

日本大学工学部 正員 酒井佐武郎
大森組技術研究所 〃 斎藤二郎
〃 〃 〃 〇 芳賀孝成

1 まえがき

基礎地盤の強度や掘削施工能率は対象地盤が岩盤の場合、通常岩石の一軸圧縮試験結果および弾性係数調査結果より判断している。しかし一軸圧縮試験は供試体の整形に多くの時間と手間を要し、試験個数が限られること、供試体の整形・仕上げ技術の差によ、値が大きく変わること、強度の低いものやヘヤクラックの発生したものば試験が不能であることなどから実用的な試験とはいえない。また岩石には成因に基づく本質的な強度のばらつきがあるので現場状態での岩石の力学的性質を求めるためには精確な一軸圧縮試験を行うよりも簡易な方法を数多く試験を行、た方が有効であると思われる。そこで、これまで提案されている多くの岩石室内試験法のうち岩石を整形せずに試験できる点載荷引張試験および衝撃破砕試験が簡易試験法としての条件と比較的満足するものであることから、この試験法を普及させることも目的として試験方法と試験結果の解析方法についてさらに検討を加えた。

2 点載荷引張試験

この試験方法は整形しないうちの岩石試料を上下二つの載荷ポンチではさんで点載荷し、試料を破壊させてその時の荷重から岩石の引張強度(S_x)を求めるものである。 S_x は封閉試験片に点載荷したとき載荷点を通る軸上に生ずる応力成分を弾性理論解析により計算した結果から次式によって計算する。

$$S_x = k \frac{2P}{\pi d^2} \quad (1)$$

ここに P は破壊荷重、 d は載荷点間距離である。また k はポアソン率(m)、および載荷ポンチ接触点直径(a)と d との比によって決まる係数で、本山らが計算した結果より $m=6$ の場合の k と a/d の関係を図-1 に示す。ただし、ここでは k に対する a/d の影響は事実上無視できると考えて(2)式で計算してよいと仮定した。

$$S_x = 0.9 \frac{P}{d^2} \quad (2)$$

図-3 は(2)式によって求めた S_x と試験時の粒径との関係の1例に粒径が小さくすれば S_x は大きくなる。このことから k は a/d にかなり影響を受けるものと考えられるので図-1より $mean$ の場合について k と a/d の関係式を求め(1)式に代入し k を消去したのが(3)式である。 a の値は図-2に示すように同載荷ポンチで岩石の種類によ、て異なるが(3)式では $a=4\text{mm}$ とした。

$$S_x = 0.544 \frac{P}{d^{1.39}} \quad (3)$$

(3)式を用いて計算した S_x と d の関係 図-3 (2)式による S_x と D の関係

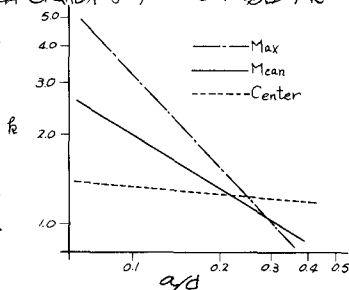
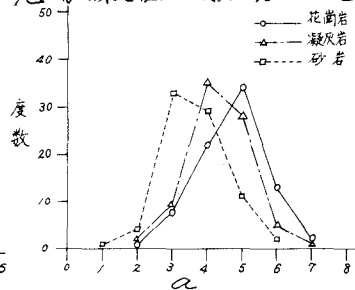
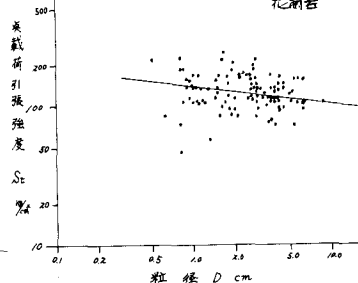
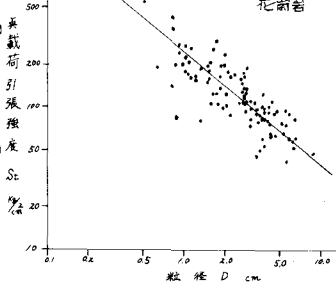
図-1 a/d と k の関係

図-2 載荷ポンチ接触点直径と自由度の関係

図-4 (3)式による S_x と D の関係

を示したのが図-4で粒径の影響は図-3よりもう少しこじが認められる。なお式(4)は寸法効果によって、ある程度粒径の影響を受けるのは当然であると考えられ、その値を示す場合にはその時の粒径も添え字である。

3 衝撃破砕試験

この試験方法はプロトタイプ1) 試験に代表されるものである。プロトタイプ1) 試験は、試験機(同容量)の底に岩石の小塊1ヶを入れ、重さ2.54kgの重錘を60mmの高さからN回落下させて破砕し、これを5ヶの小塊について行ない、その破砕粉をまとめて網目0.5mmのふるいを通し、網目0.5mmを通過した粉を径2.5mmのXスリンダに入れて高さ1mで規定する。破砕指数(プロトタイプ1)係数)は(4)式で求められる。

$$f = \frac{20N}{L} \quad (4)$$

プロトタイプ1) 試験は、試験機(同容量)の底に岩石の小塊1ヶを入れ、重さ2.54kgの重錘を60mmの高さからN回落下させて破砕し、これを5ヶの小塊について行ない、その破砕粉をまとめて網目0.5mmのふるいを通し、網目0.5mmを通過した粉を径2.5mmのXスリンダに入れて高さ1mで規定する。破砕指数(プロトタイプ1)係数)は(4)式で求められる。

$$W = E_0 D_0^n \sum \left\{ \left(\frac{1}{D_i} - \frac{1}{D_{i-1}} \right) v_i \right\} \quad (5)$$

ここで E_0 は基準とする大きさ(D_0)まで岩石を破砕するに要する比エネルギーである。また v_i は D_i 以下の破砕粉の全体積である。また $F_0 = E_0 D_0^n$ 、衝撃破砕全撃回数: N 、重錘落下高: H 、重錘重量: G 、打撃効率: e 、岩石比重: ρ 、 X_i のふるいを通過する破砕粉重量: W_i とすれば(5)式は(6)式のようにになる。

$$F_0 = e P N H G / \sum \left\{ \left(\frac{X_i - X_{i-1}}{L} \right)^n - \left(\frac{X_{i-1} - X_i}{L} \right)^n \right\} W_i \quad (6)$$

図-4に f 値と F_0 値の関係を示す。なお F_0 値は $N=10$ と仮定して算出した。図-6、図-7に F_0 値と打撃回数(N)および試料5gの重量(W)との関係を示すが、 f 値、 F_0 値とも N と W に影響を受けることがわかる。そこで試料を1ヶずつ打撃破砕する方法によって打撃エネルギーが破砕、段階的に消費されるような粒径のものに一定量、一度に規定打撃回数だけ打撃破砕して(6)式で F_0 値を求めるとバラツキがかなり少なくなった。表-1はこの方法で試験した場合の種々、岩石の乾燥および湿潤状態の値である。また表-2は試験者が異なる場合の F_0 値、バラツキを求めたもので変動係数は通常の一軸圧縮試験結果の変動係数よりも小さい。

4 試験結果より求められる事項

真実岩石の試験からは岩石試料の静的な強さ、また衝撃破砕試験では動的な強さを推定することができると考えられる。図-8~図-12

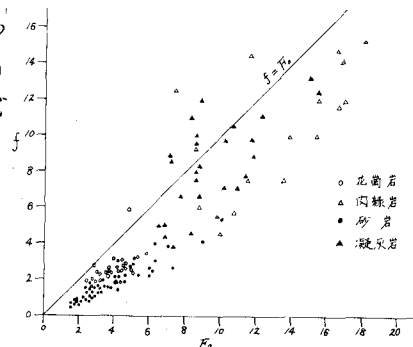


図-5 f 値と F_0 値との関係

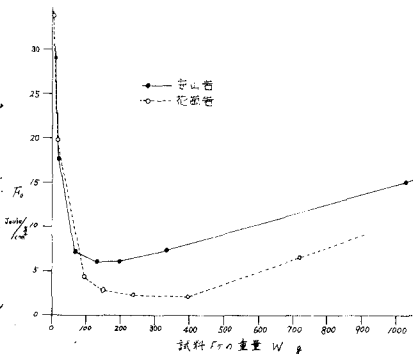


図-6 試料重量差による F_0 値の変動

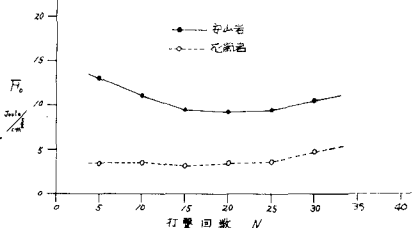


図-7 打撃回数差による F_0 値の変動

試料の 状態	F_0 Joule/cm ² $N=10$ $W=50g$			
	凝灰岩	砂岩	花崗岩	安山岩
乾燥	6.57	4.30	2.64	5.51
湿潤	5.46	3.61	2.89	4.24
乾燥/湿潤	1.20	1.19	0.91	1.30

表-1 試料の乾湿による F_0 値の変動

試験者	F_0 Joule/cm ² $N=10$ $W=50g$			
	凝灰岩	砂岩	花崗岩	安山岩
実験助手	6.11	4.01	2.46	5.25
アルバイト学生	6.57	4.30	2.64	5.51
現場土工	6.50	4.16	2.56	4.68
会社社員	6.34	4.61	2.24	5.17
変動係数	0.18	0.23	0.15	0.30

表-2 個人差による F_0 値の変動

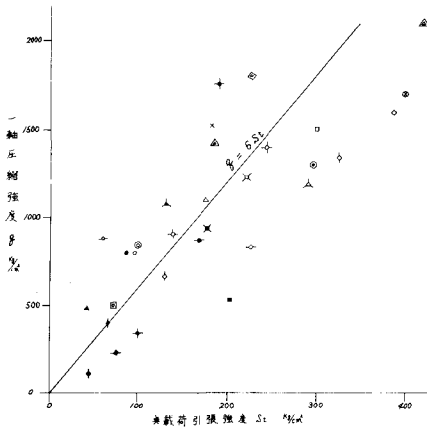


図-8 一軸圧縮強度と引張強度の関係

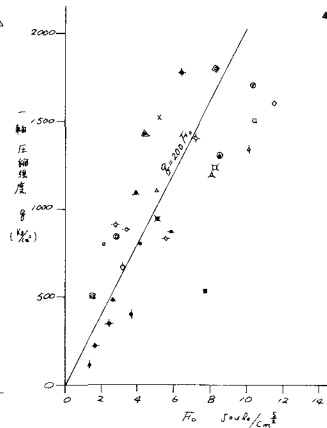


図-9 一軸圧縮強度と引張強度の関係

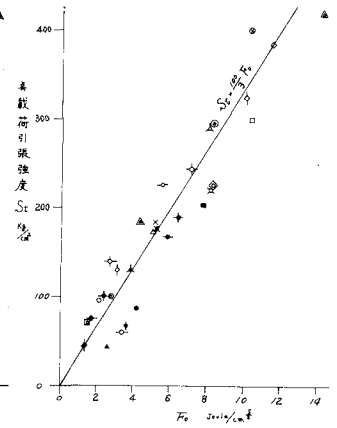


図-10 一軸圧縮強度と引張強度の関係

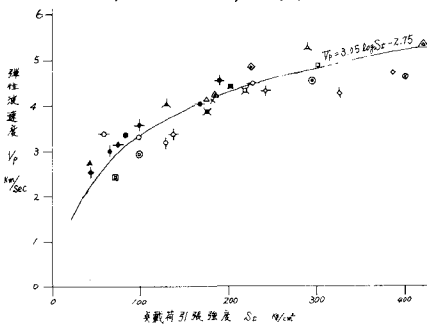


図-11 弾性波速度と引張強度の関係

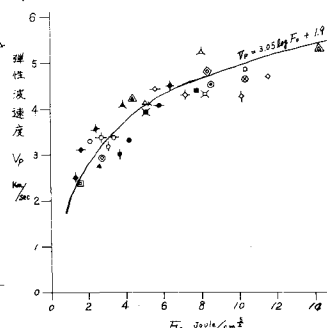


図-12 弾性波速度と引張強度の関係

記号	岩石名	産地	記号	岩石名	産地
○	内緑岩	長野	△	長砂岩	福岡
△	内緑岩	長野	●	凝灰岩	長野
◇	砂岩	長野	◇	玄武岩	長野
●	凝灰岩	長野	◇	凝灰岩	長野
△	砂岩	徳島	△	石炭質砂岩	新潟
■	凝灰岩	埼玉	◎	花崗岩	群馬
◇	花崗岩	岡山	△	凝灰岩	山口
△	凝灰岩	徳島	◎	硬質凝灰岩	兵庫
★	流紋岩	兵庫	■	頁岩	兵庫
◇	花崗岩	長野	×	凝灰岩	福岡
◇	花崗岩	茨城	◇	玄武岩	福岡
◇	安山岩	神奈川	田	砂岩	福岡
●	角閃凝灰岩	福岡	+	花崗岩	山口
□	凝灰岩	福岡	+	花崗岩	山口
◇	砂岩	長野	+	花崗岩	山口

図-8～図-12 凡例

は S_t , F_c 値、一軸圧縮強度 (F_c) および弾性波速度 (V_p) のそれぞれの関係を示すものであり、非整形試験結果からこれまで岩石の力学的特性を示す指標とされてきた q , V_p が推定できることがわかる。なお S_t の値は $D=10\text{mm}$ の場合の値である。いま直径 D の材料と σ の応力速度で破壊したとき材料の引張強度の分布が Weibull 分布に従うと仮定すれば (7) 式が得られる。式中の m は均斉性係数と呼ばれるものである。

$$S_t = C \sigma^{1/m} D^{-1/m} \quad (7)$$

衝撃破砕試験による岩石の破砕も上記と同様に考えで行われるものと表-3 種の岩石の m と n 。

仮定すれば m の値は m の関数で示され $m = \frac{S}{\sigma}$ となる。図-4 に示すように S_t と D の関係より m の値を求め、さらに n の値と種の岩石について算定したものが表-3 である。これまでは F_c , C , $Bond$ の理論より $n=0.5$ とし F_c 値を計算しているが実際にはもっと大きな値であることが認められる。

岩石の非整形試験試験が簡単で数多くできるため、概略的に岩石のかたさを知りたいときなどに用いてもよいと考えられる。また機会ある度に非整形試験が数多く実施されるならば他の力学的特性値との関係がもっと正確になりさらに適用性が増加するものと考えられる。

参考文献

- 1 M M Protodyakonov: Mechanical properties and drillability of rocks Rock Mechanics 130~118 1962年5月。
- 2 神田茂昭・入島邦子・下飯坂博三: 不規則形状粒子の破砕における圧縮効果とエネルギー法則 日本鉱業会誌 (1970年11月) 13~17
- 3 西村幸蔵・木山英一郎・飯田憲次: 実験的圧縮試験による人工軽量骨材の強度に関する研究 土木学会論文報告集 1999 1972年3月
- 4 西村幸蔵: 岩石強度の確率論的考察 材料 17巻 181号 50~55 1962年10月。