fig. 8 ヤング率と岩盤の比抵抗

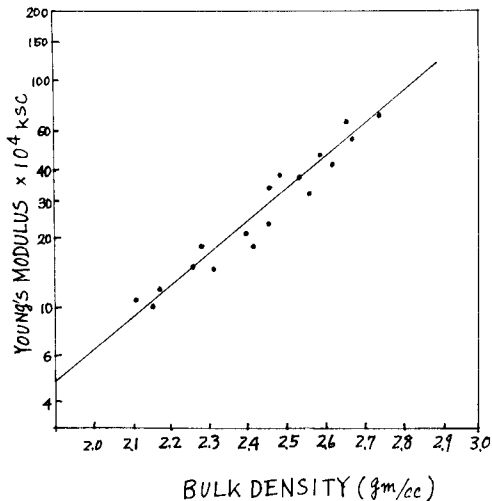


Fig. 7 岩盤の見掛け密度とヤング率