

日本大学理工学部 正員 酒井左武郎
 大林組技術研究所 〃 青藤 二郎
 〃 〃 〃 芳賀 孝成

1 まえがき

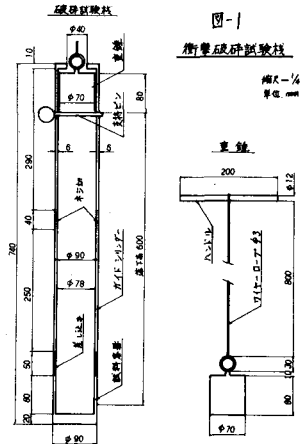
基礎地盤の強度と岩盤掘削の計画には岩石の一軸圧縮試験および弾性波試験などが用いられている。そして一般に岩石の力学的性質として最もよく利用されている一軸圧縮強さをもって岩石の性質を代表させている。しかし、岩石は性質上、非常に複雑な構造と組織を有しているため、この一軸圧縮強さのみで岩石の性質としていることは必ずしも適切なことでない。すなわち岩石の複雑な性質を表わしているものに硬さ、砕け易さなどの定性的な表現での不確定な要素があるので工学的には把握できない困難な原因の一つと考えられる。そこで、岩石の評価としては力学的性質としての定量的な数値による「強さ」と岩石の破砕の性質を表わすと思われる「破砕性強さ」の二つを併用した総合的な表現が数値によって可能であれば、岩石の性質を判断する方法として意義あることと考える。また、一軸圧縮試験は試料の採取と成形に手間がかかり、成形が不可能なものもあり、あまり実用的な試験とはいえないので岩石を整形しない非整形試料を簡単な衝撃破砕試験機を用いて岩石の破砕性強さを表わす衝撃破砕係数を求め、この衝撃破砕係数により岩石の分類を行なうものである。

2 衝撃破砕試験と衝撃破砕係数

岩石の衝撃破砕試験を代表しているものにプロトジャコフ試験がある。この試験方法は鋼製円筒容器の底部に岩石の試験片の小塊1個を入れて、重さ2.4kgの重錘を60.0cmの高さから落下させて破砕し、これを5個の小塊について行ない、その破砕試料をまとめて標準網フルイ0.5mmのフルイでふるい、このフルイを通過した試料を内径2.5cmのメスシリンダーに入れて高さ h を測定する。これによりプロトジャコフ係数 $f=20N/h$ によって求められている。しかし、このプロトジャコフ試験においては試料の大きさおよび試料重量、打撃回数などが正確に規定されていないため試験条件によって f の値の変動が大きいばかりでなく、岩石の破砕性を求めるための試験方法としてはその価値が或る程度減少すると考えられる。したがって、このプロトジャコフ試験に使用されている衝撃破砕試験機(図-1)を用いた岩石の破砕の理論を考察し、また非整形試料の大きさ、試料重量および破砕に要する打撃回数を規定して衝撃破砕試験方法を確立し、岩石の破砕性を表わす衝撃破砕係数 F を理論的・実験的に検討を加える。

岩石の破砕理論は、岩石粒子の破砕に要するエネルギーが破砕によって新しく生じた岩石粒子の表面積の m 乗に比例するという破砕の法則に基づいたものである。したがって衝撃破砕試験は非整形岩石試料を重錘落下による衝撃エネルギーによって種々の粒径に破砕し、この破砕に要するエネルギーと破砕された岩石粒子の関係より、「破砕性強さ」の指標である衝撃破砕係数を求めるものである。そこで、岩石粒径 D_{n1} が衝撃エネルギー E によって粒径 D_{n2} に破砕したときに要するエネルギーは次式で示される。

$$E = E_0 D_0^m \left\{ \left(\frac{1}{D_{n2}^m} - \frac{1}{D_{n1}^m} \right) V \right\} \quad (1)$$



ここで E は基準とする粒径(D_0)まで岩石を破砕するに要する単位体積比エネルギーであり、 V_i は粒径 D_i 以下の破砕粒子の全体積である。この(1)式によって破砕に要したエネルギーは、それによって生じた岩石粒子の表面積の関係に置きかえることができたので、この m を破砕性指数と呼び、岩石の破砕に関する性質を表わすものである。したがって衝撃破砕係数は次式で示される。

$$F = \frac{E \cdot \rho}{\sum \left[\left(\frac{X_{i-1} + X_i}{2} \right)^m - \left(\frac{X_{i-2} + X_{i-1}}{2} \right)^m \right] W_{i-1}} \quad (2)$$

ここに、 F : 衝撃破砕係数 ($\text{kg} \cdot \text{cm}^m / \text{g}$)、 E : 破砕に要する衝撃エネルギー ($\text{kg} \cdot \text{cm}$)、 ρ : 岩石粒子の単位体積重量 (g)、 W_{i-1} : X_{i-1} フルイの通過重量 (g)、 $(X_{i-1} + X_i)/2$ と $(X_{i-2} + X_{i-1})/2$: 残留、通過フルイの相加平均粒径 (cm)、 m : 破砕性指数 (—) である。衝撃破砕係数 F を求めるにあたり試験試料、破砕性指数および打撃回数について述べる。

1) 試験試料

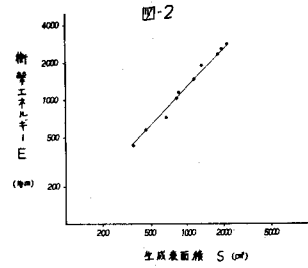
衝撃破砕試験における試験試料は標準フルイ 15.9 mm 通過 95.2 mm 残留の試料 50g とする。これは、岩石粒子の破砕理論において岩石粒子を完全球体として解析したので試料を完全球体に近似させるためと、衝撃破砕試験機の破砕能力に適した量であるとし、衝撃破砕試験の統一的な基準として最適な試料粒径と重量を規定した。

2) 破砕性指数 m

衝撃破砕係数を求めるにあたり岩石の破砕性指数 m がいかなる値をもつか知らなければならない。そこで 35 種類の岩石について打撃回数を破砕現象の領域内にあるように考え、1 回 ~ 20 回の間で変化させて破砕性指数 m を求め統計学的手順により検討した。その結果、岩石粒子の破砕性指数は 0.9 ~ 1.2 の間にあることがわかり 1.0 とすることができた。(図-2)、(表-1)

3) 打撃回数 N

衝撃破砕係数 F を求めるにあたって打撃回数 N を破砕の領域において適切な回数に規定しておかなければならない。2) より $m=1$ の範囲内が破砕の領域と考えられ、その打撃回数は 20 回までとすることができた。ここでは 2 種類の岩石試料の新小松安山岩と箱田花コウ岩について打撃回数 N を 1 回 ~ 200 回まで増加させ、そのときの衝撃破砕係数 F の値から適正な打撃回数を検討した。この結果より打撃回数 $N=10$ 回以上は衝撃破砕係数 F の値は一定であるが、 $N=10$ 回以下では衝撃エネルギーのすべてが岩石の破砕に費やされていない。すなわち岩石粒子の破砕が完全に行なわれていないということで



新小松安山岩 (粒径 5)

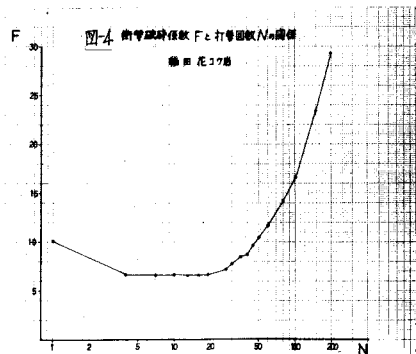
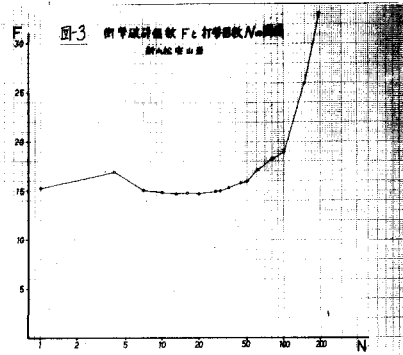


表-1 各種岩石の破砕性指数 m

番号	岩石名	産地	m
2	ジャ紋岩	玄海(福岡)	1.0
3-A	凝灰岩	月山(和歌山)	1.0
5	新小松安山岩	神奈川	1.0
6	箱田花コウ岩	茨城	1.0
11	珪質粘板岩	高浜(福井)	1.0
20	泥岩	青森トオル(北海道)	0.9
22	瓦化花コウ岩	大島大橋(山口)	1.1
23	石灰岩	武甲山(埼玉)	1.0
26	粘板岩	中山寺(兵庫)	0.9
34	珪岩	普代トオル(岩手)	1.0

ある。また、この試験を他の33種の岩石について行なったが同じ傾向を示している。したがって打撃回数は $N=10$ 回と決め、これによって衝撃破砕係数 F を求めることができ、各種岩石の固有の衝撃破砕係数 F が定められることができる。(図-3)、(図-4)

3 衝撃破砕係数 F による岩石の分類

岩石の衝撃破砕係数 F は2の衝撃破砕試験によって求めることができる。この衝撃破砕係数は岩石の「硬さ」、「強さ」、「砕け易さ」などの性質、すなわち「破砕性強さ」を定量的に表わすことができるので、岩石の工学的な性質を把握するうえで非常に有意義であると考えられる。そこで著者は、他の岩石分類法や他の力学的諸数値と衝撃破砕係数との相関性を検討し、衝撃破砕係数による岩石の分類を試みた。その結果、衝撃破砕係数 F により岩石を、表-2、図-5、6、7に示すように F が20以上、10~20、5~10、3~5、3以下の5段階に分類することができた。図-5、6、7はそれぞれ衝撃破砕係数 F と一軸圧縮強さ、弾性波速度、点載荷引張強さの関係を示したものである。

表-2 衝撃破砕係数 F による岩石の工学的分類表

岩石分類 (一般的名称)	工学的分類	衝撃破砕係数 F	一軸圧縮強さ σ_c (MPa)	弾性波速度 V_p (km/s)	点載荷引張強さ σ_{ts} (MPa)
硬岩	かたい岩石	20以上	1500以上 1000以上	150以上	5.0以上
石炭岩	硬岩	10~20	400~1500 500~1000	100~150	4.0~5.0
半硬岩	ふつふつの岩石	5~10	400~1000 500~1000	40~100	3.0~4.0
軟岩	A やわらかい岩石	3~5	250~500 100~250	20~40	2.0~3.0
	B 非常にやわらかい岩石	3以下	250以下 100以下	20以下	2.0以下

注：本表は工学的分類法により、岩石の性質を示す。

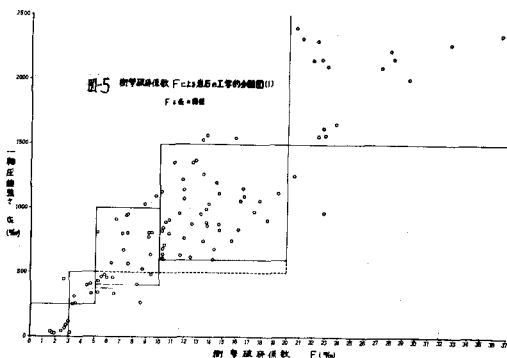


図-5 衝撃破砕係数 F による岩石の工学的分類図(1)
 F と σ_c の関係

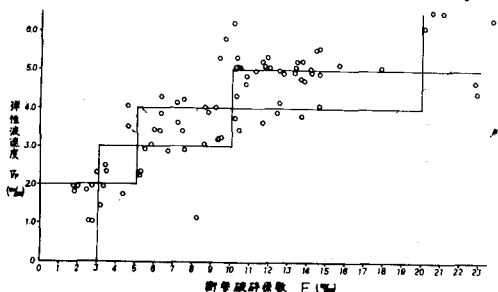


図-6 衝撃破砕係数 F による岩石の工学的分類図(2)
 F と V_p の関係

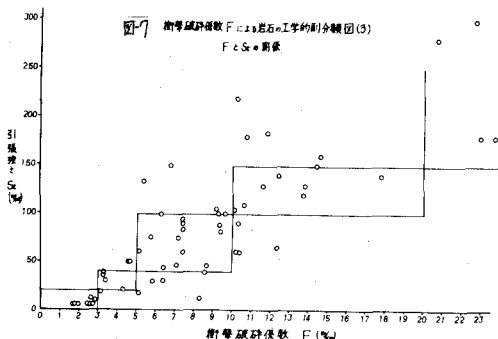


図-7 衝撃破砕係数 F による岩石の工学的分類図(3)
 F と σ_{ts} の関係

4 まとめ

衝撃破砕試験方法に関して理論的、実験的にいくつかの考察を行なってえられた結果をまとめてみると次のことがいえる。

使用する衝撃破砕試験機において

i) 岩石の試料粒径は標準フルイ15.9mm通過の9.52mm残留のもの

ii) 試料重量はi)のものの50g

iii) 打撃回数 N は10回(とくに非常にやわらかいもののものをく)が適当である。

iv) 破砕性指数 $M=1$ とすることができた。

求めた衝撃破砕係数により岩石の性質について考察した結果をまとめてみると

v) 衝撃破砕係数 F は「破砕性強さ」を定量的に示すことができる。

vi) 衝撃破砕係数 F により岩石の破砕性強さの性質を5段階に分類することができた。

参考文献

- 1 酒井左武郎他：衝撃破砕試験による岩石の均一性係数に関する考察，オ9回土質工学会研究発表会，1974.6
- 2 酒井左武郎：岩石の非整形試料による衝撃破砕係数について，未発表