

RQD と 弾 性 波 速 度

杉 本 卓 司*

(1979年5月1日受理)

1. ま え が き

ボーリングにおけるコアの採取状態の表示方法は、従来から主としてコアの採取率によって示されてきた。Deereはコア採取率の表示に加え、さらにコア長の分布を考慮してRQD (Rock Quality Designation) の表示法を提案した。RQD は単位掘進長に対するコアの長さが 10 cm 以上の部分の全長をもって表示する。すなわち、

$$RQD = \frac{\sum l_i}{L} \quad (1)$$

但し、 l_i : 10 cm 以上のコアの長さ
 L : 掘進全長

RQD は岩盤の割目のひん度を表示する一方法であるので、岩盤の良好度の指標となる。一方、ボーリング孔を利用した速度検層によって、岩盤の弾性波速度が求められる。同一の岩石から構成される末風化な岩盤の弾性波速度は、岩盤における割目の状況によって大きく左右される。同一のボーリング孔において求められたRQDと弾性波速度との間には密接な関係があるものと考えられるので、ここにその関係を各種岩石について検討を行うものである。

2. RQD の値と弾性波速度値

RQD の値はボーリングの掘削機種、口径、技術者の能力等によって大きく異なる。すなわち、RQD の値を検討するに当たっては、一定レベル以上のボーリングの技術が要求される。ここでは、ボーリングの掘削はワイヤーライン工法によるものとし、口径はNXサイズ以上を対象としてRQDの値を求めた。

弾性波速度の値は、RQDの値を求めたと同じボーリング孔を利用して速度検層を行い、P波の伝播速度を解

析によって求めた。速度検層の測定に際し、感震器間隔は2mとし行っているので、速度値は2m以上の区間長についての平均値であり、2m以下の精度はない。RQDの値もこれを1m掘進長ごとに求めると、その値は著しくバラツク場合がある。

以上のことより、RQDの値と弾性波速度値を細部にわたって対比しても、変化が多く且つ精度のうえからもあまり意味がない。ここでは掘進長10m以上の区間にわたり同一な岩石が連続している場合のみを対象として両者の対比を試みた。

3. RQD と弾性波速度との対比

速度検層によって求められた弾性波速度の値を横軸にRQDの値を縦軸にして、両者の関係を示したものが図-1である。図に示されるように、RQDと弾性波速度との間にはおおむね直線の関係にあることがわかる。多少のバラツキがあるのは、割目の性状が均一でなく且つ岩石そのものの動弾性係数が場所によって変化するためであると考えられる。RQDと弾性波速度との関係を近似的に式に示せば次のようになる。

$$R = a(v - b) \quad (2)$$

ここに、 R : RQD の値

v : 速度検層によって求められた弾性波速度

a, b : 常 数

RQD(R) が100%のときの v の値を v_m とすれば、 v_m は割目が全くない場合の岩盤の弾性波速度であり、ボーリング周辺の岩盤の最高速度を示すとみてよいであろう。また、ボーリングコアを試料として室内速度測定によってえられた弾性波速度値を V とすれば、 v_m はほぼ V に相当するものとみてよいであろう。図-1には v_m と V の値をプロットしてある。図-1に示されるように、実際には v_m は V とはほぼ同じか、やや大きな値となっている。これは主として第三紀層のやや軟質な岩石について認められるものであり、岩石試料測定による速度

* 日本物理探鉱株式会社

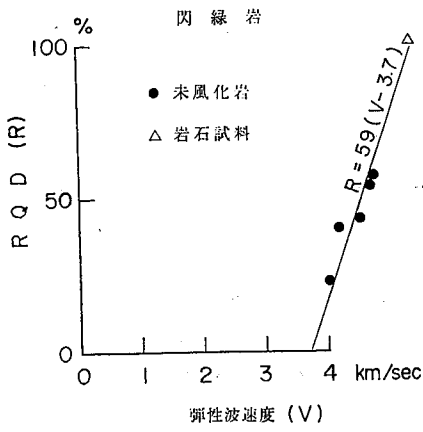


圖-1A

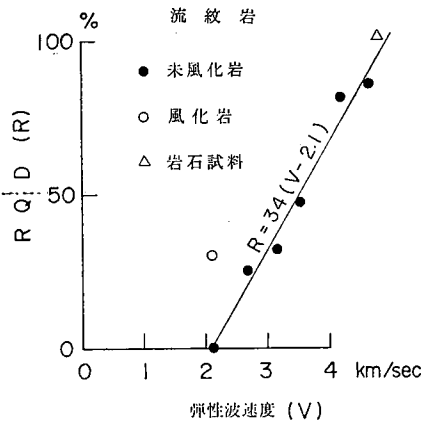


圖-1B

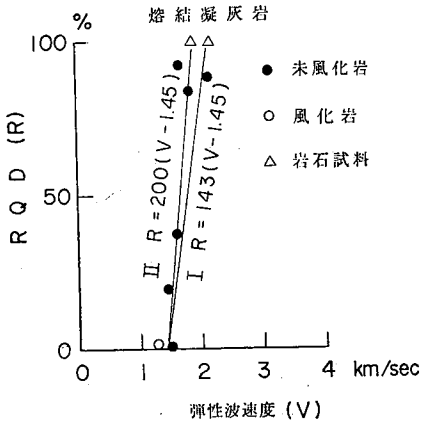


圖-1C

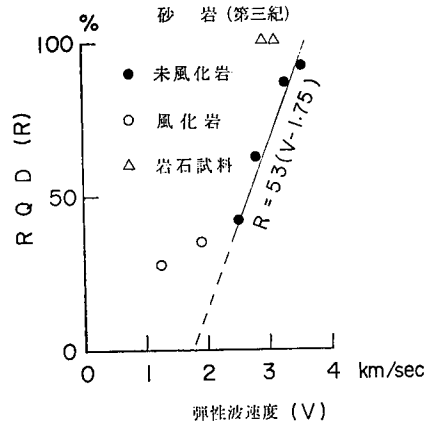


圖-1D

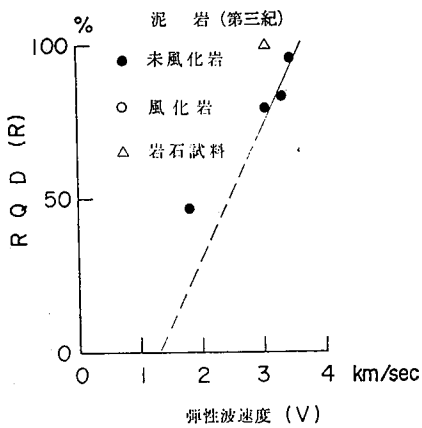


圖-1E

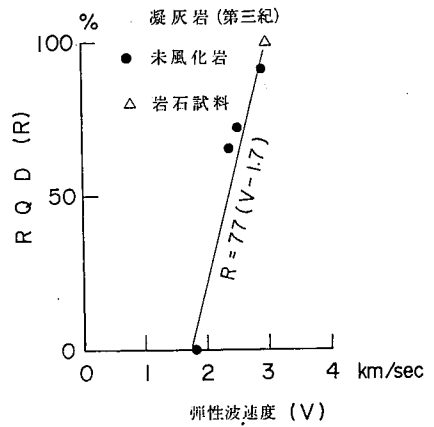


圖-1F

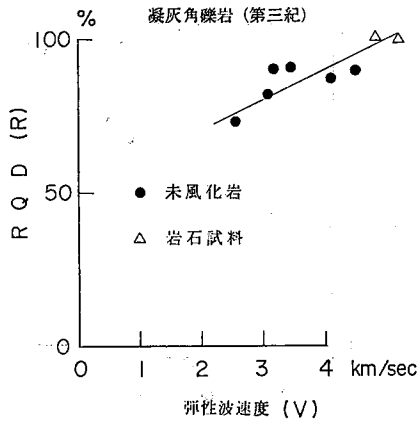


図-1G

値が厳密には現位置における割目のない岩盤の速度値を示していないものと考えられる。従来、割目係数その他の計算に当り、岩石試料による速度測定値が用いられているが、硬岩はともかく、軟岩については出来る限り現位置の測定値を用いた方がよいことを示唆するものである。

(2) 式における b の値は $R=0$ のとき、すなわちボーリングコアの長さが 10 cm 以下であり岩盤に割目が多く破碎された状態における弾性波速度の値を示すものである。但し、第三紀層のような軟岩、特に図-1G の凝灰角礫岩の例に示されるように、 b の値が負になる場合がある。この場合には、 $R=0$ 付近において (2) 式が適用出来ないことを示すものである。つまり、 $R=0$ 付近においては RQD の値と弾性波速度の値が直線関係にあるとは限らない例を示している。

風化帯における RQD と弾性波速度との関係は図-1 B, C, D, E に示されるように (2) 式を満足せず、弾性波速度に対して RQD の値が大きくなっている。これは、風化変質により岩石そのものの弾性波速度が著しく低下しているためである。すなわち、RQD の値は大きくても、岩石そのものの弾性波速度が低下しているために岩盤の弾性波速度も低下しているものと考えてよいであろう。

一般に、岩盤の亀裂係数 f は岩盤と岩石試料のポアソン比、密度が等しいと仮定して次式のように表わされる。

$$f = \frac{E_D - E}{E_D} = \frac{V^2 - v^2}{V^2} \quad (3)$$

ここに、 E_D : 試料の動弾性係数
 E : 地山の動弾性係数

亀裂のない新鮮未風化な岩盤の動弾性係数を E_m とすれば

$$\frac{E}{E_m} = \left(\frac{v}{v_m}\right)^2 \quad (4)$$

で示される。 E/E_m と RQD の関係、つまり $(v/v_m)^2$ と RQD の関係を各岩石別に示したものが図-2 である。

図-3 は Cooper ほかによる RQD と速度比の自乗 $(v/V)^2$ との相関図である。Deere ほかは岩盤とコアの速度比の自乗が RQD と 1:1 に対応することを予測しているが、Cooper ほかは速度比の自乗が RQD と 1:1

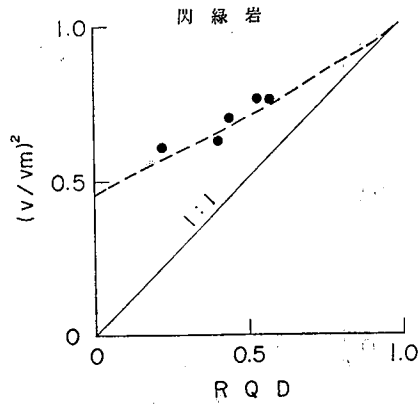


図-2A

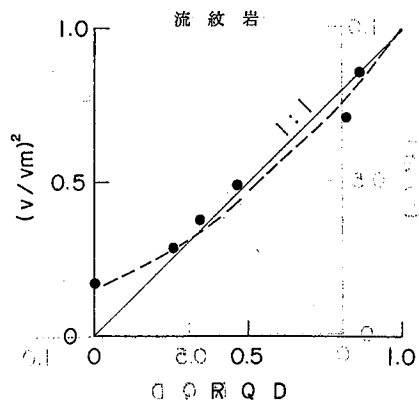


図-2B

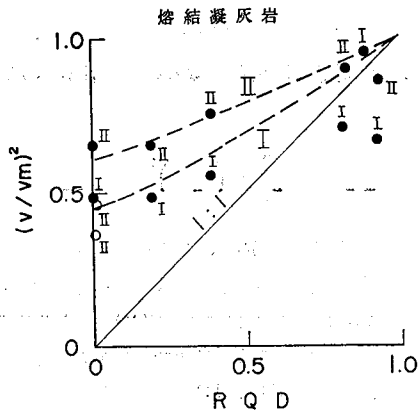


图-2C

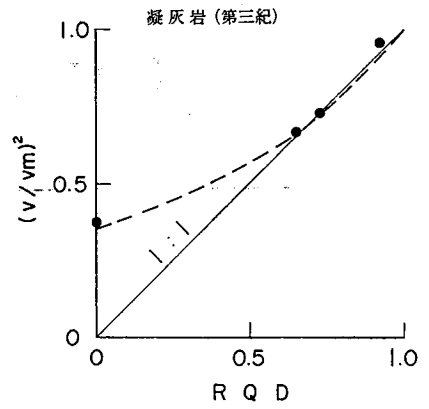


图-2F

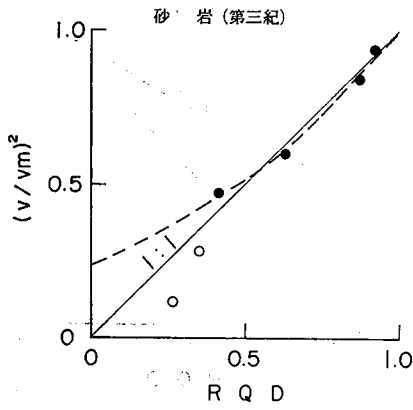


图-2D

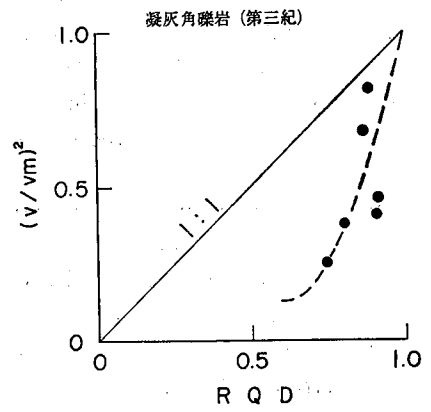


图-2G

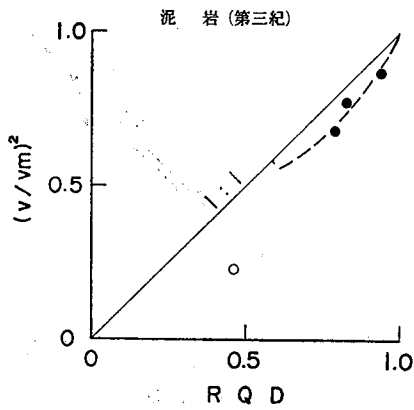


图-2E

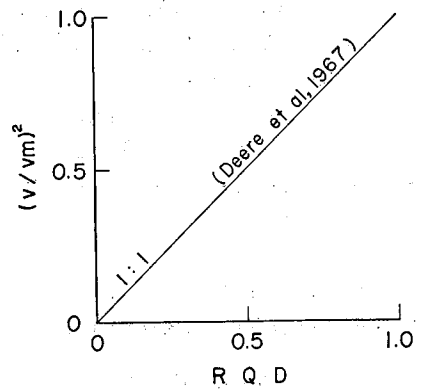


图-3

に対応するとしている。

ここで、図-2 から1:1の対応につき各種岩石の測定例にわたり検討してみると、おゝむね次のようになる。

- ① 速度比の自乗がRQDの減少に対して小巾に小さくなるもの……閃緑岩、熔結凝灰岩
- ② 速度比の自乗がRQDとおゝむね1:1に対応するもの……流紋岩、砂岩、泥岩、凝灰岩
- ③ 速度比の自乗がRQDの減少に対して大巾に小さくなるもの……凝灰角礫岩

以上のように、必ずしも1:1の対応がなされるとは限らない。1:1に対応する場合においても、RQDが50%以下では対応しなくなる。

ここで、速度比の変化、すなわち岩盤速度の変化について改めて考察を行なうことにする。岩盤速度の減少は岩盤における割目の増加と岩石そのものの変質によるものである。①の場合においては、主として割目による変化だけで速度が低下するものであり、かつ1つ1つの割目が小さいか潜在的であって、RQDの減少に対して速度がそれ程低下していないものと考えられる。③の場合においては、1つ1つの割目が大きい、または岩石の変質によるか、あるいはその両方の影響を受けて速度が大巾に低下するものと考えられる。②の場合においては①と③の中間的な岩盤状態にあることを示す。

①の場合、RQDが0では $(v/v_m)^2$ の値はおゝむね0.5である。すなわち、

$$\left(\frac{v}{v_m}\right)^2 = \frac{1}{2}, \quad v = \frac{v_m}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

RQDが0のとき、すなわち割目の多い岩盤と判定する基準となる速度は $0.7v_m$ であるとしてよいであろう。

つまり、 $0.7v_m$ 以下の速度を示す岩盤は割目の多い岩盤ないし破砕帯と判定してよいであろう。例えば、 v_m が5.4 km/secの閃緑岩では、3.8 km/sec以下の速度帯はRQDがほぼ0であり、破砕帯または割目の多い部分と判定してもよいであろう。このようなことは、変質を受けていない新鮮末風化で硬質な岩盤について適用されるものであり、第三紀層のような軟岩や風化岩、変質岩等については適用することは出来ない。

4. あとがき

以上に示すように、RQDと弾性波速度との関係を求めてみた。RQDと弾性波速度との関係は近似的には直線関係にあるが、RQDが0付近においては直線関係にあるとは云い難い場合もある。RQDと $(v/v_m)^2$ との関係はCooperやDeereが予測し、あるいは提唱するように1:1とは必ずしもならないものと考えられる。1:1の対応関係については更に多くの資料にもとづく考察が必要である。ポアソン比によって1:1の対応関係が可成り変ってゆくものと推定されるので、今後検討しなければならぬ問題であろう。いづれにしても、今後多くの資料が得られれば、より精度の高い結論に達することが出来るものと期待される。

参 考 文 献

- Cooper, H. F. and Blouin, S. E.: Dynamic in-situ rock properties from buried high explosive arrays, Proc. 12th, Sympo. Rock Mech. AIME, 1970.
- Deere, D. U.: Technical description of rock cores for engineering purposes, Felsmech Ingenieurgeologie, Vol. 1, No. 1, 1963.

A Study on the Relation between RQD and Seismic Wave Velocity

Takūji SUGIMOTO

Nippon Geophysical Prospecting Co., Ltd.

Rock Quality Designation (RQD) was defined by Deere et al as a sum of core length being 10 cm over to unit depth of the boring. It is given by the equation

$$RQD = \frac{\sum l_i}{L}$$

where

L : unit depth of the boring,

l_i : core length being 10 cm over.

RQD represents frequency of fissures, while fissures of bedrock bring about some decrease in velocity. Accordingly we discuss about the relation between RQD and velocity.

The relation is nearly given by a linear equation

$$R = a(v - b),$$

where

R : value of RQD,

v : velocity of bedrock,

a, b : constant.

Cooper et al (1971) showed the relation between R and $(v/V)^2$ as follows:

$$R: (v/V)^2 = 1:1,$$

where

V : velocity of core sample.

We give as a conclusion that the relation is not always 1:1.