

# 孔壁画像からのRQDによる岩盤評価について

鈴木清高・梶原希令

## Estimation of Rock Quality using RQD observed by BHTV

Kiyotaka Suzuki and Kiyoshi Kajihara

### Abstract

RQD is one of the indices to classify and evaluate the property of fractured rock mass. It is generally obtained from boring core. However, it is often difficult to obtain boring undisturbed core samples from highly fractured rock masses and furthermore, rock quality using the RQD method tends to become lower than the actual situation in rock mass due to fracturing induced by boring. Recent development of BHTV (Bore Hole TV) makes it possible to easily observe the actual state of fracturing of the rock walls in the bore hole.

The authors have defined RQD obtained from boring core as "Core RQD" and RQD obtained from the BHTV as "BH-RQD" and they compared both RQD values on several different rock types.

It was found that the BH-RQD had a better correlation with mechanical and seismic tests such as the pressure meter test and suspension PS logging. In this study, we also considered the effect of the difference between the core RQD and BH-RQD upon the assessment of rock quality using the well-known rock classifications such as RMR method or Q-System. Consequently, it was concluded that application of the BH-RQD make it to possible to classify fractured rock mass more appropriately and to evaluate the rock mass strength.

### 要旨

亀裂性岩盤を分類、評価する指標のひとつにRQDがある。RQDはその定義からボーリングコアを用いて計測されるが、著しい亀裂性の岩盤などではボーリングコアの採取が困難な場合が多く、採取が可能な場合でもボーリングによる応力解放や人為的・機械的な外力などのために、RQDによる岩盤評価は実際の地山内の岩盤状態より低いものとなる傾向にある。最近、ボアホールテレビの開発により、ボアホール内の岩盤壁面の状態が容易に観察されるようになった。これらの機器を用いてボーリング孔壁の亀裂を観察することにより、ボーリング時の応力解放などによるコアに生じる亀裂を含まない地山における亀裂の状況を直接的に捉えることができる。筆者らは、従来のコア観察によるRQDをコアRQD、孔壁観察によって得られるRQDを孔壁RQDと称し、数種類の岩盤について、両RQDを比較する機会を得た。この結果、孔壁RQDを用いた方が孔内載荷試験ならびにサスペンションPS検層等の物理ならびに力学特性試験との相関が良くなることが明らかとなった。さらに、このコアRQDと孔壁RQDの違いがRMR法やQシステムといった岩盤分類を用いた岩盤評価に及ぼす影響を検討した。その結果、孔壁RQDを用いることによって、亀裂性岩盤の岩盤分類ならびに原位置の岩盤強度特性をより適切に評価できることが示された。

キーワード：RQD、ボアホールテレビ、岩盤分類、岩盤強度、弾性波速度

## 1 はじめに

岩盤の特性はインタクトな岩石と不連続面の特性とから評価されねばならないが、特に後者の幾何的特性（頻度や分布状態等）が大きく影響している。不連続性岩盤を分類、評価する指標のひとつにRQDがある。RQDはボーリングコアに対して計測された不連続面の間隔に関連して求められる岩盤評価のための一つのインデックスとして用いられてきたが、著しい亀裂性の岩盤などではボーリングコアの採取が困難な場合が多く、RQDの評価は地山内の岩盤状態より極めて低いものとなる傾向にある。

最近、ボアホールテレビの開発により、ボアホール内の岩盤壁面の状態が容易に観察されるようになった<sup>1)</sup>。これらの機器を用いて、ボーリング孔壁の亀裂を観察することにより、ボーリング時の人為的外力や応力解放などによりコアに生じる亀裂を含まない地山における亀裂の状況を捉えることができる。

筆者らは従来のコア観察によるRQDをコアRQD、孔壁観察によって得られるRQDを孔壁RQDと称し、数種類の岩盤について、両RQDを比較する機会を得た。さらに、このコアRQDと孔壁RQDの違いがRMR法やQシステムといった岩盤評価に及ぼす影響を検討するとともに、孔内載荷試験結果によって得られる岩盤の変形性と孔壁RQDの計測結果との比較を行うことによって、孔壁RQDによって岩盤の力学特性の評価がより良く行われるかについて検討した。

## 2 対象岩および測定方法

従来のボーリング調査においてはコアによる柱状図の作成はどの場合にも行われているものの、孔内におけるTVやスキャナーなどによる孔壁の観察は必ずしも行われていない。また、孔内水平載荷試験やコアの強度試験が行われている場合でも、孔壁観察と対応したものはきわめて少ない。このような状況下での既往資料からボアホール孔壁の画像の得られているサイトを対象にし、そ

れと対応するコアの資料を整理した。検討対象として扱ったデータは表-1のとおりである。

図-1にボアホール孔壁の画像と同一深度でのボーリングコア写真の比較を示す。この写真からもわかるように、ボーリングコアの割れ目の一部は、ボーリングをすることによって発生した割れ目である。

ボアホール孔内での割れ目の間隔を図-2に示すように孔壁画像より求め、孔壁RQDを算出した。一方、ボーリングコアのRQDは既往資料（地質柱状図）データを採用した。また、コア写真の中心線上のトレース線に交差する割れ目から割れ目への距離を割れ目間隔とした。

## 3 孔壁RQD測定結果

### 3・1 割れ目の間隔

岩種あるいは構造的な変化によって割れ目の形成が卓越することのないよう均質な岩盤にランダムに入った割れ目の場合、割れ目の間隔の頻度分布は負の指数分布にしたがうことが確かめられている<sup>2)</sup>。

図-3には、花崗岩（A地点）の地点における割れ目間隔の頻度分布図をコアから計測したものと孔壁画像から計測したものを示した。岩盤割れ目の間隔の頻度分布は、本来、各地点の地質に特有のものではあるが、孔壁データとコアデータとの比較から以下の点が確認された。

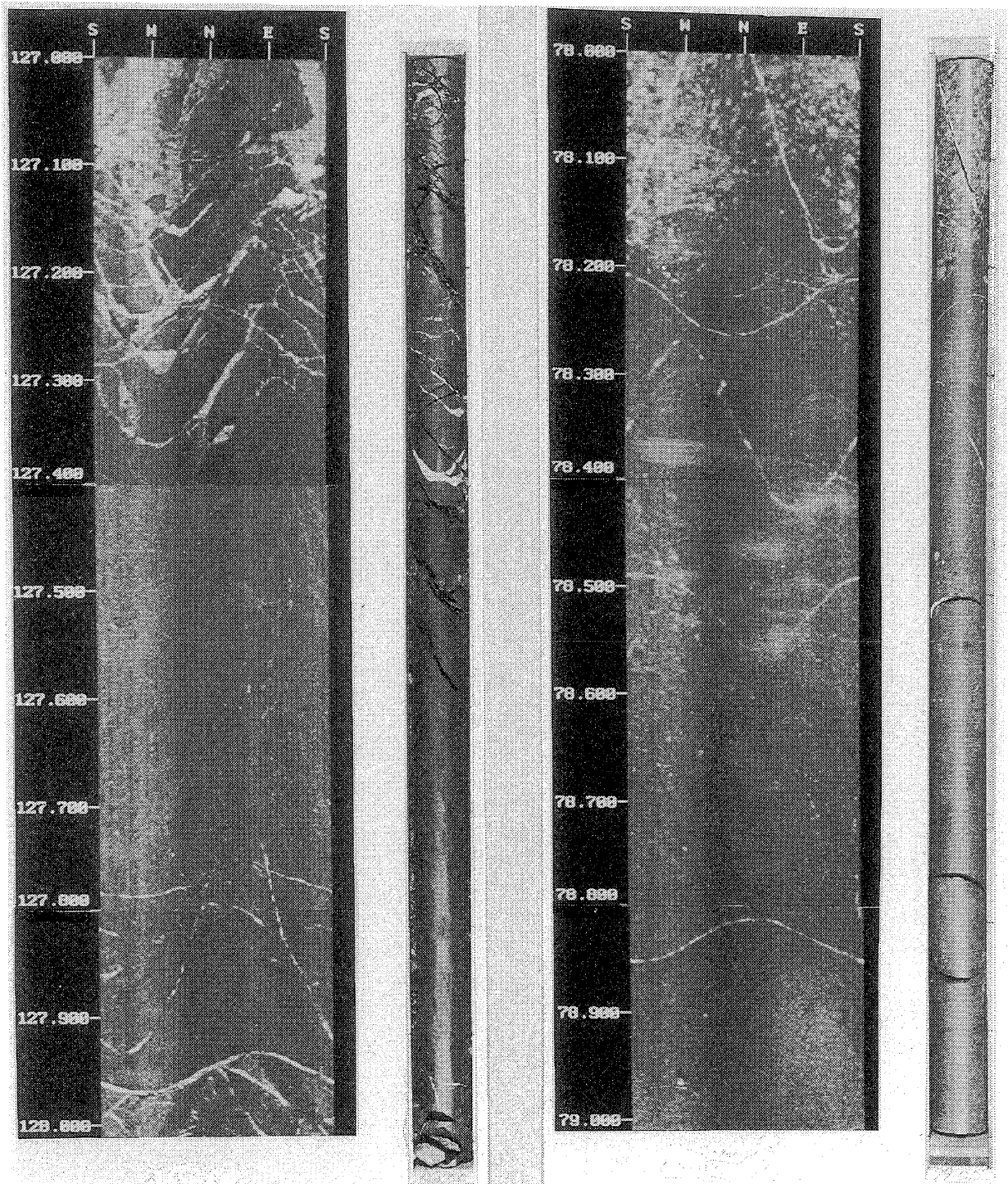
- 1) コアデータは孔壁データと比較するとボーリングによる擾乱の影響が大きく、小さな割れ目間隔の階級に分布が集中する傾向がある。
- 2) このため、本来はランダムに割れ目が分布する均質な岩盤や、複雑な応力履歴を経て、成因的に異なる割れ目を持つような岩盤であっても、コアデータに基づくと、ある箇所に割れ目が集中する岩盤にみられるタイプの頻度分布となってしまう場合が多く、地質的な解釈や岩級区分などを行う上で誤った情報を与える可能性が高い。

### 3・2 孔壁RQDとコアRQDの比較

図-4には孔壁RQDとコアRQDを比較したものを、

表-1 対象岩種およびデータ観測長  
Table 1 Objective rock and observation length

地点	岩種	地質	観測長
A地点	火成岩	花崗岩	120m
B地点	堆積岩	砂岩・頁岩	34m
C地点	変成岩	砂質片岩・泥質片岩	65m



頁岩

砂岩

図-1 孔壁画像とコア写真の代表例

Fig. 1 Examples of borehole wall images and core pictures

図-5には各地点の両RQDを岩級区分毎に比較したものを示す。

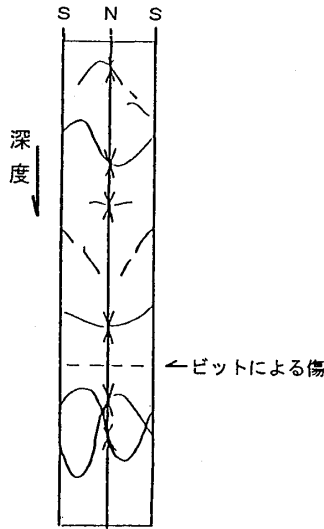
これらの図からは以下の点が確認された。

1)孔壁RQDの方がボーリング等による影響が少ないため、全般にコアRQDより大きな値を示す。

2)堆積岩や片岩などの層状岩盤は花崗岩類のような塊状岩盤と比較すると、人為的なクラックが発生しやすく、コアRQDの信頼性は低下する。また、堆積岩の場合、泥岩よりは砂岩の方が孔壁RQDとコアRQDの相関性は高く、コアRQDの信頼性は高いと言える。

(1) 孔壁画像における割れ目間隔の測定基準

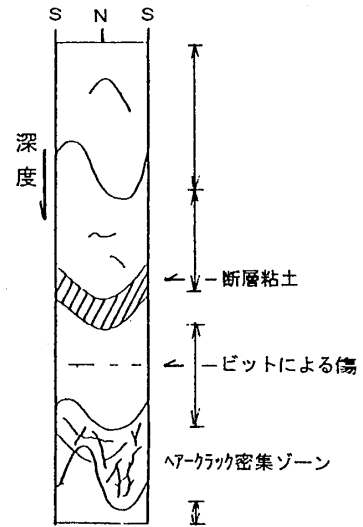
- ①画像中心線上にトレース線を引き、連続性のいかんにかかわらずトレース線に交差する割れ目についてのみ測定を行う。割れ目間隔はトレース線との交点から交点までとする。
- ②破断面（分離面）を伴わない鉱物脈や層理面、片理面については一連の岩盤とみなす。



トレース線と割れ目との交点から交点までの距離を測定

(2) 孔壁画像におけるRQDの測定基準

- ①測定は割れ目（破断面）の midpoint から midpoint までの距離を計る。RGDは10cm RQDとする。
- ②孔壁周方向において連続性が50%以下の割れ目については測定対象の割れ目とはみなさない。ただし、右図のように、連続性の乏しい割れ目が密集しているような区間については、主要な割れ目から割れ目への距離が10cm以上あっても、RQDには加えない。



割れ目の midpoint から midpoint までの距離を測定

図-2 孔壁画像による割れ目間隔とRQDの測定方法

Fig. 2 Measurement method of crack spacing and Borehole RQD on borehole wall image

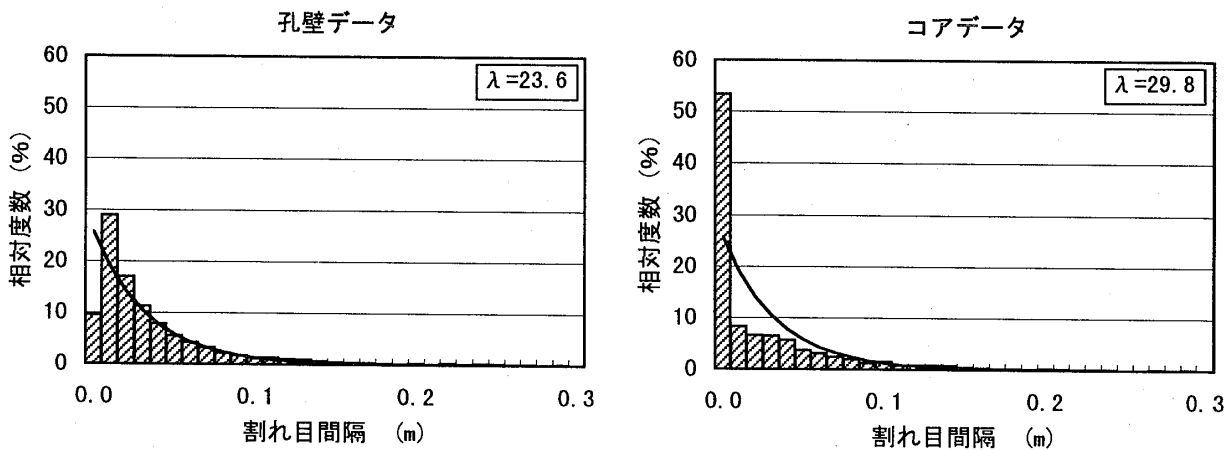


図-3 花崗岩（A地点）地点における割れ目頻度分布の比較

Fig. 3 Comparison of discontinuity frequency at granite site (site A)

- 3) コア長が短いコアほどビット・コアチューブの回転等により破壊を被る傾向がある。このため、コアRQDはC<sub>H</sub>、C<sub>M</sub>、C<sub>L</sub>と下位の岩級区分ほど孔壁RQDとの相関性は低く、信頼性が低下すると言える。
- 4) 岩級区分は対象構造物、各地点の構成地質により異なる相対評価であり、判定基準は岩盤（コア）状況を予察的に概観したうえで決定されている場合が一般的と思われる。しかし、上記3)によると、判定基準のパラメータの一つであるコア形状に関する限り、コアを用いた岩級区分の判定基準自体、問題が多いと言える。

3・3 孔壁RQDを用いた岩盤分類の検討

Bieniawski (1974, 1976) によるRMR法<sup>3)</sup>およびBartonら (1974) によるQシステム<sup>4)</sup>による岩盤分類を用いて、コアRQDと孔壁RQDの違いが岩盤評価に与える影響を検討した。

3・3・1 RMR法

上記の花崗岩、砂岩、頁岩に対して得られているRQDおよび亀裂間隔の値と、仮定された不連続面の状態および地下水状態を考慮し、RMR法による岩盤分類の評価値を示すと、結果は表-2および表-3のとおりである。本結果によると、孔壁データを用いた場合、花崗岩では

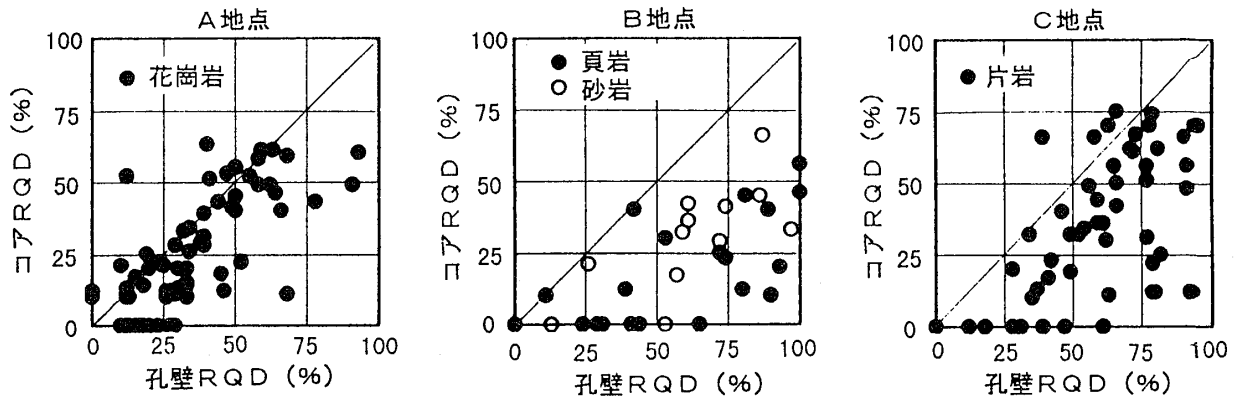


図-4 それぞれの地点におけるコアRQDと孔壁RQDの関係

Fig. 4 Relationship between Core RQD and Borehole RQD at each site

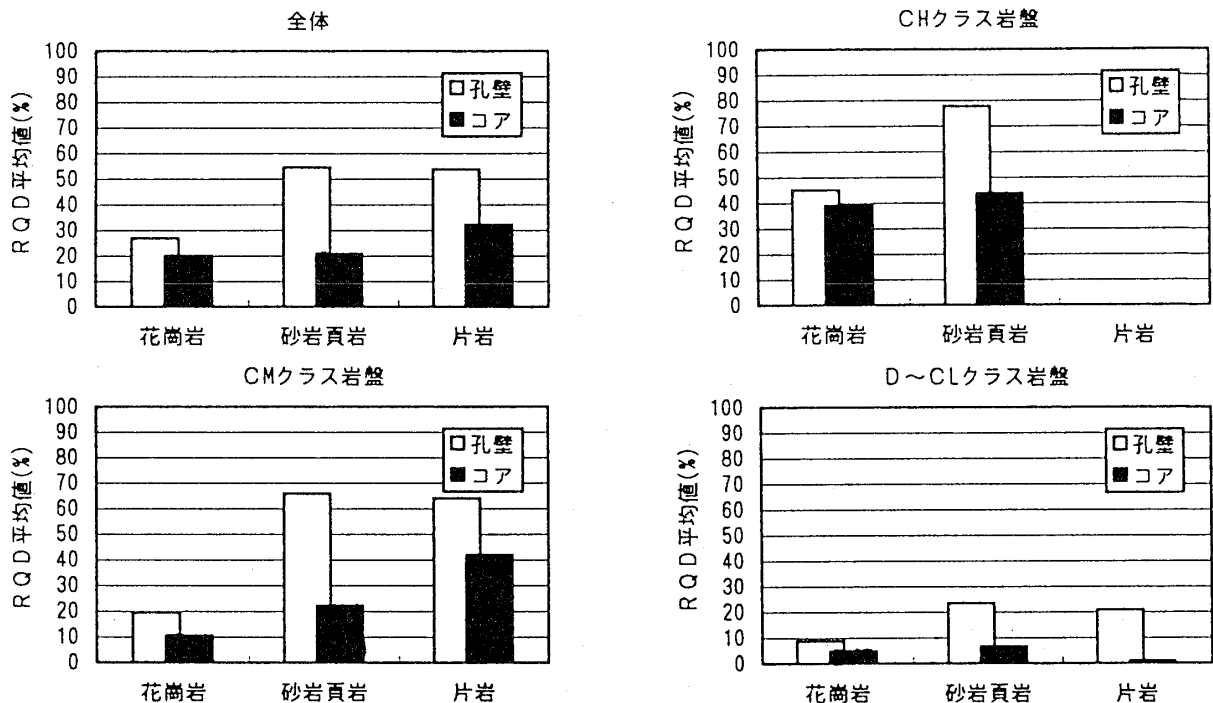


図-5 各岩種・岩級における孔壁RQDとコアRQDの比較

Fig. 5 Comparison of Borehole RQD and Core RQD for each rock mass class

全体で岩盤分類Ⅲ，砂岩・頁岩ではC<sub>M</sub>，C<sub>H</sub>クラス，全体で岩盤分類Ⅲと，コアデータと比べ1ランク上位の岩盤分類となる。通常国内で採用されている電研式もしくは土研式，あるいは菊池・斉藤による岩盤分類とRMR法とを同一に比較することはできないが，上記の結果は，コアデータを用いた場合に岩盤を下位の岩級に評価してしまう場合があることを示唆している。特に，層状岩盤のように人為的なクラックが発生しやすい条件を持つ岩盤に対して，コアによる記載・判定が難しいことを，砂岩・頁岩のデータは示している。

### 3・3・2 Qシステム

Qシステムによる評価は表-4のとおりである。この

結果によると，花崗岩では孔壁データとコアデータで大きな差は現れていないが，砂岩・頁岩および片岩では孔壁データを用いた場合，1ランク上位の岩盤分類となり，RMR法の場合と同様に，コアデータを用いた場合には岩盤を下位の岩級に評価してしまう傾向があることを示している。

### 3・4 RMR法とQシステムの相関性に与える影響

RMR法とQシステムは互いに数量化した分類方法であるので，対応関係を検討しやすい。これらは国際的にも広く利用されるようになってきたので，相互関係を知ることは重要である。

表-2 花崗岩 (A地点) におけるRMR法による岩盤分類

Table 2 Rock mass classification by the RMR system on granite site (site A)

	岩級区分	RQD (評点)	割れ目間隔 (評点)	評点合計	RMRによる岩盤分類
孔壁データ	全体	26.9(8)	42.7mm(5)	44	Ⅲ (普通の岩)
	C <sub>L</sub> クラス	0.0(3)	32.0mm(5)	39	Ⅳ (悪い岩)
	C <sub>M</sub> クラス	19.5(3)	39.3mm(5)	39	Ⅳ (悪い岩)
	C <sub>H</sub> クラス	44.9(8)	64.3mm(10)	49	Ⅲ (普通の岩)
コアデータ	全体	19.3(3)	32.2mm(5)	39	Ⅳ (悪い岩)
	C <sub>L</sub> クラス	0.0(3)	19.8mm(5)	39	Ⅳ (悪い岩)
	C <sub>M</sub> クラス	10.6(3)	30.0mm(5)	39	Ⅳ (悪い岩)
	C <sub>H</sub> クラス	39.0(8)	67.0mm(5)	44	Ⅲ (普通の岩)

表-3 砂岩・頁岩 (B地点) におけるRMR法による岩盤分類

Table 3 Rock mass classification by the RMR method on the sandstone shale (site B)

	岩級区分	RQD (評点)	割れ目間隔 (評点)	評点合計	RMRによる岩盤分類
孔壁データ	全体	54.5(13)	75.6mm(10)	43	Ⅲ (普通の岩)
	C <sub>L</sub> クラス	23.5(3)	49.4mm(5)	28	Ⅳ (悪い岩)
	C <sub>M</sub> クラス	65.7(13)	84.2mm(10)	43	Ⅲ (普通の岩)
	C <sub>H</sub> クラス	77.7(17)	285.0mm(10)	47	Ⅲ (普通の岩)
コアデータ	全体	20.9(3)	31.0mm(5)	28	Ⅳ (悪い岩)
	C <sub>L</sub> クラス	0.0(3)	18.5mm(5)	28	Ⅳ (悪い岩)
	C <sub>M</sub> クラス	22.1(3)	45.0mm(5)	28	Ⅳ (悪い岩)
	C <sub>H</sub> クラス	43.8(8)	71.9mm(5)	38	Ⅳ (悪い岩)

表-4 各地点のQ値による岩盤分類

Table 4 Rock mass classification by the Q system at each site

地質		岩級区分	RQD (評点)	Q値	Q値による岩盤分類
花崗岩 (A地点)	孔壁データ	全体	26.9(25)	0.42	非常に悪い
		C <sub>L</sub> クラス	8.8(10)	0.17	非常に悪い
		C <sub>M</sub> クラス	19.5(20)	0.33	非常に悪い
		C <sub>H</sub> クラス	44.9(45)	0.75	非常に悪い
	コアデータ	全体	19.9(20)	0.33	非常に悪い
		C <sub>L</sub> クラス	4.8(10)	0.17	非常に悪い
		C <sub>M</sub> クラス	10.6(10)	0.17	非常に悪い
		C <sub>H</sub> クラス	39.0(40)	0.65	非常に悪い
砂岩・頁岩 (B地点)	孔壁データ	全体	54.5(55)	2.75	悪い
		C <sub>L</sub> クラス	23.5(25)	1.25	悪い
		C <sub>M</sub> クラス	65.7(65)	3.25	悪い
		C <sub>H</sub> クラス	77.7(80)	4.00	普通
	コアデータ	全体	20.9(20)	1.00	悪い
		C <sub>L</sub> クラス	6.5(10)	0.50	非常に悪い
		C <sub>M</sub> クラス	22.1(20)	0.50	非常に悪い
		C <sub>H</sub> クラス	43.8(45)	2.25	悪い
砂岩片岩・ 泥質片岩 (C地点)	孔壁データ	全体	53.8(55)	14.69	良好
		C <sub>L</sub> クラス	20.8(20)	5.34	普通
		C <sub>M</sub> クラス	63.9(65)	17.36	良好
	コアデータ	全体	32.1(30)	8.01	普通
		C <sub>L</sub> クラス	1.0(10)	0.27	悪い
		C <sub>M</sub> クラス	41.8(40)	10.68	良好

Bieniawski (1976) は<sup>3)</sup>, いくつかの国における117事例に対して, RMRとQ値の相互間の関係を検討しており, さまざまな岩種・岩盤条件のデータにもかかわらず, 次の関係式:

$$RMR = 9 \log_e Q + 44 \dots\dots\dots(1)$$

があるとしている。また, その後, 堆積岩, 熔岩, 花崗岩等の岩盤に対して調査ボーリングのコアと施工時に直接岩盤面を観察した場合について, 次の関係が提案され

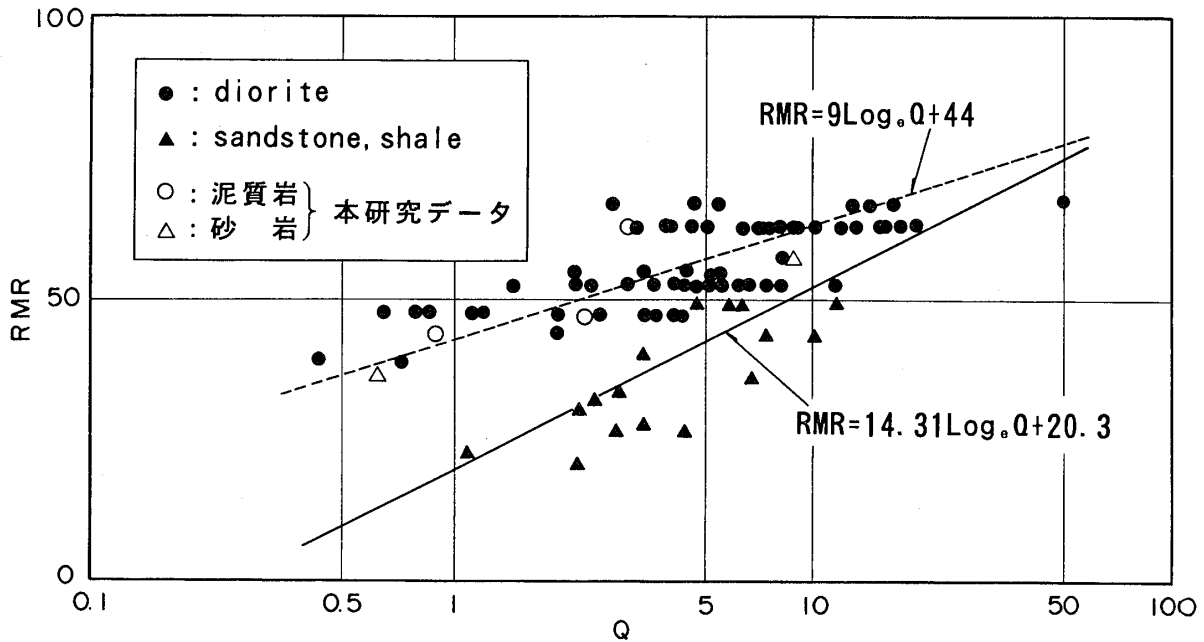


図-6 岩種の違いによるRMRとQ値の関係 (吉中, 1988)  
 Fig. 6 Relationship of RMR and Q value on several different rock types

ている<sup>5)</sup>。

$$RMR = 4.6 \ln Q + 55.5 \dots\dots\dots(2)$$

(ボーリングによる)

$$RMR = 5.0 \ln Q + 60.8 \dots\dots\dots(3)$$

(トンネル切羽の観察)

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \dots\dots\dots(4)$$

(閃緑岩)

$$RMR = 14.3 \ln Q + 20.3 \dots\dots\dots(5)$$

(砂岩・頁岩)

日本での検討結果の一例として、閃緑岩および砂岩・頁岩について吉中 (1988) が検討を行なったものを図-6 に示した。岩盤の観察は、いずれも調査横坑における直接計測である。図中に今回の検討結果を記入した。

このなかで閃緑岩ではBieniawski (1976) が示した関係があるが、砂岩・頁岩の関係は異なるとしている。

吉中はRMRとQ値に概略の相関はあるが、その関係は岩石の種類で異なるとして次のような関係式を提案している。

図-6 より今回の検討結果と吉中の提案した式とを比較すると、砂岩・頁岩のデータは砂岩・頁岩に対する式(5)よりも閃緑岩に対する式(4)により良い相関を示している。この差異については、今後さらに事例を収集し検討する必要がある。

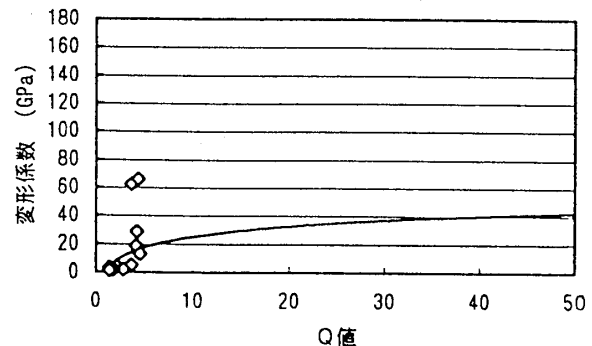
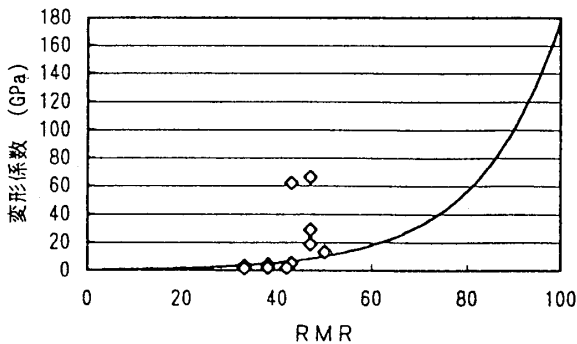


図-7 RMRおよびQ値と変形係数の関係  
 Fig. 7 Relationship of RMR and Q value to the modulus of deformation at site B

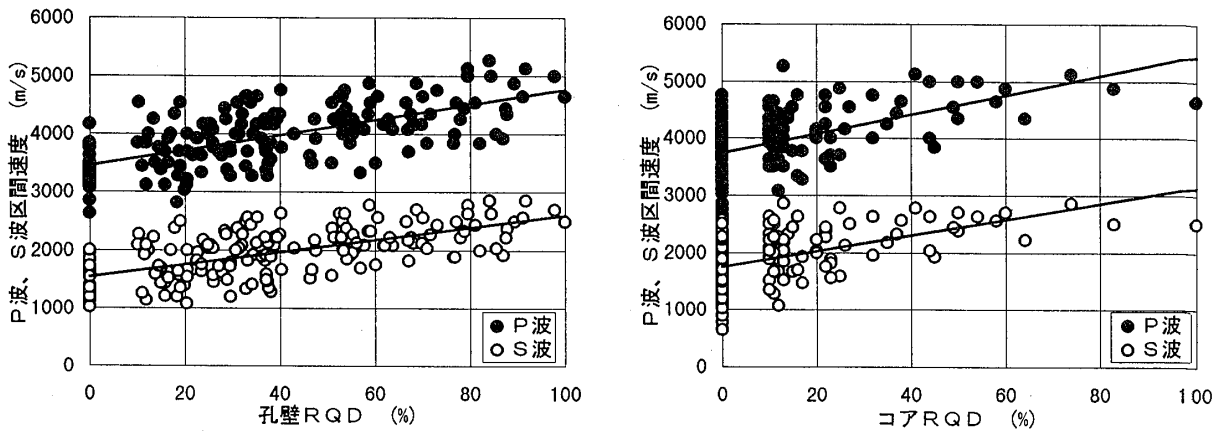


図-8 泥質岩による両RQDとP波速度, S波速度との関係  
Fig. 8 Relationship of both RQD and  $V_P \cdot V_S$

3・5 孔壁データと変形係数の相関

ここでは, RMRおよびQ値と代表的な岩盤物性値である変形係数(孔内載荷試験による)との関係について検討した。対象データとしては良好な画像データが得られている砂岩・頁岩地点とした。

この結果を図-7に示す。なお, RMRおよびQ値は各試験箇所の孔壁RQDを用いて算出した。孔内載荷試験を行った箇所が少ないので, 十分な関係が求められていないが, 一応, 従来から得られているRMRやQ値と変形係数との関係と対比させた。RMRおよびQ値と岩盤の変形係数の関係については, SerafimとPereira(1983)およびBarton他(1980, 1992, 1993)により, 次式が提案されている。

$$E_m = 10 \exp (RMR - 10) / 40 \text{ (GPa)} \dots(6)$$

$$E_m = 25 \text{ Log}_{10} Q \text{ (GPa)} \dots\dots\dots(7)$$

図-7にはこれらの相関曲線を併せて示した。

RMRは不連続面の方向と構造物の方向との相対的な関係, Q値は構造物の規模により変化する値である。本図による限りこれらの岩盤指標値と変形係数との間に明瞭な相関は認められない。ただし, 一部は上記相関曲線に近い値をとるものもあり, 簡単に結論づけることなく, 事例をさらに収集して検討することが必要である。

3・6 孔壁データと弾性波速度の相関

サスペンションPS検層から得られた1m区間毎のP波速度, およびS波速度と, 孔壁・コアRQDの相関性を検討した。両RQDとサスペンションPS検層との関係図を図-8に示した。これらの図から次のようなこと

が明らかになった。

- 1)孔壁データでは多少データのばらつきはあるものの, 孔壁RQDと区間速度に相関性が見られ, なおかつ岩級の違いが見られる。
- 2)コアデータでは, コアRQDが小さいところにデータが偏ってしまい, 岩級別にみてもデータのばらつきが大きく岩級の違いが表れていない。

3・7 岩盤分類と岩盤強度の関係

ここでは, RMRおよびQ値と岩盤強度(岩盤試験結果)との関係について検討した。Hoek & Brownは岩盤と強度特性とを関係づける式を以下のように提案している。

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \cdot \sigma_c \cdot \sigma_3 + s \cdot \sigma_c^2} \dots(8)$$

ここで,  $\sigma_1$ : 破壊時の最大主応力

$\sigma_3$ : 破壊時の最小主応力

$\sigma_c$ : インタクトロックの一軸圧縮強度

$m, s$ : 岩石の性質と応力 $\sigma_1$ と $\sigma_3$ を加える前の岩石が受けていた破棄の程度および岩種に依存する材料定数

この関係式はもともとインタクトロックに対して考案された式であり,  $m$ および $s$ の値を変更することにより岩盤に適用できるようにしたものである。インタクトロックに対して $m = m_i$ とし, 同じく $s = 1$ とすると岩盤の材料定数 $m, s$ は次式で表される。

不攪乱の岩盤:

$$m = m_i \exp [(RMR - 100) / 28] \dots\dots\dots(9)$$

$$s = \exp [(RMR - 100) / 9] \dots\dots\dots(10)$$



表-5 A地点におけるmとs

Table 5 Constants m and s of a rock mass at site A

	岩級	RMR	m	s
孔壁データ	C <sub>L</sub>	49	4.045	0.00346
	C <sub>M</sub>	39	2.830	0.00114
	C <sub>H</sub>	39	2.830	0.00114
コアデータ	C <sub>L</sub>	44	0.458	0.00009
	C <sub>M</sub>	39	0.320	0.00004
	C <sub>H</sub>	39	0.320	0.00004

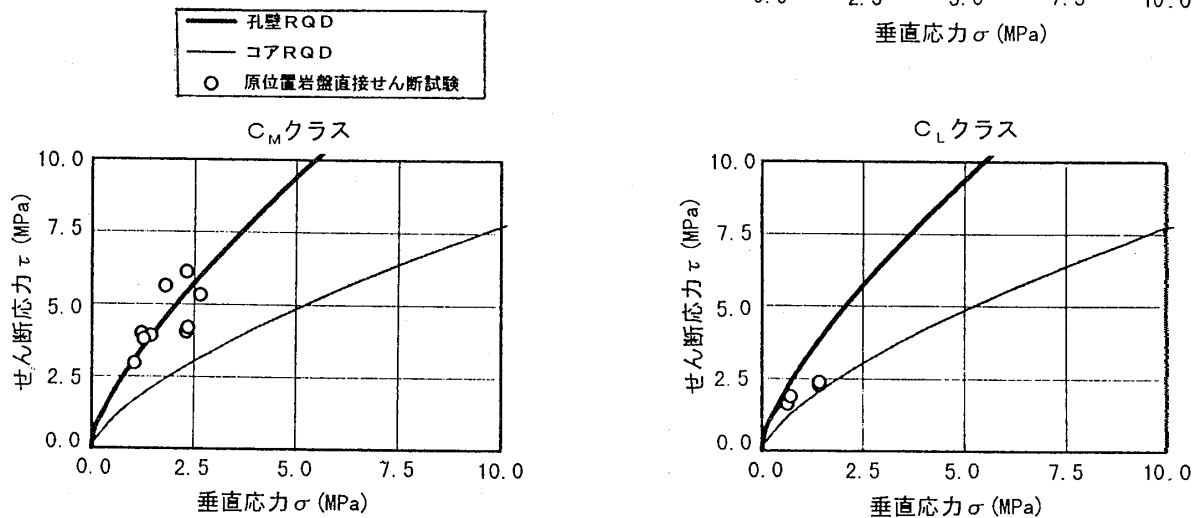


図-9 A地点における岩盤試験実測データと孔壁RQDおよびコアRQDからの測定値の比較  
Fig. 9 Comparison of a failure envelope estimated by Borehole RQD and Core RQD, and actual rock mass strength at site A

攪乱した岩盤:

$$m = m_i \exp [(RMR - 100)/14] \dots\dots\dots(11)$$

$$s = \exp [(RMR - 100)/6] \dots\dots\dots(12)$$

表-5には、原位置岩盤直接せん断試験が行われたサイトAで得られた孔壁データとコアデータから求めたRMR評点から、上式を用いてm、sを算出したものを示す。

孔壁データからは、式(9)、(10)の不攪乱の岩盤の式を用い、コアデータからは、式(11)、(12)の攪乱した岩盤の式を用いた。算出したm、sと岩石試験結果からの一軸圧縮強度を用いて式(8)に基づいて破壊時の $\sigma_1$ および $\sigma_3$ の関係を求めた。さらに、この $\sigma_1$ と $\sigma_3$ の関係から各岩種・岩級の破壊包絡線を求めた。この結果を図-9に示す。なお、一軸圧縮強度 $\sigma_c$ はインタクトロックの強度ということで各岩種のなかで最も強度の高いデータを使った。その結果

1)孔壁RQDを使った破壊包絡線よりもコアRQDを使っ

た破壊包絡線の方がかなり低くなっている。

2)実測された岩盤のせん断破壊点が孔壁データを使ったRMRから推定される破壊包絡線状に良く一致したことがわかる。

#### 4 まとめ

ボアホールTVにより得られた孔壁データの画像処理により、容易に孔壁RQDを、また、同様にコアデータ(コア、柱状図から)を用いることにより容易にコアRQDを求めることができた。ここでは、主にRQDの値と割れ目間隔の比較を通じて、ボーリング孔内での計測結果が、採取されたコアを用いた場合よりも上位の岩盤評価を与えることを示した。もともとRQDや割れ目間隔は岩盤の不連続面の幾何学的状態を表すものであり、これらから直接に岩盤の力学特性を求めることはできない。しかし、孔壁RQDを用いるならば、同じ位置での孔内載荷試験による変形係数と対応をつけることが可能であり、岩盤評価の観点から一つの有効な手段となりうるということが考えられる。さらに、その位置でのコア強度や、

さらには原位置岩盤試験の結果と比較できれば極めて有効である。しかし、今回の検討では、孔内載荷試験が行われた点が少なく、孔壁RQDと岩盤の力学特性との関連を求めるだけの資料を得ることができなかった。

RQDは岩盤の不連続面に左右されるだけでなく、岩石の強度にも大きく影響される。これらはいずれも岩盤を構成する地質構造に関連したものであるため、岩盤全体の評価としては孔壁RQDによる不連続面の評価だけでなく、対応する位置での岩盤強度を測定することが求められる。

また、いままでのRQDとしてはある一方向のボーリング孔に対して求めたものが用いられてきたが、地質構造との関連から、2方向あるいは3方向のボーリング孔におけるRQD、すなわち、3次元RQD（あるいは体積RQD）を用いることによって測定精度を上げることが要求される。しかし、RQDの精度や岩盤分類における分類要因の精度等を考えれば、一方向のRQDを用いることとして、最後に、1次元RQDと3次元RQDの関連についてデータの調査・分析を行うことが必要になるだろう。

また、今後、孔壁RQDとともに孔内載荷試験による変形係数を利用する機会が増えてくると思われるが、その場合には、不連続性岩盤や異方性岩盤における孔内載荷試験の結果の評価という新しい問題が出てくる。また、岩盤の変形特性は3次元的に評価されねばならないから、孔内載荷試験法としては2ないし3方向の変形が求められるような計測デバイスが要求されることになると考えられる。

さらに、図-9からも明らかのように、Hoek-Brownの破壊基準を用いると岩盤の破壊曲線( $\sigma \sim \tau$ 曲線)は放物線型となる。一方、原位置岩盤のせん断強度試験の結果は、Mohr-Coulomb式( $\tau = c + \sigma \tan \phi$ )の直接関係で示されるから、この両者の関係づけが必要となる。岩盤分類(RMR法、Qシステム)から求められた $\sigma \sim \tau$ 関係から設計に用いるべき岩盤のせん断強度特性( $c$ ,  $\phi$ )を推定する方法の検討を今後も続ける必要がある。

#### 参 考 文 献

- 1) 亀和田俊一, 遠藤努, 国分英彦, 西垣好彦(1989): 「BIPシステムの装置とその能力について」, 第21回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集(土木学会岩盤力学委員会) pp. 196-200.
- 2) Priest, S. D. and Hudson, J. A. (1976): Discontinuity Spaces in Rock, Int. J. Rock Meck. Min. Sci. of Geomech Abstr., Vol.13, 135-148.
- 3) Bieniawski, Z. T. (1976): Rock mass classification in rock engineering, Proc. Sympos. on Exploration for Rock Engineering, pp. 79-106.
- 4) Barton, N., Lien, R. and Lunde, J. (1974): Engineering classification of rock mass for the design of tunnel support, Rock Mechanics, Vol. 6, No. 4, pp. 183-236.
- 5) Caweron-Clarke and Budavari, S. (1981): Correlation of rock mass classification parameters obtained from borecore and in-situ observation, Engineering Geology, Vol. 17, pp. 16-53.