岩石の衝撃破碎抵抗*

正 会 員 佐 々 木 和 郎**
 准 会 員 山 門 憲 雄**
 庄 子 富 夫**
 塩 原 善 一**

Fracturing Resistance of Rock under Impact

Kazuro SASAKI, Norio YAMAKADO,
 Tomio SHOJI and Zen-iti SIOHARA

The PAGE impact test machine is generally used for the fracturing resistance or the toughness of rock, but the equipment which has used for this study, was an impact load measuring apparatus with wire strain gauge being equipped specially for the purpose.

Taking the impact drop test in testing the toughness of rock, the strain, which is the phenomena to be observed before the fracture caused by the impact, affects occasionally the fracturing resistance and accordingly the effect of measurement is not always matched to the actual resistance to be shown at the impact.

At the experiment, which was done applying the one stretch impact method, it was found that the fracturing resistance or the toughness of rock can be measured exactly as it occurred.

1. 緒 言

岩石のさく孔、爆破に対しては、その硬度と靱性（衝撃に対する破碎抵抗）が大きな影響を及ぼすといわれており、この靱性の決定に当つては、ドロップテスト法、ショアー硬度計を用いる方法等¹⁾が用いられるが、靱性試験用ページ衝撃試験機を用いるドロップテスト法が広く用いられている。

ドロップテストはアンビル上に置いた一定の大きさの岩石試料上に、下端が半径1cmの球状をなす重量1kgの硬鋼製プランジャを置き、これに対し重量2kgのハンマを、最初1cmの高さより落下させ、逐次その落下高さを1cm宛増加して試料に衝撃を与え、試料が破碎された時のハンマの落下高さを表わすcm数をもつて、その試料の靱性をあらわしている。

この試験法においては、試料が破碎する迄ハンマの落

下高さを順次1cm宛増加していく関係上、破碎する迄には相当量の歪が試料内に累積され、しかもこの累積歪は岩種により、又破碎に至る迄の衝撃回数によつて異なるものと考えられる。したがつて、この累積歪は当然、岩石の衝撃に対する破碎抵抗、すなわち靱性に影響を及ぼすと考えられるので、この様な方法では正確には岩石の靱性を対比することは出来ぬのではないか？ ドロップテストにはこの様な疑点があるので、新たにワイヤ・ストレーンゲージを利用した衝撃力測定装置を設計、製作し、これにより岩石の衝撃破碎抵抗につき研究する一方、従来のドロップテスト法につき検討した。

2. 衝撃力測定装置及び測定法

この装置は、衝撃力附加部と衝撃力測定部よりなつている。附加部の構造及び寸法はページ衝撃試験機と同様である。

測定部は、衝撃力受感部、増巾器、ブラウン管及び撮影機よりなつている。内面にワイヤ・ストレーンゲージを貼付けてある中空円錐型の受感部に衝撃力が加われば、これは弾性的に圧縮され、ストレーンゲージの抵抗は変化し電位差を生じる。この出力をCR結合の低周波増巾

* 昭和29年12月17日受理

* 資源技術試験所 第6部

1) Standard method of test for toughness of rock. A. S. T. M. Designation D3-18,

2) R. Shepherd : Improving the Efficiency of Rotary Drilling of Shotholes, Transactions of the Institution of Mining Engineers. Aug. 1954, pp. 1029~1053.

第1図 衝撃破砕抵抗測定装置機構図

器により増巾してブラウン管のY軸に入れる。この際、観測現象は一打撃で終るため、これには単掃引時間軸回路を使用している。ブラウン管は東芝製撮影用12F-B11である。第1図は本装置の機構図を示したものである。

測定法としては、受感部上に、プランジャの下端がその中心線にくる様に試料（標準として直径22, 高さ22 mmの円錐型のものを使用）を設置し、ハンマをプランジャ上に落下させる。この際、ハンマの落下によりスポットスタート用接点が閉じると、ブラウン管のスポットはスタートし、左より右へ約23m/secの速度で移動する（この速度は調節出来る）。その間にハンマがプランジャに当り、試料に衝撃力が与えられれば受感部は圧縮され、この為に生ずる出力がY軸に入り、ブラウン管上に一つの波形があらわれる（第4図参照）。この波形を写真に撮り、その波の高さより受感部に伝わった衝撃力の大小を比較する。

プランジャを通してハンマの打撃力が試料に伝わった場合、試料に与えられた力が、その試料を破砕するに要する力よりも小さい時は、試料に与えられた力の一部は、試料の弾性変形、塑性変形等に用いられ、残りの力が受感部に伝わり、これを弾性的に圧縮する一方、プランジャは反撥する。すなわち、受感部には試料に与えられたエネルギーより吸収エネルギー（試料の弾性、塑性変形等）に使用されるエネルギーを差し引いただけのエネルギーが伝わり、その大小に応じた波形がブラウン管上に示される。ハンマの打撃力が増大して試料を破砕する場合には、受感部には試料を破砕するに要したエネルギーが伝達され、この際の波形より破砕抵抗を知ることが出来る。

波形の撮影にはタクマf 3.5付アサヒフレックスを使用し、フィルムは富士X-レイフィルム（間接撮影用）を用いた。

3. 衝撃力と波の高さとの関係

受感部に異なった衝撃力が与えられれば、それに応じて異なった波の高さを得るが、テスト用プランジャ（岩石

第2図 衝撃力と波の高さとの関係

試験用プランジャと同じく硬鋼製にして、その直径、その他は同様であるが、その長さは、岩石試験用のものより22mm長くなっている）を用い、プランジャに与えた衝撃力と波の高さとの関係を求めた結果は第2図の如くである。もちろん、この際は、ハンマがプランジャに与えた衝撃力のすべてが受感部に伝達されるわけではないが、一応この試験結果を基準として、以下の試験における衝撃力対比の基準とした。

4. 衝撃力及び試料の大きさを変えた場合の破砕抵抗の変化

試料にある程度以上の衝撃力を与えるならば、これは破砕するが、その破砕状況は衝撃力の大きさによつて異なり、衝撃力が試料を破砕するに要する最小エネルギーに等しければ、これはほぼ中心線を通る平面に沿つて2つに割れる。衝撃力がこれ以上の場合には、試料は更に細かく破砕される一方、遠方へとばされる。ハンマの落下高さを変えた場合の破砕抵抗の変化を知る為に、各種の同一岩石試料（直径22mm高さ22mmの円錐型）に対し、ハンマをそれぞれ10, 15, 20, 25cmの高さより落下させブラウン管上の波の高さを測定した結果の一例は第3図の如くである。これは、ある砂岩について行つた試験結果であるが、この試料はハンマを10cmの高さより落下させた場合に丁度2つに割れる。この結果より、第1波の高さは、測定範囲内においてはハンマの落下高さ、すなわち衝撃力が変化しても2つに割れた場合と等しく、一定であることがわかる。しかし第2波は、ハンマの落下高さの増大に応じて漸次高くなっている。波形の一例を示すならば第4図の如くであり、(1)~(4)はそれぞれハンマの落下高さが10, 15, 20, 25cmの場合のものであるが、それぞれの試料は2（ひび割れを含む）

第3図
ハンマ落下高さと波の高さとの関係

第4図 ハンマ落下高さを変えた場合の波形

3, 4, 4 個に割れるもの多く、ハンマの落下高さが大になる程微細粒子が多くなっている。以上の現象は、試料にプランジャを通してある程度以上の衝撃力が与えられれば、試料はまづ2つに割れ、受感部の圧縮歪は減少し、その為に上昇過程にあつた波は下降し始めると思われる。衝撃力が更に大なる場合には、プランジャは更に試料に衝撃力を与え、これを更に細かく破碎する。この時の破碎エネルギーは第2波以下にあらわれるものと考えられる。したがって、1回の打撃にて試料を破碎し、その時の第1波の高さを測定して破碎エネルギーを対比する——この方法を一撃破碎試験法と呼ぶこととする——ならば、衝撃力の大きさ、試料の破碎状況の如何に拘らず、試料を2つに割るに要したエネルギーを対比することが出来、岩石の衝撃破碎抵抗を知ることが出来ると考えられる。

前述の試験においては、試料は直径 22, 高さ 22mm の円錐型のものを使用した。が、試料の大きさを変えた場合、これを2つに割るに要する破碎エネルギーの変化を知る為に、大きさの異つた試料（何れも直径と高さは等しい円錐型）を用い、一撃破碎試験法により破碎抵抗を対比した結果は第5図の如くであり、破碎抵抗は、破碎によつて生じた表面積（この場合は直径の2乗）にほぼ比例することを示している。したがって、ドロップテストにおいては直径 25, 高さ 25mm の円錐型試料を標準として使用しているが、一撃破碎試験法によるならば、試料

第5図 破碎により新たに生じた表面積と衝撃破碎抵抗との関係

の大きさは必ずしもこれと同じにしなくとも、任意の寸法のものに換算出来るので、以下の試験にはすべて直径 22, 高さ 22mm のものを使用した。

Leonard Obert 氏等は、ドロップテストにより大きさの異つた試料を用いて衝撃破碎抵抗の変化を測定した結果、これ等の間には一定の関係は見出されなかつたと述べているが、これは、ドロップテストにおいては試料の大きさによつて残留歪の破碎に及ぼす影響が異なり、これが測定値に影響を及ぼした為と思われる。

5. ドロップテストにおける吸収エネルギーの変化

同一岩石試料に対し、1回では破碎しない程度の等しい衝撃力を、これが破碎する迄繰返し与え、その時の破碎エネルギーを測定する一方、同じ試料につき一撃破碎試験法により破碎エネルギーを測定し両者の値を対比した結果、前者は後者よりもかなり小さな値を得た。これは先の打撃による歪が漸次累積され、この累積歪が破碎抵抗に影響を及ぼしたものと考えられるが、ドロップテストの如く、ハンマの落下高さを 1cm 宛増加させた場合、吸収エネルギーが、衝撃力の大きさ、岩種によつてどの様に変化し、累積歪の影響がどの程度に現われるかを知る為に、ドロップテストに際し、それぞれ吸収エネルギーを測定した結果を示せば第6図の如くである。この図より明らかなる如く、各衝撃力に対する吸収エネルギーは、岩種により異なり、変輝緑岩の様なものにおいては小さく、砂岩の様なものにおいては大きい。吸収エネルギーの大きな岩石の破碎面をみるに、第7図の如く、プランジャの当つた所は、楔状に岩石が粉碎されており、これが圧入された様な状態を示しているが、花崗岩等にはこの楔は見られない。砂岩の様な岩石の吸収エネルギーが大きいのは、衝撃力の一部がこの粉碎圏をつくるのに用いられているのも一つの原因と考えられる。又ドロ

3) Leonard Obert : S. L. Windes and Wilbur I. Duval : Standardized tests for determining the physical properties of mine rock. Bureau of Mine, R. I. 3891 Aug. 1946.

第6図 ドロップテストの各打撃における吸収エネルギー

第7図
破砕面の1例

ップテストにより試料を破砕した時の破砕エネルギーは、概してその破砕直前の打撃における吸収エネルギーよりも小さい値を示しているが、これは破砕に至るまでの打撃により試料内に歪が生じ、これが衝撃破砕抵抗に影響を及ぼした為である。従つて、破砕エネルギーと破砕直前の打撃における吸収エネルギーとの差の大きいような岩石については、ドロップテストにより靱性を対比することは妥当ではないと思われる。

6. ドロップテストによる靱性と一撃破砕試験による靱性との比較

上述の如く、ドロップテストの場合には、破砕に至る迄の打撃による累積歪の影響が大きくあらわれるものもあり、したがつて、これにより表わされる靱性は、必ずしも一撃破砕試験法により測定した靱性とは比例しないと考えられるので、数種の岩石につき、直径及び高さが共

第1表 ドロップテスト法及び一撃破砕試験法により求めた靱性の比較

岩石名	ドロップテスト		一撃破砕試験	
	靱性	石灰石(非)を1とした比率	靱性	石灰石(非)を1とした比率
変輝緑岩	14	3.5	15.1	3.4
花崗閃緑岩	9	2.2	7.3	1.6
砂岩(I)	9	2.2	7.7	1.7
花崗岩	6	1.5	5.1	1.1
砂岩(II)	5	1.3	2.4	0.5
石灰石(非晶質)	4	1.0	4.5	1.0
石灰石(結晶質)	3	0.8	2.2	0.5

に 22mm の試料を用い、ドロップテスト法と一撃破砕試験法により、靱性を求めた結果は第1表の如くである。この表より明らかであるが、両試験法により表わされる靱性は大体同様な傾向を示しているが、中にはその順位の逆になっているものも見受けられる。この様にドロップテストにより示される靱性は、必ずしも破砕エネルギーに比例せず、この靱性10のものの破砕エネルギーは靱性5のものの2倍になるとは限らないので、この値を岩石のさく孔、爆破と直接結びつけて考えるのは妥当ではない様に思われる。

7. 結 論

ワイヤ・ストレインゲージを利用した衝撃力測定装置を新たに設計、製作し、これを用いて岩石の衝撃破砕抵抗につき研究した。

円錐型の岩石試料に対し、下端が球状をなしたプランジャを通して、一度に大きな衝撃力を与えた場合、試料は第一段階で、大体試料の中心線を通る平面に沿つて2つに割れ、次の段階で更に細かく割れるものと考えられ、この第一段階で2つに割れる時の破砕抵抗は、衝撃力の大きさ、破砕状況の如何に拘らず一定であり、又この破砕抵抗はほぼ破砕によつて新たに生じた破砕表面積に比例する。

ドロップテストによつて岩石の靱性を対比する場合には、破砕に至るまでの打撃により生ずる累積歪が、破砕抵抗に大きく影響を及ぼすものもあり、これにより示される靱性は必ずしも衝撃破砕抵抗に比例しない。しかし、一撃破砕試験法によれば、正確に衝撃破砕抵抗を対比することが出来ると考えられる。

終りに、本研究に当り試験装置の製作に対し御援助を賜つた早川鉄工社長早川市蔵氏をはじめ、岩石試料を提供された各位に対し、深く感謝する次第である。