

## 簡易弾性波測定器による岩盤評価

電力中央研究所 ○齊藤 和雄

楠 建一郎

菊地 宏吉

### 1. ま え が き

ダム、発電所、トンネルなど土木構造物の設計には、基礎岩盤の変形係数および静弾性係数は不可欠な物理定数である。これらの物理定数は、一般に構造物個所の基礎岩盤中に掘削される調査坑を利用して実施される岩盤変形試験の結果から得られるが、この試験はかなり多額の費用と日数がかかり、また、試験個数が限られることおよび、その試験の性質から、構造物基礎全体にわたっての連続的な物理性状を把握出来ないという欠点がある。これに対し、弾性波速度は直接的には設計に用いられる物理定数は得られないが、広範囲にわたって連続的な基礎の物理性状を把握することができる。

最近、アメリカのインバス社によって、簡易弾性波速度測定器“サイスマグラフ ES-100型”が開発された。この測定器はハンディーであるうに、操作が簡単であるので、性能の如何によっては、建設地点などのような迅速な結果を要求される場合の岩盤計測および評価に有効な手段となる。

この場合、得られた弾性波速度と変形係数および静弾性係数との対応づけを行っておけば、岩盤評価に対しさらに有効と考えられる。

また、土木地質における岩盤等級の分級方法は、主観の入らない客観的なものであること、設計に用いられる物理定数との対応づけがなされていることなどが要求されるが、簡易弾性波測定器による計測を併用すれば、岩盤の物理定数を背景とした岩盤等級の分級において、より客観性をもった等級の判定が可能と考えられる。

このような理由から、筆者らは、ダムサイト、地下発電所および原子力サイトに実施された調査横坑を利用して、この測定器の岩盤計測への適用性を検討した。以下、その結果を紹介する。

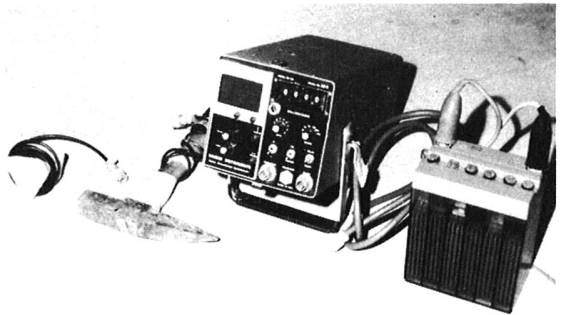


図-1. サイスマグラフ ES-100 装置

### 2. 装置の特長

本装置は図-1に示す通りであり、その特長は下記の通りである。

- 1) サイスマグラフ ES-100 は、小型・軽量であり、震源にハンマースイッチを用いているので、火薬が不要であること。
- 2) 受振計は手で押えておくだけでよいので、岩盤の表面付近の弾性波速度が求められる。
- 3) 信号を記憶し、さらに信号を任意の回数加算することができる。また、地震波形は常にオシロスコープに表示されるので、その状態を見ながら、必要な任意回数だけ加算することが可能である。

### 3. 測定について

測定は次の2項目を主な目的として行なった。

- 1) 原位置変形試験結果と弾性波速度値との対応性の検討

2) 岩盤掘削に伴なうゆるみ域を屈折法により把握すること。

#### 4. 原位置変形試験結果と弾性波速度値との対応性の検討

サイсмоグラフの岩盤計測の適用に当っては、まず、巨視的に等質、等方性に近い花崗岩の地点で、実施された原位置変形試験箇所を選び、サイсмоグラフの岩盤計測の適用性を検討し、次いで、種々の塊状岩盤で実施されている変形試験箇所について、岩盤計測を行なった。

測定方法は、原位置変形試験の応力伝達深度を考慮して、発振点と受振点の間隔は原位置変形試験の載荷位置をはさんで4mとした。

測定の結果は次の通りである。

1) サイсмоグラフで測定した花崗岩の弾性波速度と静弾性係数および変形係数との間には、図-2、図-3に示すような相関性が認められる。すなわち、弾性波速度と静弾性係数の関係は、弾性波速度が大きくなるにしたがって静弾性係数は対数的に増加する傾向を示しており、弾性波速度と変形係数の関係も同じ傾向が示されている。

また、種々の塊状岩盤で測定されたサイсмоグラフによる弾性波速度と静弾性係数および変形係数の関係は図-4および図-5に示す通りである。これによれば、花崗岩におけるものと同様、弾性波速度が大きくなるにしたがって静弾性係数および変形係数は増加し、かなり、強い相関が認められる。

したがって、これらの関係から、岩石の成因が異なっても、硬質で塊状を呈する岩石であれば、同一のグループとして取扱えるものと考えられる。また、これらの結果から、オーダー的な岩盤の静弾性係数および変形係数を推定することがで

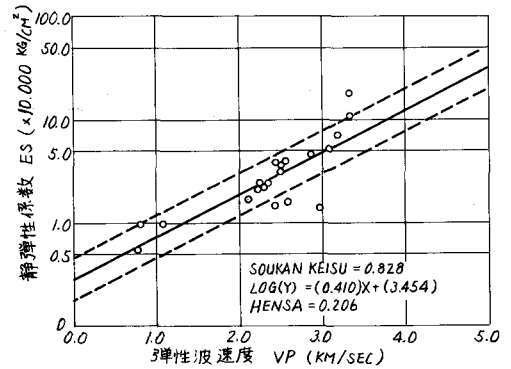


図-2. 花崗岩における静弾性係数とサイсмоグラフによる弾性波速度との関係

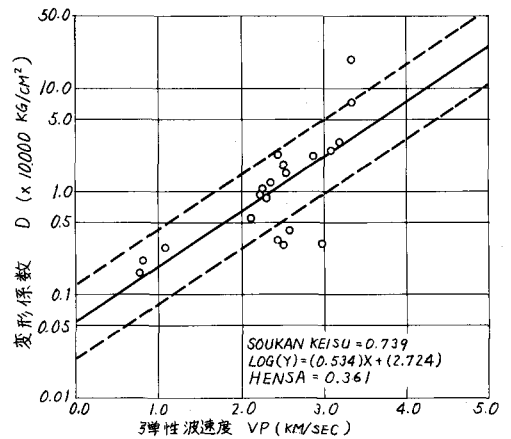


図-3. 花崗岩における変形係数とサイсмоグラフによる弾性波速度との関係

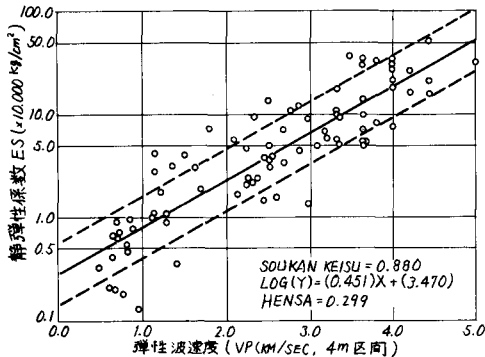


図-4. 種々の塊状岩における静弾性係数とサイсмоグラフによる弾性波速度との関係

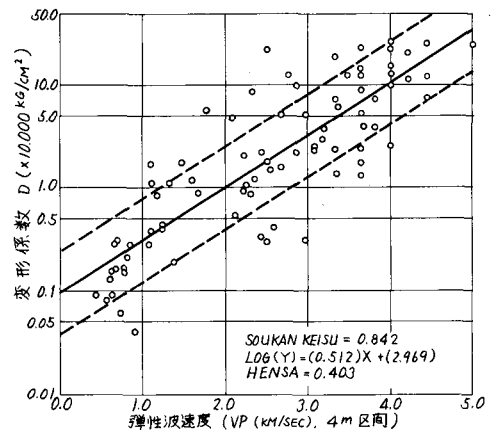


図-5. 種々の塊状岩における変形係数とサイсмоグラフによる弾性波速度との関係

き、岩盤計測および評価の迅速な結果が要求されるダムおよび地下発電所等の建設時においては、かなり役立つものと考えられる。

### 5. サイスマシグラフによる弾性波速度と岩盤等級との関係

サイスマシグラフによって弾性波速度測定が行なわれた個所について、岩盤等級の判定を行ない、弾性波速度と岩盤等級との対応性を検討した。

結果は次の通りである。

#### 1) 花崗岩における弾性波速度と岩盤等級の関係

弾性波速度と岩盤等級の関係は図-6に示すように、明らかな対応性が示されており、C<sup>L</sup>級では0.6~1.1km/sec、C<sup>M</sup>級では1.6~2.6km/sec、C<sup>H</sup>級では2.8~3.4km/secの弾性波速度が得られ、岩盤等級が良いほど弾性波速度が大きくなるという相関が認められた。

#### 2) 種々の塊状岩盤における弾性波速度と岩盤等級との関係

両者の関係は図-7に示すように、花崗岩と同じような対応性が得られた。各岩盤等級における弾性波速度は、D級では0.4~0.9km/sec、C<sup>L</sup>級では0.6~1.4km/sec、C<sup>M</sup>級では1.1~3.0km/sec、C<sup>H</sup>級では2.2~4.2km/sec、B級では3.5~5.0km/secの結果が得られた。

1)および2)に認められる試料のばらつきは、同一岩盤等級区分の範囲にある岩盤でも、上限と下限では、岩盤の物性値に差異があるためと考えられる。

また、各岩盤等級の間に、オーバーラップの部分があるが、これは各岩盤等級の岩盤の性状が単純な構成でないこと、例えば、破碎帯、シームおよび節理の方向性、介在物質の差異によって、弾性波速度が大きく異なる場合があるため等が考えられる。

この結果、1)の花崗岩および2)の塊状岩盤における弾性波速度と岩盤等級との間には、相関性が認められたので、簡易弾性波測定器による測定結果は岩盤等級の定量的分級の一要素として役立つものと考えられる。

### 6. 岩盤掘削に伴うゆるみ域の測定

トンネルの掘削に伴う周辺岩盤のゆるみ域の形成は地圧に起因するものと、プラスチックによるものが考えられる。

地圧に起因したゆるみ域は、地圧の大きさおよびトンネルの断面の大きさによっては、かなり深くまで進行するものであるが、プラスチックによるゆるみ域は、火薬量、トンネル断面の

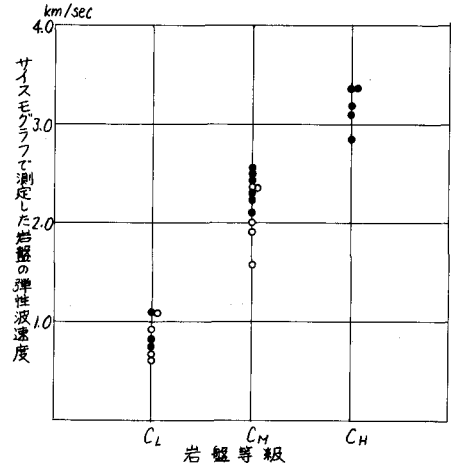


図-6. 花崗岩における岩盤等級とサイスマシグラフによる弾性波速度との関係

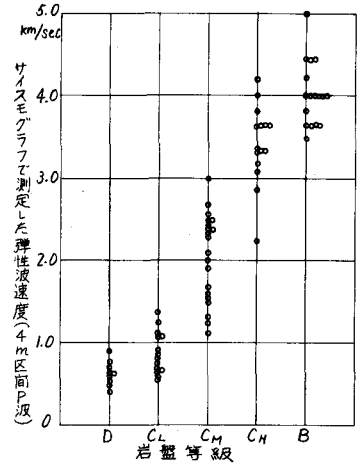


図-7. 種々の塊状岩盤における岩盤等級とサイスマシグラフによる弾性波速度との関係

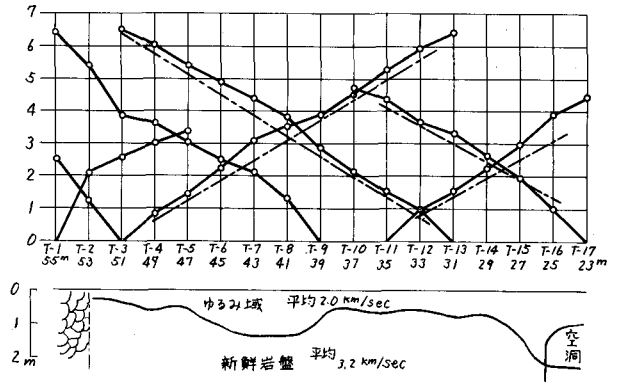


図-8. 花崗岩におけるサイスマシグラフによる走時曲線および解析断面図

大きさ、岩盤の状態によって異なるが、一般にトンネルの表層部に限定されているものと考えられる。

トンネルの地質状態の判定などに広く利用されている弾性波探査は、トンネル内部で実施すれば、トンネル空洞の周辺部の地質状態を弾性波速度分布で知ることができる。

こゝでは、トンネルなどの空洞掘削時にブラッシングによって生じる表層のゆるみ域を把握する目的で、サイスマグラフによる弾性波速度測定を実施した。

図-8は花崗岩の地点で測定した結果の一例を示したもので、ゆるみ域の弾性波速度  $2.0\text{ km/sec}$  に対し、新鮮な岩盤の弾性波速度は  $3.2\text{ km/sec}$  であり、この図によればゆるみ域は  $0.5 \sim 1.5\text{ m}$  と判断される。

なお、図-8において、両側に低速度帯が存在しているが、これは、破砕帯および近接して設けられているトンネル空洞に起因したものである。

従来の弾性探査を坑内で行なう場合は、岩盤側壁に爆破孔を  $0.5 \sim 1\text{ m}$  掘削し、その底で火薬を爆破させて震源としていた。また、受信計も壁面に  $0.2 \sim 0.5\text{ m}$  程度埋め込んで設置しなくてはならないため、ゆるみの主な部分を通過する波動を捉えることができなかつた。その点、サイスマグラフは2項で述べたように、岩盤表面を震源として、表面に受信計をつけることでより正確にゆるみ域の規模を測定することに適している。

今度、A地点において、同一受振計間隔  $2.5\text{ m}$ 、同一測線長  $25\text{ m}$  にて従来の弾性波探査方法およびサイスマグラフによる方法で測定を行ない、両者を比較することができたので、その結果を図-9、10に示す。

図-9は従来の弾性波探査により得られた走時曲線であり、図-10はサイスマグラフによるものである。サイスマグラフによる走時曲線には、第一層としてゆるみ域の速度が得られていることがわかる。

図-9および10の下図が走時曲線から得られる速度断面図である。従来の弾性波探査によるものは、第一層目(ゆるみ域)の正確な速度がわからないため、約  $1.0\text{ km/sec}$  と仮定して解析しているため、ゆるみ域の規模もサイスマグラフによるものより小さく出ている。しかし、ゆるみ域の分布状況は両者とも、同じ傾向を示しており、空洞表面の岩盤のゆるみ域における速度値、規模の把握に対しては、サイスマグラフの方が有効なことがわかる。

## 7. む す び

サイスマグラフによる測定のうち、一部を本報告にまとめたが、現在、すでに、いくつかの地点で計測し、設計に役立たせている。その用途は、ダム掘削線の決定、土木構造物基礎一帯の静的物性値の推定、ロックボルトの長さを決定するためにゆるみ域の厚さを計測することなどに有効である。個々の課題については、またの機会に発表する考えである。

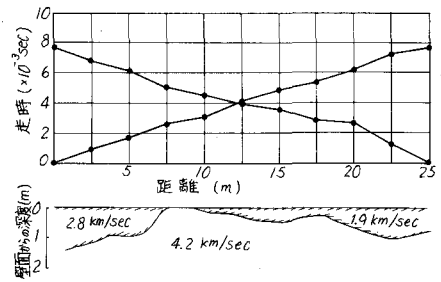


図-9. A地点における従来の弾性波探査による走時曲線および解析断面図

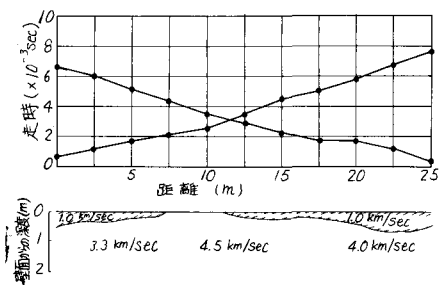


図-10. 同地点におけるサイスマグラフによる走時曲線および解析断面図

## Evaluation of rock properties by a handy seismic timer

K. Saito  
K. Kusunoki  
K. Kikuchi  
Department of Geology  
Central Research Institute  
of Electric Power Industry

Lately various simple instruments for measuring the velocity of elastic waves have been developed.

These instruments, which are handy and easy to operate, are applicable to measurement and evaluation of rock, when speedy result is required, for instance, at the site of construction.

This paper describes a study on an application of ES-100 Signal Enhancement Seismograph which was developed by Nimbus Instruments Ltd. in U.S.A., for the measurement on rock foundation.

- (1) Comparing the velocities of elastic waves measured by Seismograph with those obtained by the conventional seismic method, the accuracies of the two values proved to be almost the same.  
Since the velocity of elastic waves measured by Seismograph is obtained by the method in which the measurements are conducted only by setting a geophone as well as a shot point on the rock surface, Seismograph is more effective than the conventional method in the light of speedy measurement on loosing areas around the caverns.
- (2) A close correlation was ascertained between the velocity of elastic wave by Seismograph and modules of deformation, and also between the velocity and the modules of elasticity, which are often used in designing civil engineering structures.  
As a result, in view of the possibility that the order of physical constant throughout the foundation is estimated continuously, Seismograph may be judged as convenient and effective, when speedy result is required, for example, at the site of construction.
- (3) A good relationship was also found between rock grades and the velocity of elastic wave by Seismograph. More objective judgement may be possible on the classification of rock grades, which are related to the physical constants of rocks.