

1. まえがき

最近、小型計数表示型速度測定器“ポケットサイズ”ES-1A（米国ニンバス社製）が開発された。この装置は従来のものに比べて極めて小型・軽量で操作が容易なため、急速に普及し始めている。そこで、筆者らは岩盤等級の定量的分級法に関する研究の一環として、この装置の岩盤計測への適用性を検討するため、2, 3の測定を行ったので、以下に紹介したい。

2. 装置の概要

ポケットサイズは、本体、受振器およびハンマースイッチから構成されている。本体はハンマースイッチの作動から、受振器の作動にいたるまでの波動の到達時間をデジタル表示する。受振器は固有周波数28Hzの動電型で、ハンマースイッチには圧電素子を使用している。電源は乾電池を使用しているので、本体の重量は550gときわめて軽量である。

3. 測定方法

現地試験は三波川結晶片岩類に属する珪質黒色片岩の分布している地域に掘削された調査横坑の内部で実施した。測定地点は、岩盤等級の定量的分級への適用を考え、各岩盤等級区分に実施されている平板載荷法による変形試験箇所（14箇所）および各岩盤等級の代表的な箇所を選定した。当地点における珪質黒色片岩の片理の傾斜はほぼ水平であり、平板載荷法による変形試験は水平方向（片理に平行）と垂直方向（片理に直角）の2方向について行なわれている。したがって、ポケットサイズの測線は変形試験に合せるため、坑壁に対し、縦、横の2方向へそれぞれ設定した。

測定範囲の設定に当っては、ポケットサイズの使用限界を把握する必要がある。ここでは、各岩盤等級（B級、C^上級、C^中級、C^下級）について、測定可能な限界をテストし、測定範囲は各クラスの共通した測定限界距離の範囲内で、3mとした。一方、変形試験箇所では、変形試験の物性との相関性を把握するため、変形試験における応力の伝播範囲（載荷板直径の3～5倍と考えられる）を考慮し、試験位置を中心に2mとした。測定点は、変形試験箇所では、受振点から1m、1.5m、2.0mの3点として、その他の岩盤等級区分では、受振点から1m、2m、3mの3点とした。各測定点における計測数は岩盤の不均質性を考慮し、20点とした。

岩盤計測に当っては、ハンマーにハンマースイッチを取付け、直接測定地点に打ちつける方法を避け、ここでは、“シュミットハンマー”の先端にハンマースイッチを取付けて、一定の打撃力による測定方法を採用した。また、受振波のトリガーレベルはノイズの影響を受けない範囲の低い位置で一定にした。

4. 岩盤計測結果

1) ハンマースイッチをハンマーに取付けて打撃した場合とシュミットハンマーを介して打撃した場合の比較結果

ハンマースイッチをハンマーに取付けて、直接測定地点に打ちつけた場合とシュミットハンマーを介して打撃した場合の走時を比較すると、図-1に示す通りである。これによれば、シュミットハンマーを介して、一定の打撃力で打ちつけた場合の方が、各距離における走時のばらつきが小さい。また、各測定点における走時を比較すると、シュミットハンマーによる測定値は、ハンマーにハンマースイッチを直接取付けて打撃した場合の測定値より全体的に大きくなっている。これらのことから、シュミットハンマーを使用して得た走時は、ハンマースイッチをハンマーに取付けて、直接測定点に打ちつける方法から得た走時に比べて、受振波形のばらつき、およ

びハンマースイッチの遅れが小さいことを示しているものと考えられる。

2) 各岩盤等級におけるポケットサイズの使用限界テスト結果

各岩盤等級 (B級, C^+ 級, C^H 級, C^F 級) におけるテスト結果を比較すると, 図-2 に示す通りである。これによると, ポケットサイズの使用限界 (走時のばらつきが小さい範囲) は, B級岩盤では7 m以上, C^+ 級岩盤では5~6 mまで, C^H 級および C^F 級岩盤では3~4 mと判断される。それ以上の距離における走時は, ばらつきが大きいため, 走時の信頼性を判断し難い。

このように, B級および C^+ 級岩盤における使用限界距離と比較して, C^H 級および C^F 級岩盤の使用限界が短い原因は, 脆弱岩盤ほど受振波の減衰が大きいため, トリガーレベルによる遅れの影響が拡大するものと考えられる。

なお, 当地点の横坑内において, 8 m以上にわたってB級岩盤が連続して分布しているところは存在しないので, B級岩盤における実際の使用限界距離は把握できなかった。

3) 岩盤計測における走時のばらつきについて

各岩盤等級に共通した使用限界距離内の距離3 mにおける各岩盤等級の走時のばらつきを, 岩盤等級別に度数分布図として, 図-3 に表現した。これによると, B級岩盤における走時は, ばらつきの範囲が小さく, 全体的に小さいところに集中している。 C^+ 級岩盤では, 平均走時としては, B級岩盤と比較的近似しているが, 個々の走時はかなり広い範囲に分散している。 C^H 級および C^F 級における走時は, B級および C^+ 級のものと比較して明らかに差異が認められる。特に, C^F 級岩盤における走時は, 他のクラスに比較して, 最頻値の個数が少なく, より広い範囲に分布しているが, これは, 岩質が不均質の上に, シーム, 片理など

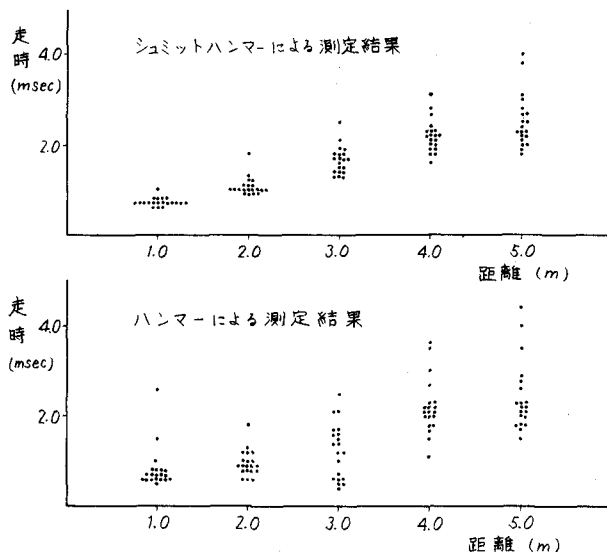


図-1 ハンマーの打撃から得た走時とシュミットハンマーの一定した打撃力から得た走時の比較

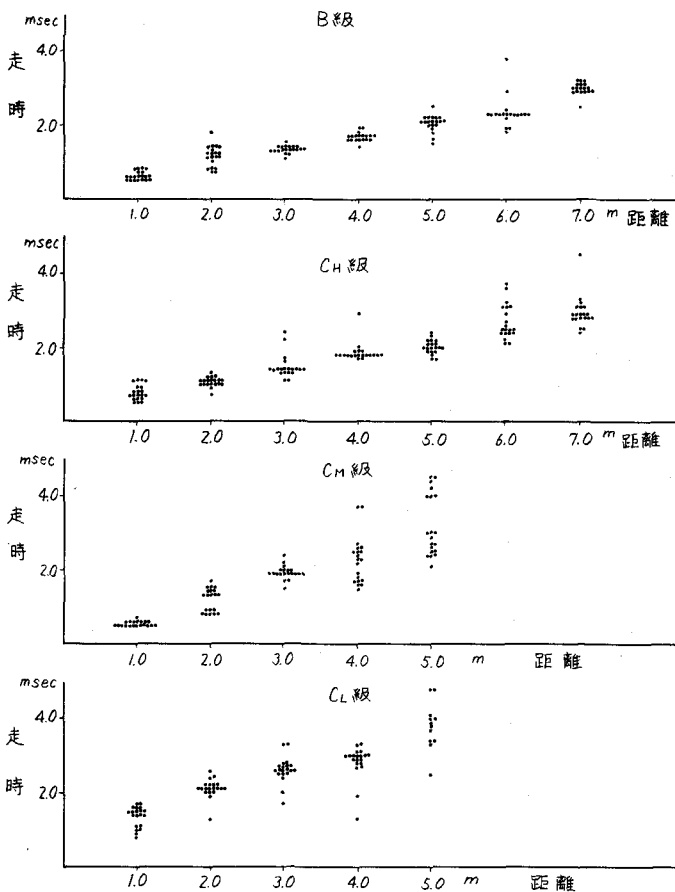


図-2 各岩盤等級におけるポケットサイズの使用限界テスト結果

の不連続面が個々の測定値に与える影響が、他のクラスより大きいこと、および脆弱岩盤ほど受振波形の立ち上りは緩やかなため、トリガーレベルの遅れが大きく影響しているものと考えられる。

なお、各岩盤等級の走時の分布には、かなりオーバーラップした部分が認められるが、これは、各岩盤等級における岩盤の性状が単純な構成ではないこと（たとえば、C⁺級岩盤は堅固な岩盤とやや脆弱な岩盤の混在するもの）を意味するものと考えられる。

5) 岩盤の静弾性係数測定結果

当地点の横坑内で実施された平板载荷法による変形試験結果から、静弾性係数を岩盤等級別に整理し、図-4に示した。これによると、岩盤等級と静弾性係数との間には、かなり高い相関性が認められ、岩盤が良くなるに従って、静弾性係数が大きくなっていく。

また、当地点の横坑内に分布する珪質黒色片岩は、図-4で示すように、片理による顕著な異方性は認められない。この傾向はポケットサイズによって測定された走時においても、同じ傾向が示されている。したがって、以下の検討では、珪質黒色片岩の片理による異方性はないものとして取扱う。

5. 平均走時と岩盤等級および静弾性係数との関係

すでに述べたように、各測定点において測定された走時のばらつきは、ハンマースイッチの作動の遅れ、トリガーレベルによる

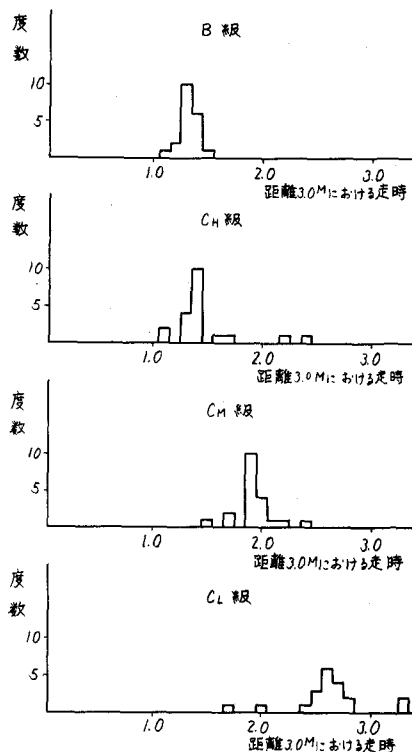


図-3 各岩盤等級における走時の度数分布

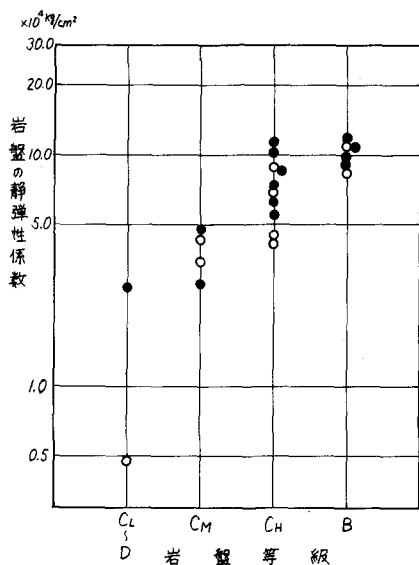


図-4 岩盤等級と静弾性係数の関係

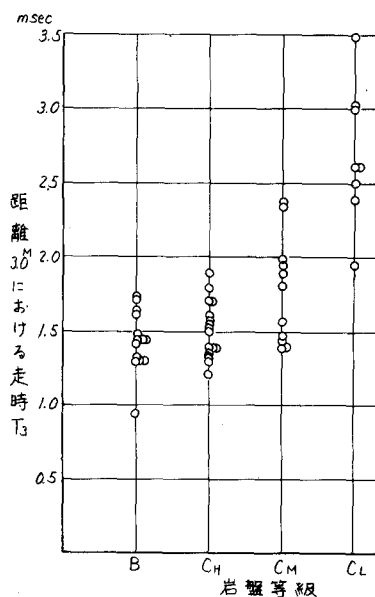


図-5 距離3.0^Mにおける走時と岩盤等級の関係

遅れが、上述の配慮しても、なお必ずしも一定しないこと、および打撃点のばらつきによる岩盤の不均質性などに起因するものと考えられ、このような装置自身の誤差を含んだ走時曲線から、直接、弾性波速度を求める方法は、現段階では、適切とはいえない。しかし、これらの誤差を含んだ走時でも、弾性波速度と共通した岩盤の物性値を表現する一つの指標になるものと考えられる。

そこで、各測定点で測定された走時の平均値を平均走時として、以下に岩盤等級および静弾性係数との相関性を検討する。

1) 平均走時と岩盤等級との関係

各岩盤等級に共通するポケットサイズの使用限界距離内の距離 3 m における平均走時を T_1 とし、岩盤等級との相関性を検討し、図-5 に示した。これによれば、平均走時 T_1 と岩盤等級との間には、ある程度のばらつき、あるいは重複する部分を有しているが、平均走時 T_1 が大きくなるにしたがって、岩盤等級は下がる（脆弱岩盤になる）傾向を示している。

なお、B 級岩盤における平均走時と C⁺ 級岩盤における平均走時は、かなり近似しているが、この原因は、当地点における B 級岩盤は連続して広く分布せず、大部分の B 級岩盤中に C⁺ 級岩盤を挟在しているためと考えられる。

2) 平均走時と岩盤の静弾性係数との関係

ここでは、変形試験における応力の伝播範囲を考慮し、距離 2 m までの各測定点における平均走時を 1 m 当りの平均走時 T_1 で表現し、岩盤の静弾性係数との相関性を検討した。検討結果は図-6 に示す通りである。これによると、静弾性係数が大きくなるにしたがって、 T_1 は小さくなる傾向が認められる（相関係数 -0.859）。

6. むすび

ポケットサイズは計数表示型であるため、このタイプの共通した欠点を有している。しかし、ハンマースイッチの作動の遅れおよびトリガーレベルによる遅れなどを考慮し、平均走時を岩盤物性の一つの指標として用いれば、ポケットサイズによる岩盤計測は、岩盤評価の適用の有用性が認められる。

なお、この報告は、数少ないデータをもとに検討したものであり、さらに、データを集積し、十分な検討を加える必要があり、今後、この点についての研究を進める考えである。

終りに、本研究を進めるにあたり、終始適切な御助言をいただいた土木技術研究所地質部物理地質研究室本荘静光主査研究員に対し、厚く感謝する次第である。

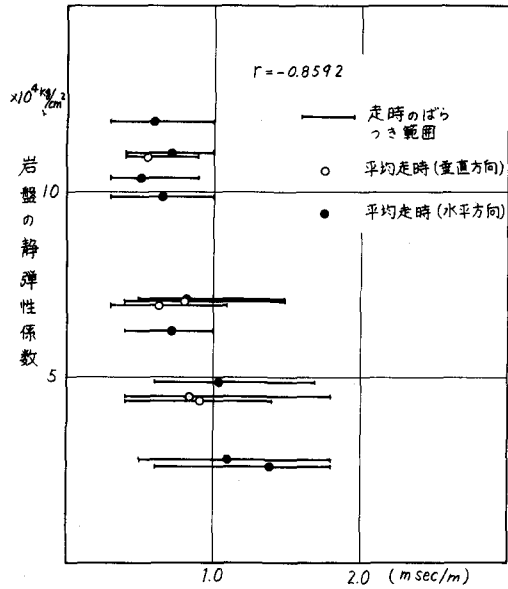


図-6 平均走時 T_1 と岩盤の静弾性係数との関係

Comparison between rock-grades and physical properties measured by a new seismic timer.

Kazuo SAITO

Kokichi KIKUCHI

Recently, a very accurate seismic timer for engineering, commercially called "POCKET-SEIS", is developed. This new instrument is smaller in size, lighter in weight and easier for operation than the older one, and it has been put into use rapidly in practice. The authors have made a few measurements in a series of studies on a quantitative classification of physical properties of rocks and the results with the known rock-grades by employing this instrument. From the measurement, the following results have been obtained:

1) In order to make a delay of switching shorter, at the time of measurement of physical properties of rocks, the instrument has been partly improved by attaching the hammer-switch on "Schmidt-Hammer". As a result a constant shock of hammering can be generated. The time-distance relation obtained by this new method gives smaller irregularities and more accurate result.

2) By summarizing all the results observed, an intimate interrelationship among the average time-distance T_1 (where T_1 is the average time-distance per meter on each measurement point), statical modulus of elasticity of rock, and the rock-grades is recognized.

3) Although "POCKET-SEIS" has a defect in having a delay of switching and of trigger level, measurements of rock properties by "POCKET-SEIS", if improved partly, can be applied to a classification of rock-grades.