

岩石試料への反発硬度試験機の適用性について

APPLICATION OF HARDNESS TESTER TO ROCK SPECIMENS

大川 哲志*・大岡 政雄*・船戸 明雄*

Satoshi OKAWA, Masao OHOKA, Akio FUNATO

The Equotip Hardness Tester is developed to evaluate the hardness of metallic materials. We found that there was a good correlation between the equotip rebound values and the mechanical properties of rocks, but the rebound value was influenced by some measurement conditions. We tried to examine the influences of measurement conditions on the rebound value, and obtained the following results ;

- The rebound value depended partially on the way of supporting the specimen.
- The rebound value was increased according with the deformation of the hitting point by hitting the same point continuously,.
- The roughness and the curvature of the testing surface caused no major influence to the rebound value.

1. はじめに

ISRM 指針¹⁾では岩石の硬度の試験法として、シュミット反発硬度試験とショアー硬度試験が挙げられている。シュミットハンマーは、コンクリートの圧縮強度を測定するために考案された装置であるが、原位置岩盤の力学特性を推定するために利用されることも多い。しかし岩石試料に適用する場合には、大きな打撃エネルギーによって試料を破壊する恐れもあり、適用例は多くはない。一方、金属の硬さ試験機として知られているショアー硬度試験機は、打撃エネルギーが小さいので小さな岩石片にも適用できるが、測定法が簡便とはいえず利用頻度は高くはない。

シュミットハンマーやショアー硬度試験機と同じ反発硬度試験機のひとつに、金属材料の硬さ試験機として近年開発されたエコーチップと呼ばれる携帯型の簡易な反発硬度試験機がある。橋本ら²⁾は、エコーチップの反発度と岩石の力学特性の間に良好な相関があるとし、この装置が岩石材料に対する簡易な非破壊試験法として有効であることを示唆している。著者らも岩石の力学特性とこの反発度の関係に着目してこれまでに様々な岩石についてデータを蓄積してきた。図-1、図-2 は既存の試験結果に加えて筆者らが得たデータをプロットしたものである。同図の直線は既存のデータによる回帰直線であるが、筆者らのデータは概ねこの近傍にプロットされているものの、岩種によって異なる傾向を示していることがうかがえる。図-1、図-2 に示される結果には、このような岩種による影響の他に、測定条件による影響も含まれていると考えられる。岩種による影響を明らかにすることは今後の課題であるが、そのためにはまず測定条件によるデータのばらつきに関する検討が必要と考え、以下の実験検討を行った。

* 応用地質 (株) コアラゴ

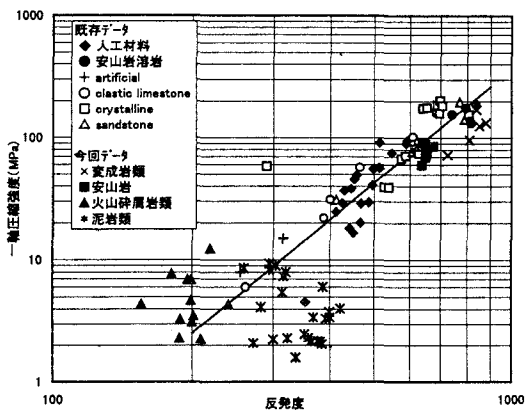


図-1 一軸圧縮強度と反発度の関係
(橋本ら²⁾に加筆)

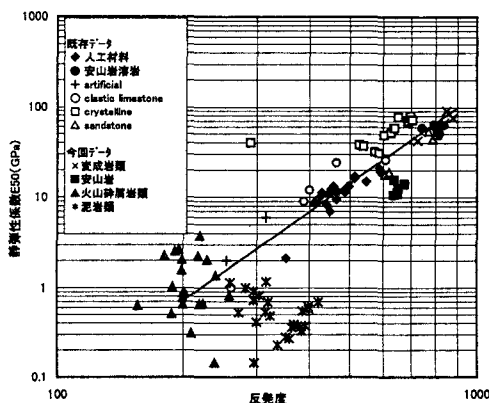


図-2 静弾性係数と反発度の関係
(橋本ら²⁾に加筆)

2. 試験機の特徴と影響要因

エコーチップによる反発度は、ばねの力でインパクトボディーを試験体に打ち付けた時の打撃速度に対する反発速度の比として計測される。

この試験機はシュミットハンマーやショアー硬度試験機に比べて、以下の利点を有している。

- 打撃エネルギーが 11 Nmm と小さく岩石供試体に適用できる
- 反発値がデジタル値で自動収録され多量のデータを容易に整理できる
- 測定法が簡便で個人差が少ない
- 装置が小型軽量でポータブルである

しかし、その反面、反発度に影響を及ぼす以下のような要因が考えられる。

- ① 供試体の大きさ
- ② 供試体の支持方法
- ③ 連続打撃
- ④ 試験面の粗度
- ⑤ 試験面の曲率

このうち、①供試体の大きさについては、橋本ら²⁾や Verwaal et al³⁾が、供試体の直径が 50~60mm 以上、高さが 50mm 以上であれば反発度に及ぼす供試体の大きさの影響はほとんどないと報告している。そこで、以下の検討においては、力学試験に一般に用いられる直径 50mm、高さ 100mm の形状の供試体を試験対象として用いた。

3. 検討方法と結果

3.1 供試体の支持方法の影響

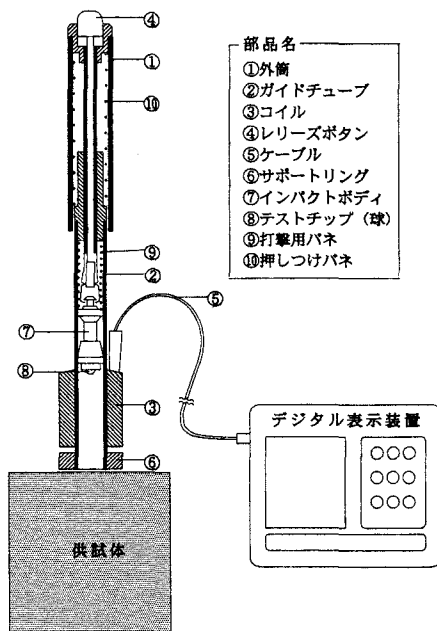


図-3 エコーチップの概要図

重量が2 kgf 以下の供試体に適用する場合には、頑丈な支持台に固着する方法が推奨されている。しかし、原位置において簡易に測定する場合には、そのような条件が満たされないことも考えられる。そこで支持方法による影響を検討するため、供試体をスポンジ、作業机、鉄塊(テストアンビル)の上に置いた場合と、鉄塊に固着した場合の4種類の条件で比較測定を行った。用いた供試体は、石膏、モルタル、安山岩の3種類とし、端面を#400 のカーボランダムで研磨して試験面とした。図-4 には各供試体の端面で場所を変えて 10 点打撃した時の反発度の平均値と標準偏差を鉄塊固着の場合を1として正規化して示す。

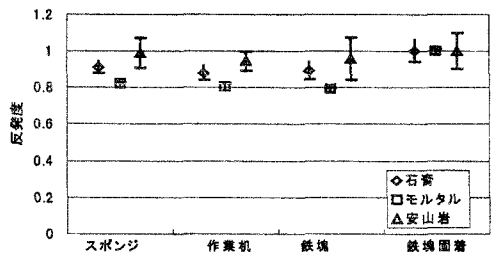


図-4 支持方法による反発度の違い

同図によれば、鉄塊固着に比べて他の条件では反発度が1～20%程度低下しているが、その低下率は供試体の種類によって異なっている。一方、固着しない場合には、どのような台に供試体を置いても反発度にはほとんど差はないことがうかがえる。

3.2 連続打撃の影響

石膏、モルタル、安山岩の円柱供試体のほか、テストアンビル、アクリル板の5種類の材料について連続打撃時の反発度と、打撃点の窪み量を測定した。支持方法は、鉄塊固着とした。各供試体について8点の測点を定め、それぞれの測点で1,2,...,8回の連続打撃を行った。

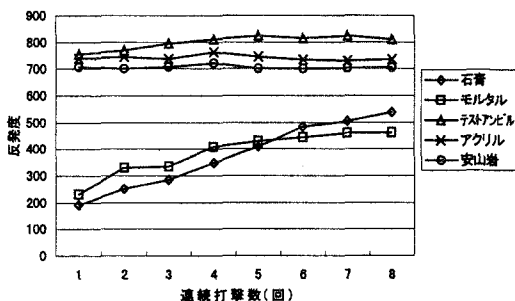


図-5 連続打撃による反発度の変化

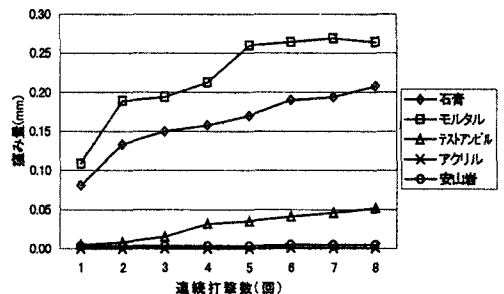


図-6 連続打撃による窪み量の変化

図-5に示すように、石膏、モルタルでは連続打撃数の増加に伴い反発度が増加しているが、アクリルと安山岩では反発度はほとんど一定である。このような差は図-6の窪み量にも表れており、連続打撃数の増加に伴い反発度が大きくなる材料では窪み量も増加しているが、反発度が一定の材料では打撃による窪み量はほとんど零となっている。

橋本ら²⁾は安山岩や凝灰角礫岩について連続打撃数2～4回以降反発度が一定になることを示し、4回以降10回までの最大と最小を除く5点の平均として反発度を整理している。しかし、ここに示したように反発度が一定になる打撃回数は材料によって異なる場合もある。また、石膏やモルタルでは、1回目の反発度に比べて6～8回目の反発度は2倍程度に増加しており、どちらの値を用いるかは十分に検討する必要がある。

3.3 試験面の粗度の影響

モルタルについては円柱供試体の端面を#400のカーボランダム、#240の紙ヤスリおよびワイヤーブラシで研磨して3種類の異なる粗度の試験面を作成した。安山岩については、ダイヤモンドカッター切削と#400カーボランダム研磨の2種類の粗度の試験面を作成した。図-7に試験面の粗度を測定した結果を示す。これらの供試体を鉄塊に固着し、同一箇所を8回連続打撃した時の反発度を表-2、図-8に示す。モルタルのワイヤーブラシ研磨面においては、3～4打目まではやや反発度が小さい傾向が認められる。また、紙ヤスリ研磨やダイヤモンドカッター切断面程度の粗さであれば、反発度はその影響を受けないと判断される

表-2 粗度による反発度の違い

反発度	モルタル			安山岩	
		カーボランダム	紙ヤスリ	ワイヤーブラシ	
				カーボランダム	ダイヤモンドカッター
1回目		216	228	180	713
8回目		476	490	488	733
最大凹凸差 (mm)		0.042	0.095	0.184	0.062
標準偏差		0.010	0.024	0.058	0.019

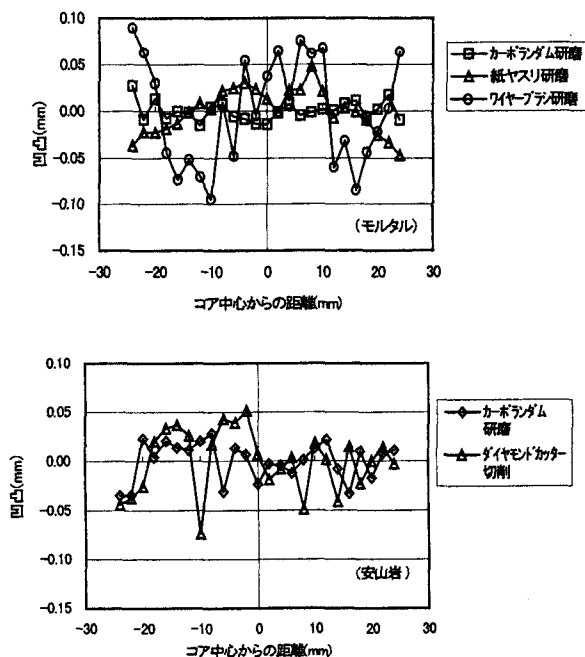


図-7 試験面の凹凸測定結果

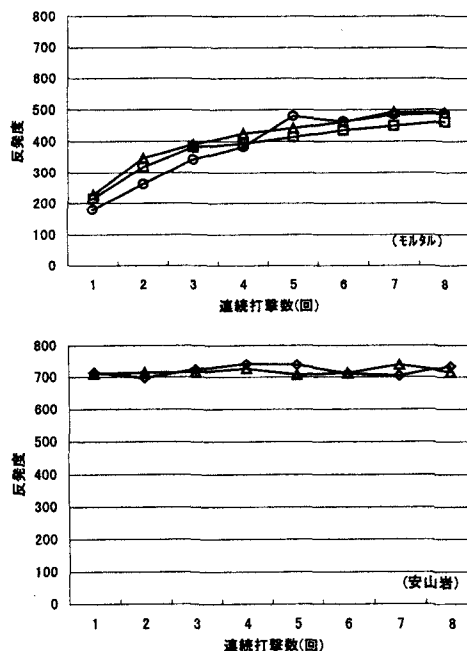


図-8 異なる粗度の試験面における連続打撃結果

3.4 試験面の曲率の影響

泥岩、砂岩など8種類の円柱供試体の端面と側面において比較測定を行った。供試体は、ダイヤモンドビットでコアリングした後、端面をダイヤモンドカッターで切断して作成した。支持方法は作業機の上とした。

図-9によると、側面の反発度は端面の反発度の0.9～1.0倍（平均0.96倍）となっている。側面打撃の場合の反発度が小さいのは、サポートリングと供試体側面がしっかり固定されていないこと、打撃方向がコアの中心線と必ずしも合っていないことなどによるものと考えられる。

4. まとめ

エコーチップの反発度に及ぼす測定条件の影響について検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 鉄塊固着に比べて台に置く条件では反発度が1～20%程度低下しているが、その低下率は供試体の種類によって異なっている。また、台に置く条件では、台の種類にかかわらず反発度にはほとんど差はない。
- ② 同じ点を連続打撃した場合、反発度が一定になる打撃回数は材料によって異なる。連続打撃で一定になった時の反発度は、材料によっては1回目の反発度の2倍程度になることもあり、どの値を用いるか十分検討する必要がある。
- ③ 紙ヤスリ研磨やダイヤモンドカッター切断面程度の平滑さ（標準偏差で0.03mm程度）であれば、反発度に及ぼす粗度の影響はないと判断される。
- ④ 円柱供試体の側面の反発度は、端面の反発度より4%程度小さな値となる。
- ⑤ 軟らかい材料は硬い材料に比べて測定条件の影響を受けやすい。

実際にはコア箱に入ったままのコアの側面を測定するケースが多いと考えられるが、今回の検討結果を踏まえれば、以下の点に留意する必要がある。

- ・ 打撃方向がコアの中心を通るように試験機をしっかりと固定する。
- ・ 連続打撃を避け、測定点の近傍で数点測定してその平均をとる。
- ・ 表面の凹凸の著しい箇所は避ける。

以上のような点を考慮して使用すれば、エコーチップは岩石の力学特性の相対指標値を得るための試験機として十分実用的であると判断される。今後は、反発度に影響を与える他の諸要因についても明らかにし、簡便で精度の高い測定方法を確立したい。また、その上で、様々な岩石についてもデータを蓄積し、岩石の力学特性を評価する指標試験としての有効性を高めていきたい。

5. 参考文献

- 1) 岩の力学連合会：ISRM 指針，Vol.2，1983.3.
- 2) 橋本 徹・片川 秀基・平野 秀次・村上 弘行：エコーチップ硬さ試験器による岩石材料物性評価の試み：第33回地盤工学研究発表会（山口），pp. 1231～1232，1998
- 3) Verwaal W., Mulder A. : Estimating Rock Strength with the Equotip Hardness Tester, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol.30, No.6, pp. 659-662, 1993

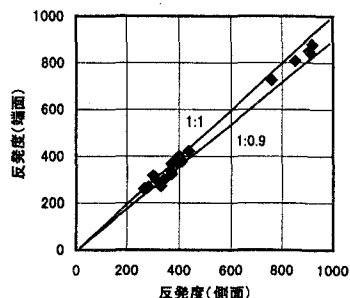


図-9 端面と側面の反発度の関係