

(7) ボーリング孔壁とコア観察によるき裂性状の相違

京都大学工学部	正会員	谷本	親伯
京都大学工学部	正会員	岸田	潔
京都大学大学院	学生員	○ 安藤	拓
ニュージェック	正会員	國井	仁彦

Comparison on Observed Discontinuities between Borehole Scanner and Recovered Core

by Chikaosa TANIMOTO*, Kiyoshi KISHIDA*, Taku ANDO* and Hitohiko KUNII**
(*Kyoto University; **NEWJEC)

Abstract

Boring is essential in geological survey. The state of discontinuities is interpreted through that of recovered core, which cannot provide any information on joint orientation, actual apertures, filling materials and so on. By using Borehole Scanner System (BSS), we can observe discontinuities in the undisturbed condition and obtain more realistic information. But there is some difference between obtained core pieces and BSS due to their own data acquisition systems. In this paper, we compare obtained core pieces with BSS image in terms of joint spacing and RQD. The result leads to the construction of a data base for the use of practical design and management.

1. はじめに

岩盤中に存在する不連続面はその岩盤の挙動に大きな影響を与える。施工に先立ちボーリング調査が行われるが、ボーリングによって採取されたコアの状態を観察することにより、不連続面の状態を推定することができる。また、さらにボアホールスキャナシステム（BSS）などの装置を用いて、その孔壁を観察することにより、より正確な不攪乱状態での不連続面の性状を知ることができる。よってBSSを用いることにより、岩盤不連続面の走向、傾斜、開口幅、充填物の有無など岩盤不連続面に関する詳細、かつコア観察では得られないような情報を得ることが可能となる。しかし孔壁観察はコアの目視観察と比べ、その観測手段が異なるために両者によって得られた値に差異が生じる可能性がある。そこでBSSによる孔壁観察とコア写真に記録されたボーリングコアの状態を、き裂頻度などを用いて比較することにより、両観察の相関および観察されるき裂性状の相違について検討を行なった。さらにBSSなどにより得られたき裂情報を実際の施工に適用する際の問題についてRQD値を例として考察を行った。

2. 調査地点概要

調査は地下空洞掘削に先立つ調査横坑、ならびに横坑内より掘削されたボーリング孔で行った。横坑の形状およびボーリング孔の位置を図1に示す。BSSによる観測は図1に示したA, B, Cの3孔で行い、ボーリング孔の孔長はすべて70mである。調査地の基盤岩は堆積岩類と流紋岩類からなることが地質調査により確認されている。堆積岩類は粘板岩が主体となっており、流紋岩類は流紋岩質

凝灰岩と花崗斑岩からなる。3 孔の岩質は、A 孔は花崗斑岩、B、C 孔は流紋岩質凝灰岩がその孔長のほとんどを占めており、B、C 孔は同一の岩塊中に存在するものと思われる。

3. 観察の測線方向による問題点

BSS では孔壁の状態がその展開画像として観察される。そのため不連続面が平面であれば展開画像上ではサインカーブとして現れる。このサインカーブの位相、および振幅を読み取ることにより不連続面の走向、傾斜が求められる[1]。今回はこの不連続面のサインカーブの頂点を画像から読み取ることにより不連続面の走向、傾斜を求めた。このようにして求めた走向、傾斜をシュミットコンター図で表示したものが図2である。この図からB 孔の不連続面の極がN20E/15W、N5E/30E付近に存在することがわかる。同様にしてA 孔の極はN15E/15W、N25W/20E、C 孔の極はN10W～N5E/5～25Wと求められた。いずれの場合も水平面に対して緩やかな傾斜を持つ不連続面群が発達していることがわかった。

しかしBSS による孔壁観察は、その性質上ボーリング孔と平行方向に存在する不連続面を観測することが困難となる。先ほど示したコンター図でも図の円周付近、つまり地表面に対して垂直方向の不連続面はほとんど観察されていない。これが実際にその方向に不連続面が存在していない為なのか、それとも観測手段上の問題によるものなのか区別することは困難である。そこで今回は調査横坑の坑壁展開図を利用して、不連続面の観察を行った。調査横坑はボーリング孔と直交する方向に掘削されているので、水平面に対し鉛直な不連続面を観測しやすい。その結果N88E/85N方向とほぼ水平面と直行する方向に極を持ちき裂頻度2.99(/m)の不連続面群が観察された。この不連続面群はその多くが傾斜が54°～90°となっており、ボーリング孔壁の観察結果とは逆に水平方向の不連続面があまり観察されていない。つまりこの場合も調査横坑と平行に存在するき裂群があまり観測されないという問題が生じている。

4. き裂頻度による比較

コア写真で求めたき裂頻度とBSS により観察されたき裂頻度を示したものが図3である。両者の増減の傾向は似ているが、個々の値はコア写真で観測されたき裂数が、BSS で観察されたき裂数を上回っている。つまりコアでは観察されているが、BSS では確認されなかったき裂があることになる。そこで両者をさらに

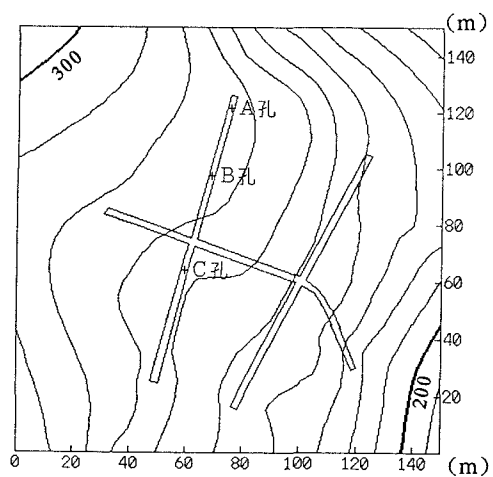


図1 現場地形およびボーリング孔配置図

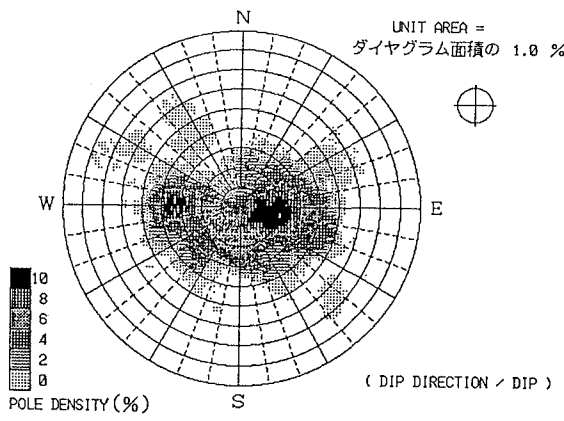


図2 シュミットコンター図 (B 孔)

表1 観察されたき裂数

	A 孔	B 孔	C 孔
コア写真	579	474	568
BSS ①	413	363	443
BSS ②	18	9	30

詳細に比較し、1つ1つのき裂についてコア写真とBSSでの対応関係を調べた。その結果、コア写真で観察されるがBSSでは確認されないき裂は全き裂数の数%であり、コア観察によってのみ観察されるき裂がき裂頻度の差を生み出す主因となっていることがわかった。これらの値を示したものが表1である。表中ではBSSで観察されるき裂総数をBSS①、コア写真になくBSSのみで観察されるき裂総数をBSS②で示している。BSSのみで観察されるき裂の発生する要因としては、岩の模様をき裂と誤認するなどBSS画像の解釈上の問題が考えられる。これはその原因や観測数の少なさからみて、観測誤差として処理することが可能であると思われる。

BSSとコア写真のき裂頻度の相違の主因となっているコア写真でのみ観察されるき裂が存在する原因としては、実際に存在しているき裂をBSS画像上で見落とす、ボーリングの過程で新たなき裂が発生する、などのことが考えられる。しかし注意深くボーリングを行えばボーリングの際に新たにき裂を生じさせる可能性は小さい。つまりBSS画像そのものがコア観察とBSS観察の間に差を生じさせる原因となっている可能性が高い。実際に存在するき裂がBSS画像上で観察されない要因としては

- ①不連続面のなす角度がボーリング孔とはば平行方向である。
- ②開口幅が非常に小さいため、画像装置、もしくは観察者に認識されない。
- ③画像が不鮮明なためき裂が観察不可能となる。

などが挙げられる。①の場合、画像上にき裂が現れているが、そのサインカーブの振幅が非常に大きいため観察者にき裂として認識し難くなる。またき裂がサインカーブとして現れるのはき裂が平面である場合であるが、この場合のき裂はコアと交わる長さが長くなるため、他のき裂と交差するなど、完全な平面として観測するのはさらに困難となる。このような場合、単純にき裂をサインカーブとしてではなく、別の形式で記録することが必要となる。特に破砕帯などにおいては網の目上に広がったき裂が観察されることが多いため、そのき裂位置やき裂長さなどをサインカーブとは異なった形式で記録しなければなら

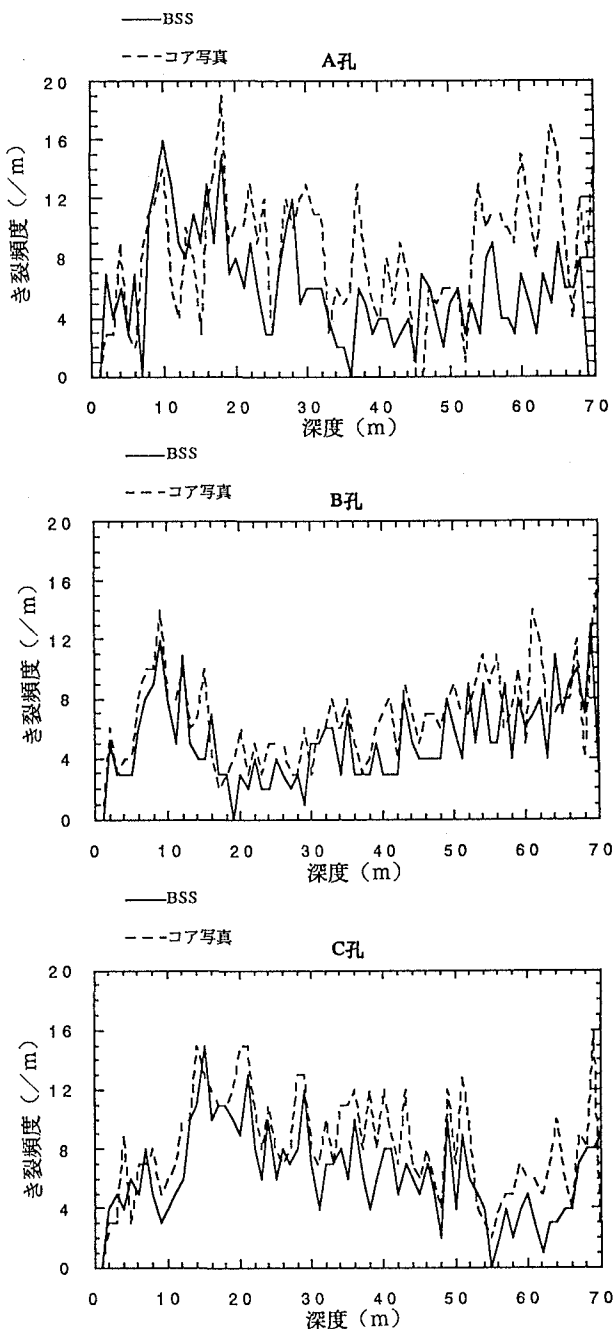


図3 き裂頻度によるBSSとコア写真の比較

らない。ただしこの場合き裂の走向、傾斜の正確な値を得ることは困難となる。このように1つの画像に対して必要とする処理の内容を考慮してデータの保存形式を検討しなければならない。

②、③の場合には調査現場の状況、計測器、および画像データの処理技術の問題が重要となり、特にボーリング孔の状態によってき裂の視認性は大きく左右される。よってこれらの問題は個々の観測において孔壁の洗浄など十分な準備を行い、より良好な状態で作業を行うことが大切である。

5. RQD値による比較

岩盤の状態を表す指数として広く用いられているものの一つにRQDがある。そこでコア写真とBSSとの比較結果を実際に利用されている工学的定数と比較するためにコア写真およびBSSのき裂観察結果からRQD値の計算を行った。RQDを測定する基準となるコア長には、コアの先端間、中心線間、コアが完全な円柱となっている区間の3種類が考えられる。得られるRQD値は先に述べた順に小さくなるが、最も現実的な測定方法としては一般にコア中心線上の長さが推奨されている[2]。なぜならボーリング孔に平行な不連続面が存在する場合、特に完全な円形区間を測定する方式ではRQD値を過小評価することになってしまうためである。

BSSよりコア長を求める場合、不連続面はサインカーブとして画像上に現れる。そのためコア中心線上における不連続面間隔はそのサインカーブの中心線の間隔として求められる。それに対しコア写真の場合は記録されているのはコア表面、しかも上半面のみの状態である。そのため厳密に中心線上のコア長さを知ることはできない。そこで今回はコア表面に測線を設け、そこで計測されたコア長をもとにRQDを求めた。この場合もボーリング孔に平行な不連続面が存在する場合、コア長の誤差が大きくなる。

このようにして求めたBSS、コア写真によるRQD値と、ボーリング柱状図に記録されているRQD値を示したものが図5である。3者を比較すると、3孔ともおおよそBSS、コア写真、柱状図の順で値が小さくなっている。またBSSとコア写真

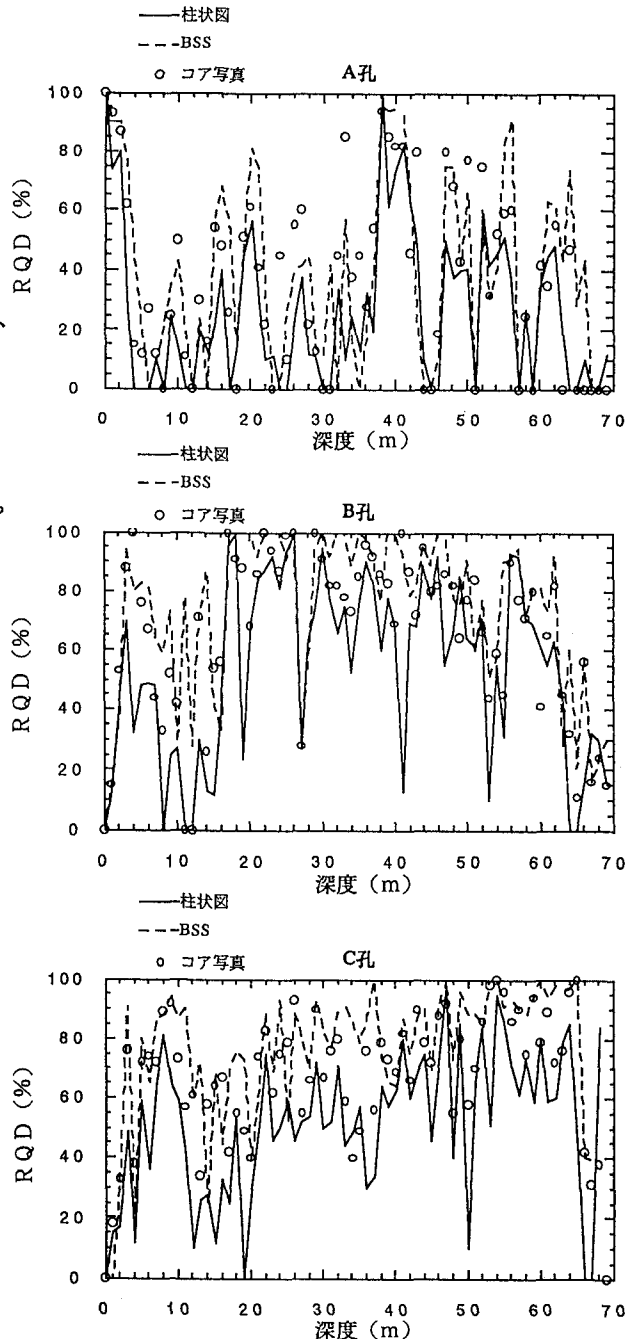


図4 RQDによるBSSとコア写真の比較

から求めたRQD値の差は、柱状図とコア写真の差よりも小さい。実際に各々の平均値を計算したものが表2である。平均値でみた場合にも先に述べた傾向が認められる。特に共に流紋岩質凝灰岩がその大半を占めるB孔とC孔の両者を比較した場合、柱状図、コア写真、BSSで求めたRQD値が2孔でほぼ同一の値を示している。

表2 RQDの平均値

	A孔	B孔	C孔
柱状図	26.5	54.5	51.7
コア写真	35.4	67.0	67.8
BSS	41.0	74.4	76.2

つまり柱状図で求めたRQD値と、コア写真、BSSで求めたRQD値との間に比例関係があるのではないかと考えられる。このような関係が求められれば、BSSや統計的手法によって得られた不連続面情報をもとにボーリング孔が掘削されていない領域におけるRQD値を推定することが可能となる。

BSSで求めたRQDがより大きな値を示す原因としてはき裂頻度の項で述べたき裂認識性の問題に加え、観察者による相違とBSSそのものの問題の2つが大きく影響していると考えられる。柱状図による記録はボーリング技術者の観察によるものであり、一方コア写真とBSSより得られた値はともに筆者が求めたものである。このコア写真とBSSとの間の値の差が、柱状図と比較した際の差よりも小さいということは、観察者の間にRQD値の解釈の相違があるのではないかと考えられる。またコア写真とBSS画像を比較した場合、特にコアサンプルでは非常に細かく破碎されている領域においても、BSSで観察した場合には、細かなき裂が多いものの孔壁自体は自立した状態で観察される。そのため岩が実際よりも健全な状態にあると解釈される可能性がある。さらに通常RQD値を求める際にはき裂が存在していなくても風化や粘土化によりコアが弱質化している場合には、その部分のコア長はRQD値には入らない。当然BSSによっても岩の風化などは観察されるが、その度合いの解釈は困難であるため、先の原因と併せて特に破碎帯においてはRQD値を過大評価する傾向がある。その傾向は、例えば図5のB孔では4~14, 19, 41, 53m付近に見られる。

6. まとめ

BSSによるき裂観察は容易に不連続面の走向、傾斜、開口幅などを知ることが可能である。しかしながら採取したコアの観察結果や設計に用いられるRQD値と比べ、深さ方向における変化の傾向はよく捉えていたが、その値に差があることがわかった。しかしその差には比例関係がみられるので、今後さらに観測数を増やしその傾向を把握することにより、BSS観測そのものの信頼性を高め、さらにBSSによる観測結果を実際の設計、施工に用いられる工学的定数を求める有効な手段とすることができる。今回は特に不連続面の頻度に着目したが、BSSによって得られる情報は岩質、開口幅、充填物など多様である。このような現実の岩盤から得られる様々な情報を基礎とし、さらにそれらを定量的に扱うための手法、問題などについて検討を行いたい。

参考文献

- [1] 谷本、堀田、安藤(1991):「ボーリング孔壁観察による切羽前方地質予知に関するデータベースの構築」、第23回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp. 51-55
- [2] ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests (岩の力学連合会訳) (1985): ISRM指針 vol. 3 岩盤不連続面の定量的記載法、岩の力学連合会、pp. 89-92