

(61) 岩石の衝撃破砕性について

九州大学工学部	正会員	松井 紀久男
九州大学大学院		○島 田 英 樹
九州大学工学部		一ノ瀬 政友
九州大学工学部		市 川 之 善

Characteristics of Impact Fragmentation of Rock

Kikuo MATSUI, Kyushu University
Hideki SHIMADA, Graduate School, Kyushu Univ.
Masatomo ICHINOSE, Kyusyu University
Yukiyoshi ICHIKAWA, Kyushu University

Abstract

The impact strength of rock is normally determined by using a 'Protodyakonov' type drop hammer. However, this testing cannot apply to a wide range of rocks. Therefore, standardized impact strength test using the 'Protodyakonov' type drop hammer is carried out and the correlations of the resulting values of impact hardness with the mechanical properties obtained by usual laboratory tests are investigated.

The results show that the impact strength has a good correlation with the tensile or the compressive strength of rock. Therefore, the impact strength can be used as a strength index in the estimation of rock property. Moreover, the performance of rock drilling or machine roadway drivage can be predicted using the impact strenght of rock.

1. 緒 言

岩盤構造物の設計、施工において、対象となる区域の岩盤の力学的性質を知ることは、きわめて重要な課題のひとつである。すなわち、地下岩盤内に空洞を開削し、維持する場合、空洞開削における使用掘削機の機種を正しく選定し、掘削能率を精度良く予測するため、あるいは開削に伴う空洞上下盤および側壁の挙動を適切に制御し、効果的かつ経済的にこの空洞を維持、管理するためには、周辺岩盤の力学的性質を十分に把握することが不可欠の条件となる。

岩盤やこれを構成する岩石の力学的な各種の特性値を求めるために、種々の試験法が提案されている。この中で、もっとも多くかつ広く用いられている方法は、採取した岩石を用いて行う一軸圧縮試験や線載荷圧裂引張試験(Brazilian 試験)である。これらの試験では、岩石をある規定の大きさ、形状に正確に整形することが必要であり、また使用すべき試験機もかなり高価で大きなものとなる。そこで非整形、あるいは簡単な整形の岩石供試体を用いて、より簡単な試験機と方法で試験を行い、その結果から岩石の力学的特性を精度良く推定できる方法があれば有効性が大きいと思われる。このような考え方に基づいた試験方法として、点載荷圧裂引張試験(Point load 試験)¹⁾や丸棒貫入試験²⁾などの方法が提案されている。

以上のような観点から筆者らは、簡単な試験装置と比較的簡単な整形供試体を用いて行う衝撃破砕試験

をとりあげ、この試験で得られた破碎特性値と通常の各種の強度および物性試験により得られた各特性値との関係を種々検討した。本報ではこの結果について述べる。

2. 衝撃破碎試験

2. 1 衝撃破碎試験とは

一般に、岩石の衝撃強度はソ連のProtodyakonovによるИГД-АН法あるいは英国の方法によって求められている³⁾。これらの試験法はいずれも規定の重さの重錘を規定の高さから落下させ、規定の網目のフルイでふるい、網下産物の体積や網上産物の重量から衝撃強度インデックスを求めるものである。しかし、これらの方法では試験条件が制限されており、硬岩をも含めた種々の岩石に対して適用することは困難である。このような欠点から、Misra, Wotton や Brookらにより広い範囲の岩石に適用できる新しい衝撃破碎試験法が検討されてきた^{4), 5)}。とくに、Rabiaら⁵⁾はこの試験法について、供試岩石の大きさや量、重錘の重量や落下高さなどの試験条件の結果に与える影響について種々検討し、岩石の衝撃強度を十分な精度でもって評価できることを示した。この試験法についての詳細は次項で述べる。

2. 2 試験装置および試験方法

今回用いた衝撃破碎試験装置は図1に示すように、岩石供試体を入れる円筒形容器の直径が76mm、落下させる重錘は重量2.4kg、直径66mmであり、Protodyakonov試験装置とほとんど同じである。しかし、試験方法が異なっており、次に示す試験手順と結果の整理により破碎特性値を求める⁵⁾。

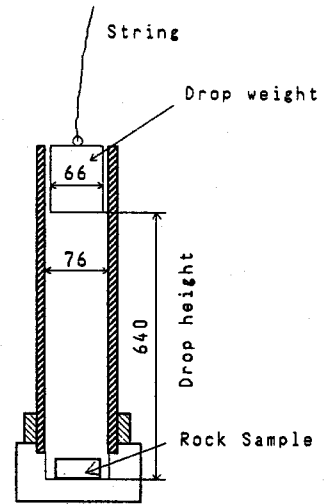


図1 衝撃破碎試験装置

- 1) 乾燥した直径25mm、長さ50mmの円柱形岩石供試体の初期重量 W_0 を計量する。
- 2) 岩石供試体を円筒形容器に横に寝かせて入れ、重錘を640mmの高さから任意の回数落下させる。
- 3) 破碎された岩石を網目0.5mmのフルイで90秒間手でふるい、網下産物の重量 W_u を計量する。
- 4) 網下産物百分率を次式で求める。

$$\text{網下産物百分率 (\%)} = \frac{W_u}{W_0} \times 100 (\%)$$

- 5) 新たな岩石供試体を用い、重錘の落下回数を変えて試験を行い、上式により網下産物百分率を求める。これを繰り返して試験を行う。
- 6) 横軸に重錘の落下回数、縦軸に網下産物百分率をとり、実験結果をプロットする。
- 7) 原点を通る直線で近似し、この近似直線を用いて網下産物百分率が25%になる落下回数を求め、岩石衝撃硬度数 (RIHN: Rock Impact Hardness Number) と称する衝撃破碎特性値を得る。

実験に供した岩石は九州地区の石炭鉱山から採取した夾炭層岩石である砂岩や砂質頁岩をはじめとして、砂岩、大理石、花崗岩、安山岩などである。

通常の強度試験は、直径25mm、長さ約50mmの供試体を用いた一軸圧縮試験と、直径25mm、長さ約25mmの供試体を用いた圧裂引張試験を行い、一軸圧縮強度 S_c 、50%強度での接線ヤング率 E_{50} および圧裂引張強度 S_t を求めた。またショア硬度試験および弾性波速度測定も行い、それぞれショア硬度 H_s と弾性波速度 V_p を求めた。さらに、夾炭層岩石については石英の体積含有率 Q を求めた。

3. 実験結果および考察

図2に代表的な岩石に対する衝撃破碎試験の結果を示す。図に示すように、各岩石とも0.5mm以下の網下産物百分率と重錘の落下回数とはほとんど直線関係にあり、岩石供試体に与えられた打撃エネルギーが有効に岩石の破碎に費やされている。この結果は破碎や粉碎に使われる正味の打撃エネルギーは、新たに生じた破碎粒子の表面積の増加、すなわち表面エネルギーの増加に比例するというRittingerの理論⁶⁾が成立していることを間接的に示していると考えられる。しかし、打撃回数が大きくなると直線関係から離れ、網下産物百分率は比例的に大きくならない。これは、打撃エネルギーが既に生じた破碎微粒子の過粉碎や破碎粒子間の相対運動やそれに伴う摩擦などに費やされるからであると考えられる。したがって、岩石衝撃硬度数RIHNを規定する網下産物百分率は、直線関係が成り立つ範囲内で設定すべきであり、Brook⁴⁾らにより提案された0.5mm以下の網下産物百分率25%の値は、今回の試験結果の範囲内では妥当であると判断される。

夾炭層岩石を用いた各試験により得られた結果を用いて、岩石衝撃硬度数RIHNと各特性値の相関関係を示すと図3～図7のようになる。参考のために、その他の岩石の結果も併せて図中に示している。これらの図より、RIHNは一軸圧縮強度 S_c や圧裂引張強度 S_t とかなり強い正の相関があることが認められる。とくに圧裂引張強度との相関性が高いのは、重錘の落下による破

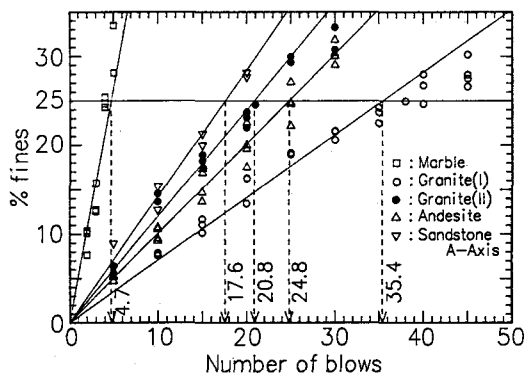


図2 衝撃破碎試験の結果

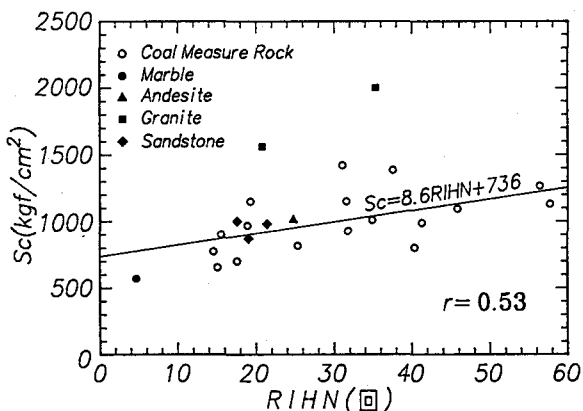


図3 一軸圧縮強度 S_c とRIHNの関係

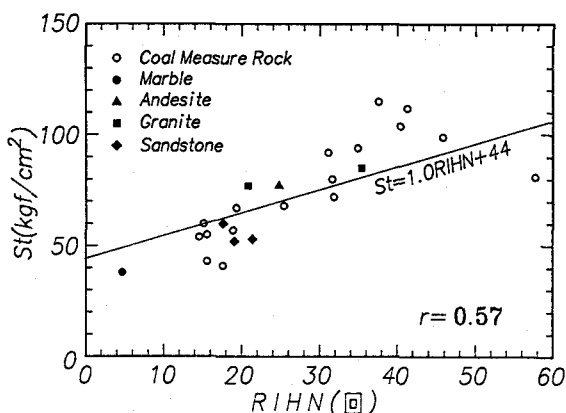


図4 圧裂引張強度 S_t とRIHNの関係

壊様式が圧裂引張試験における引張破壊様式とよく似ていることに起因していると考えられる。今回の試験結果から判断すれば、全岩種を統一に取り扱うより、むしろ砂岩あるいは花崗岩などと各岩種に応じて、それぞれ各力学的特性値との相関を考慮する必要があると思われる。

4. 岩石衝撃硬度数RIHNの利用

Rabiaらは岩石衝撃硬度数 RIHNを用いて、打撃式穿孔機の穿孔速度を予測する次のような実験式を提案している⁵⁾。

$$PR = C \frac{P^a}{(RIHN \cdot H_s)^b}$$

ここで、C、aおよび bは使用する穿孔機や実験条件により決まる実験定数であり、P、 H_s はそれぞれ作動ゲージ圧とショア硬度数である。図8に種々の岩石に対してダウンザホールドリルを用いて穿孔した結果を示すが、きわめて精度よく穿孔速度の予測が可能であることがわかる。

また、回転式穿孔機の穿孔速度やロードヘッダあるいは全断面トンネル掘進機TBMなどの掘進速度の予測には、基本パラメータのひとつとして岩石の一軸圧縮強度や圧裂引張強度を用いた各種の実験式が一般に提案されている⁷⁾。さらに、打撃式と回転式穿孔機のそれぞれの穿孔速度は互いに強い正の相関があることが示されている⁸⁾。これらのことから、比較的簡単な試験で得られる岩石衝撃硬度数RIHNはあらゆるタイプの破碎方式に対してうまく適用できる可能性を有しており、また前節で述べたように一軸圧縮強度や圧裂引張強度とのよい相関から、岩石の力学的特性値を表すひとつのインデックスとして十分利用できることがわかる。

図9には、夾炭層砂岩における石英体積含有率Qと衝撃硬度数RIHNの関係を示す。石英含有量の大きい岩石の切削や穿孔においては、浮遊粉塵が作業員の健康や作業環境に大きな影響を与える恐れがあるが、図より岩石が本来有している粉塵発生潜在的な可能性をRIHNの値から定量的に評価

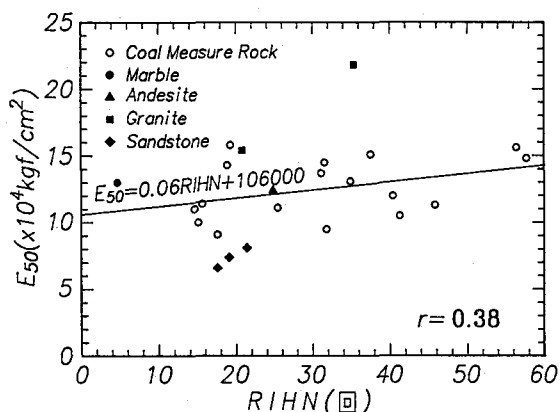


図5 接線ヤング率 E_{50} とRIHNの関係

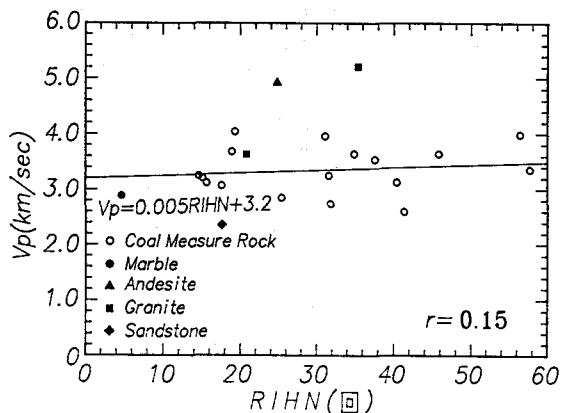


図6 P波速度 V_p とRIHNの関係

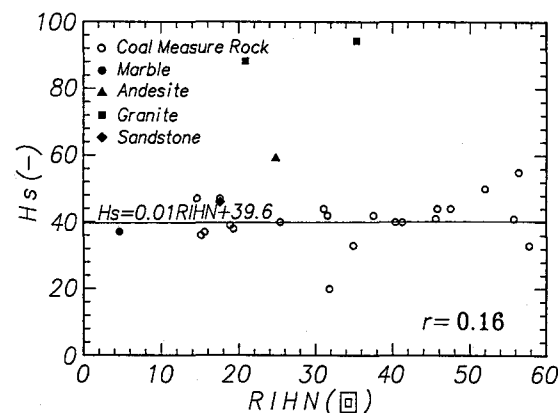


図7 ショア硬度 H_s とRIHNの関係

することも可能と考えられる。

5. 結 言

簡単な試験装置と比較的整形が簡単な供試体を用いて行う衝撃破砕試験により岩石衝撃破砕値を求め、従来の試験により得られるいくつかの特性値と比較検討した。その結果、岩石の力学的特性値を表すひとつのインデックスとして、あるいは穿孔機の穿孔速度や掘進機の掘進速度の評価や粉塵などによる作業環境の影響の評価にも十分適用できる可能性があることが明らかとなった。今後さらに岩石の種類を増やして試験を行う予定である。

夾炭層岩石の採取に当り、多大のご協力を頂いた各鉱業所の関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) ISRM: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 22, No. 2, 51-60, (1985)
- 2) 松井、一ノ瀬、島田：応用地質、30巻4号、206-212, (1989)
- 3) 山口、西松：岩石力学入門、155-158, 東京大学出版会, (1973)
- 4) Brook, N. & Misra, A.: Proc. 11th Symp. Rock Mech., Univ. Missouri, 151-165, Am. Inst. Metall. Petrol. Engrs, New York (1970)
- 5) Rabia, H. & Brook, N.: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 18, 211-219, (1981)
- 6) 前掲3), 90-95
- 7) Howarth, D. F.: Trans. Instn Min. Metall. (Sect. A: Min. industry), 95, A191-A202, Oct., (1986)
- 8) Howarth, D. F. & Adamson, W. H.: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 25, No. 1, 25-33, (1988)

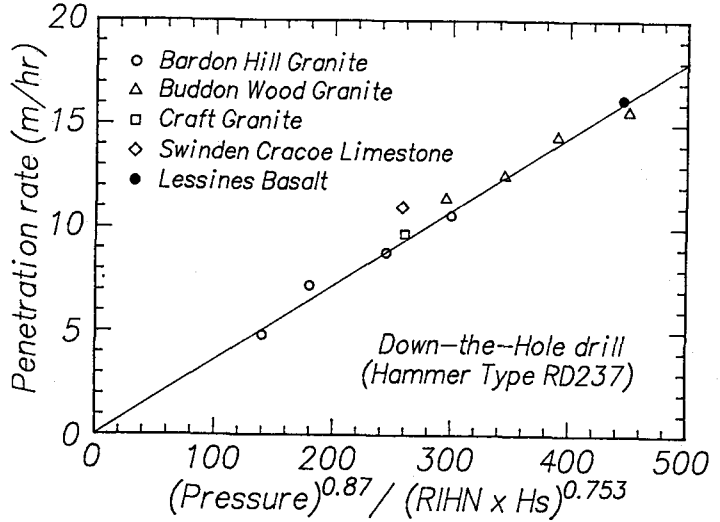


図8 種々の岩石に対してダウンザホールドリルを用いて穿孔した結果⁵⁾

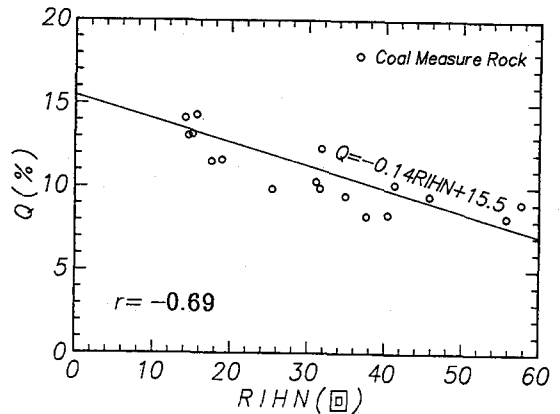


図9 夾炭層岩石における石英含有率QとRIHNの関係