

CMI 報告

岩石の成因と力学特性

田辺 英夫

1. はじめに

岩盤を対象とした工事の地質調査では、ボーリングコアを用いた室内岩石試験が広く実施されており、主に一軸圧縮試験結果を基に岩石の強さの目安を示すものとして報告されている。

当研究所では、昭和39年の創立以来、トンネル、岩石土工、岩盤を対象とした基礎工事等の施工法検討、試験工事や、材料試験において、数多くの室内岩石試験を実施してきた。

岩石の力学特性は、岩石の成因と密接に関係していると推察される。そのため、本報告は当研究所が実施してきた室内岩石試験結果を基に、岩石の成因によって区分し、その性質を整理したものである。

2. 室内岩石試験の概要

当研究所で実施している室内岩石試験の項目は、一軸圧縮試験、圧裂引張試験、超音波伝播速度測定 (V_p , V_s)、かさ比重測定、ショア硬度試験である。

(1) 一軸圧縮試験、圧裂引張試験

一軸圧縮試験は、JIS M 0302 に従い、 $\phi 30 \text{ mm} \times L60 \text{ mm}$ の供試体を基本としており、圧裂引張試験は JIS M 0303 に従い、 $\phi 30 \text{ mm} \times L30 \text{ mm}$ の供試体としている。

供試体の数は3～5個を基本とし、試験結果はその平均値としており、各図に示した強度は平均値である。

供試体は、各現場からブロックサンプルを持ち帰り、当研究所職員がコアリングして丁寧に端面整形を行い、供試体の中に割れ目が入らないように作成することを心掛けている。

供試体の中にヘアクラック等が入り、3～5個の試

験結果にばらつきが生じた場合には、予備の供試体を用いて試験を追加し、3～5個の試験結果に割れ目によるばらつきが極力入らないようにしている。

なお、地質調査ではボーリングコア ($\phi 50 \text{ mm}$) を用いて試験が行われているため、岩石が新鮮であるにもかかわらず、小さな強度が報告されていることを目にすることもある。この場合は、供試体が大きいため、割れ目の影響で強度が小さくなっていると考えられる。そのため、破壊後の記録写真を見て試験結果を判断することが重要である。

(2) 超音波伝播速度およびかさ比重測定

超音波伝播速度 (V_p , V_s) は、地盤工学会基準の JGS 2110 に従い一軸圧縮試験の供試体を超音波が伝播する時間を測定して求めている。

かさ比重は、地盤工学会基準の JGS 2132 ノギス法に従い、一軸圧縮試験の供試体を用いて、その寸法および重量を測定して求めている。

(3) ショア硬度試験

一軸圧縮強度、圧裂引張強度が岩石の強さを表しているのに対し、ショア硬度は岩石の硬さを表す指標として実施している。

供試体は、 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ 程度の四角に切り出した岩片の片面を研磨して供試体としている。

ショア硬度の測定は、ダイヤモンド半球を取り付けたハンマを落下高さ 19 mm で自然落下させた反発硬さを測定したものである。試験は、100点 (1点 5 mm 四方) の反発硬さを測定し、度数分布図を作成するとともに、平均値を求めており、図示した値は平均値である。

3. 室内岩石試験結果

室内岩石試験結果は、岩石の種類を成因によって①火成岩類、②変成岩類、③堆積岩類の地質グループに区分して整理した。以下に示す各図では、火成岩類を○、変成岩類を▲、堆積岩類を×で示している。

表—1 に試験個数を示す。

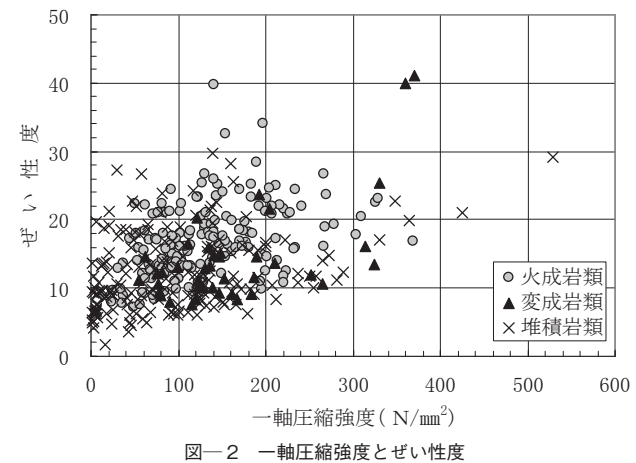
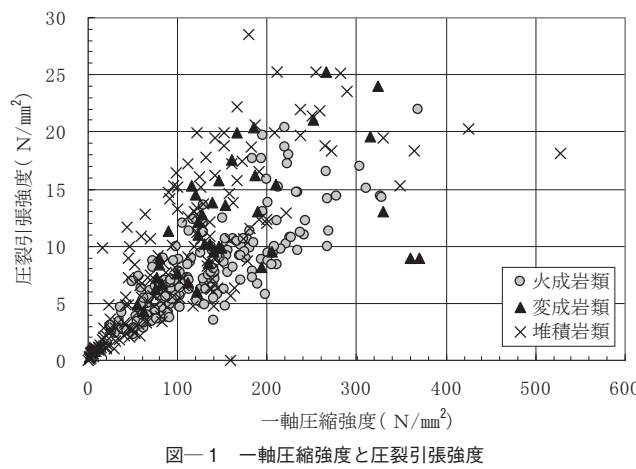
(1) 一軸圧縮強度と圧裂引張強度

図—1 に一軸圧縮強度と圧裂引張強度、図—2 に一軸圧縮強度とぜい性度を示す。ぜい性度とは一軸圧縮強度を圧裂引張強度で除した値で、岩石の壊れやすさを示す指標である。

一軸圧縮強度は、岩石の種類に係わらず、概ね

表一 試験個数

地質グループ	①火成岩類	②変成岩類	③堆積岩類
岩石の種類	花崗岩 花崗閃緑岩 花崗斑岩 流紋岩 安山岩 玄武岩等	泥質片岩 緑色片岩 片麻岩 ホルンフェルス等	砂岩 頁岩 泥岩 チャート 第四紀の凝灰岩類等
一軸圧縮試験	199	36	217
圧裂引張試験	162	33	163
ぜい性度	155	31	163
超音波伝播速度測定	111	26	57
かさ比重測定	193	35	196
ショア硬度測定	123	18	98



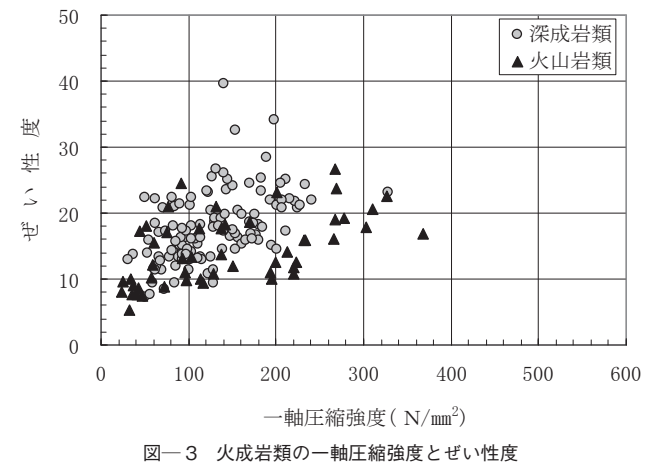
300 N/mm² 以下を示しているものが多い。堆積岩類は、100 N/mm² 以下を示す新第三紀の泥岩、第四紀の凝灰岩類から、300 N/mm² 以上を示すチャートまで、強度の幅が大きい。変成岩類は、源岩（変成を受ける前の岩石）の種類や、変成度によって強度の幅が大きくなっており、7～370 N/mm² を示している。

一軸圧縮強度と圧裂引張強度の関係（図一）を見ると、同じ一軸圧縮強度を示しても、堆積岩類と変成

岩類の圧裂引張強度は、火成岩類よりも大きな値を示す傾向にある。これを図一に示す一軸圧縮強度とぜい性度で見ると、火成岩類のぜい性度は概ね10～30を示すのに対し、堆積岩類と変成岩類は10前後を示し、圧裂引張強度が相対的に大きいものが多いが見られる。

火成岩類は、マグマが時間をかけて冷却して等粒状組織を示す深成岩類と、急激に冷却して斑状組織を示す火山岩類に区分される。そのため、火成岩類を深成岩類（○）と火山岩類（▲）に区分して、図三に火成岩類の一軸圧縮強度とぜい性度の関係を示す。同図より、深成岩類はぜい性度が15～20を示すものが多いのに対し、火山岩類は15未満のものが多い。

これは、火山岩類は急激にマグマが冷却する際に十分に結晶化しなかった石基（肉眼では識別できない鉱物やガラス質の部分）を多く含んでいるのに対し、等粒状組織を示す深成岩類は鉱物の間から破壊が進み、壊れやすくなっているものと考えられる。



(2) 一軸圧縮強度とかさ比重

図四に一軸圧縮強度とかさ比重の関係を示す。

火成岩類は、一軸圧縮強度が100 N/mm² 以下を示すと、風化が進行していると考えられるが、かさ比重は風化の影響が小さく、2.5 g/cm³ 以上の値を示している。

変成岩類は、変成作用によって、比重の大きな鉱物から構成されるため、かさ比重は3.0 g/cm³ 前後を示すものも見られる。

堆積岩類のかさ比重は、一軸圧縮強度が100 N/mm² 以上では、2.5 g/cm³ 以上を示しているが、100 N/mm² 以下では急激に小さくなる。これは、時代の新しい新第三紀泥岩や第四紀凝灰岩類の固結度が低いため、かさ比重が小さくなっていることを示しているも

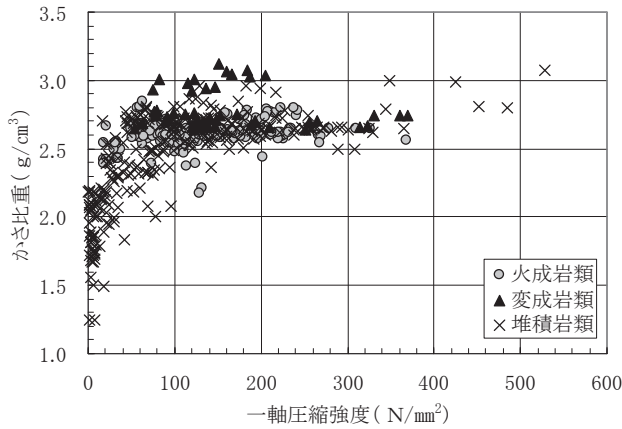


図-4 一軸圧縮強度とかさ比重

のと考えられる。

(3) 一軸圧縮強度と超音波伝播速度 (Vp)

図-5 に一軸圧縮強度と超音波伝播速度 Vp の関係を示す。

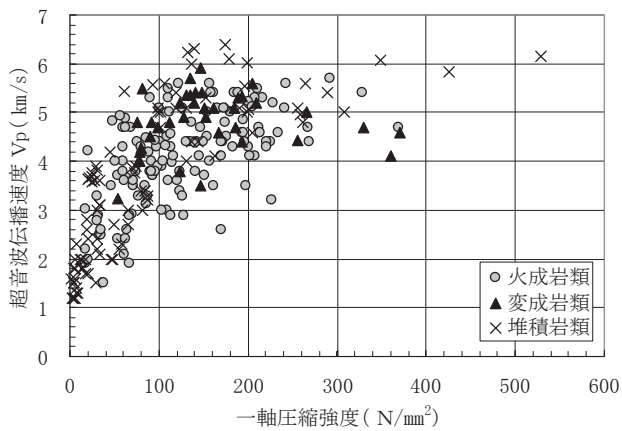


図-5 一軸圧縮強度と超音波伝播速度 (Vp)

火成岩類の超音波伝播速度 Vp は 1.5 ~ 5.8 km/s, 変成岩類は 3.2 ~ 5.9 km/s, 堆積岩類は 1.2 ~ 6.4 km/s を示している。

火成岩類, 変成岩類は, 風化岩を含んでいるため, 低い速度を示すものも見られるが, 一軸圧縮強度が 100 N/mm² 以上では, 変成岩類の超音波伝播速度の方が大きな値を示している。堆積岩類は, 風化岩に加えて, 新第三紀泥岩等の新鮮であっても低い速度を示すものも含んでおり, 一軸圧縮強度が 100 N/mm² 以上では, 6 km/s 以上のもの (中生代の砂岩や珪質凝灰岩等) も見られ, 岩石の種類や生成時代によって速度の幅が大きくなっている。

地質グループに関係なく, 一軸圧縮強度 200 N/mm² 程度までは, 超音波伝播速度 Vp も上昇傾向にあるが, 200 N/mm² を超えると, 超音波伝播速度 Vp は速度の上昇が小さくなる傾向にある。

(4) 超音波伝播速度 (Vp) とかさ比重

超音波伝播速度 Vp とかさ比重は, 密接な相関関係を示すと言われているため, 図-6 に超音波伝播速度 Vp とかさ比重の関係を示す。

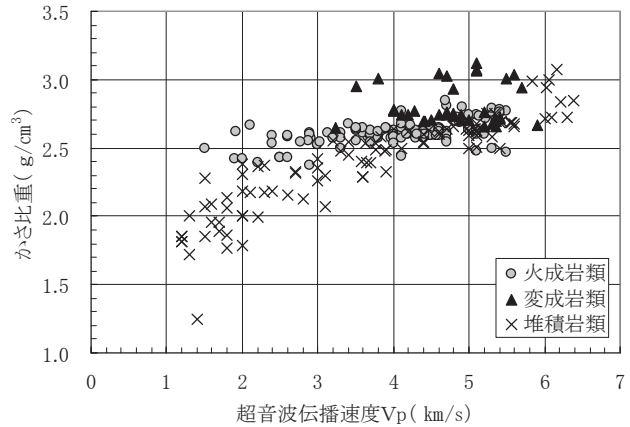


図-6 超音波伝播速度 (Vp) とかさ比重

火成岩類の超音波伝播速度 Vp は, 1.5 ~ 5.8 km/s を示すが, かさ比重は 2.4 ~ 2.8 g/cm³ 程度を示し, 速度が上昇しても, かさ比重は大きく変化しない傾向にある。

変成岩類の超音波伝播速度 Vp は, 3.2 ~ 5.9 km/s を示すが, かさ比重は 2.6 ~ 3.1 g/cm³ 程度を示し, 速度が上昇しても, かさ比重は大きく変化しない傾向にある。また, 変成岩類は火成岩類と比較すると, かさ比重, 超音波伝播速度とも大きな値を示している。

これに対し, 堆積岩類の超音波伝播速度 Vp は, 1.2 ~ 6.4 km/s を, かさ比重も 1.7 ~ 3.1 g/cm³ 程度を示し, 速度の上昇に対して緩やかな上昇傾向を示している。堆積岩類は, 前記 (2), (3) で記したように, 岩石の種類や生成時代によって大きな幅を示している。

(5) 一軸圧縮強度とシヨア硬度

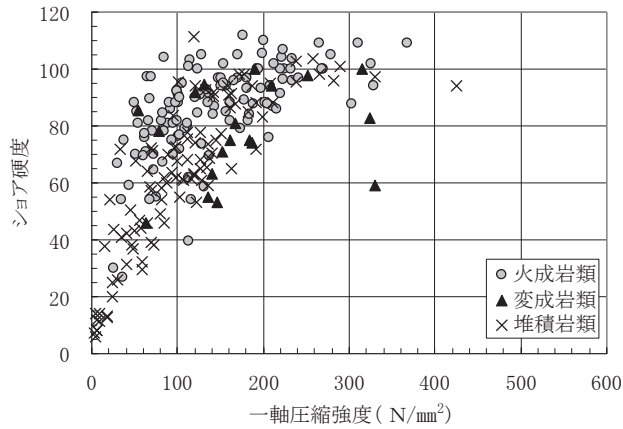
図-7 に一軸圧縮強度とシヨア硬度の関係を示す。

地質調査でシヨア硬度測定が行われている事例は少ないが, 当研究所ではビットやカッターヘッド等の摩耗との関係を調査するため, 数多くのシヨア硬度測定を実施している。

シヨア硬度を比較すると, 火成岩類が最も大きく, 次いで堆積岩類, 変成岩類の順となる。

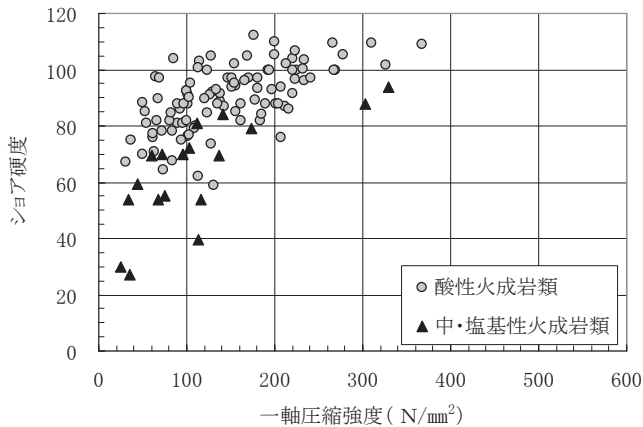
火成岩類のシヨア硬度が大きいのは, 試験を行ったものが花崗岩類が多かったことによるものと推察され, また, 変成岩類が最も小さいシヨア硬度を示すのは, 軟らかい有色鉱物で構成されているためと考えられる。

火成岩類の内, 石英を多く含む花崗岩類や流紋岩等



図一七 一軸圧縮強度とショア硬度

の酸性火成岩類のショア硬度は大きくなる傾向にあるため、石英を含まない中性～塩基性火成岩類とに区分した図を図一八に示す。同図は、酸性火成岩類を○、中性・塩基性火成岩類を▲で示している。



図一八 火成岩類の一軸圧縮強度とショア硬度

酸性火成岩類は、80～110程度を示すのに対し、中性・塩基性火成岩類は、80を超えるものが稀である。

ショア硬度の測定は、ダイヤモンド半球を取り付けたハンマを自然落下させた反発硬さを測定するものであり、1点毎の測定値は岩石を構成する鉱物の反発硬さを測定している。

自然界で一般的に見られる鉱物の中で最も硬い鉱物は石英であり、経験的に石英のショア硬度は100以上を示すことが多い。また、長石類は80～95程度、雲母類は60前後を示すことが多い。

酸性火成岩類は、石英と長石類を多く含むため、ショア硬度も大きくなるものと考えられる。

4. おわりに

本報告は、施工技術総合研究所における岩石試験結果を岩石の種類によって整理し、報告したものである。

前記3で記した試験結果をまとめると、以下のようになる。

- ①火成岩類は、強度が大きく、ぜい性度はその組織の違いによって、火山岩類の方が深成岩類よりも小さく、いわゆる“しわい岩石”となる。また、硬さを示すショア硬度は、マグマの成分によって石英を多く含む酸性火成岩類の方が中性～塩基性火成岩類よりも大きくなる。
- ②堆積岩類の強度は、チャート、砂岩、泥質岩（頁岩、泥岩）の順に小さくなり、また、生成時代が古い方が一般的に強度が大きくなる。
- ③変成岩類は、変成作用によって生じた比重の重い鉱物から構成されるため、かさ比重が大きく、超音波伝播速度も大きい値を示すが、ショア硬度は小さくなる。また、強度は、源岩の種類や変成度によって、強度の幅が大きく異なっている。

試験結果より、新鮮な岩石の強さや硬さ等は、岩石の成因によってある幅を持ち、密接な関係が見られることが確認できたものと考えられる。

通常、地質調査で行われる室内岩石試験は、一軸圧縮試験のみが行われている例が多い。しかし、当研究所の試験結果より、一軸圧縮強度が同じ100 N/mm²を示しても、岩石の種類によって、壊れやすさを示すぜい性度や、ビットの摩耗等に影響を及ぼす岩石の硬さは異なってくる。

したがって、設計を行う際は、地質調査で示された一軸圧縮強度を基に、その目的に応じて他の岩石物性を推定して取り扱うことが重要となる。

今回報告した室内岩石試験結果が、土木工事の設計・施工の一助になれば幸いであり、当研究所では、今後も室内岩石試験を行い、データの充実を図っていく所存である。

JICMA

[筆者紹介]

田辺 英夫 (たなべ ひでお)
 一般社団法人日本建設機械施工協会
 施工技術総合研究所 研究第一部
 主任研究員

