

乾燥による岩石の物理的性質の 変化に関する室内試験

THE EFFECT OF WETNESS ON PHYSICAL ROCK PROPERTIES

白本文香*・川崎 了**・金子勝比古***

Fumika SHIRAKI, Satoru KAWASAKI and Katsuhiko KANEKO

Laboratory experiments were performed to examine changes of physical properties of eight kinds of rocks, including sandstone, welded tuff, tuffaceous sandstone, slate, granite, and gabbro, under water-saturated and dry conditions. Specifically, the P-wave velocity, rebound hardness, brightness of color, and density of the rocks were measured by the ultrasonic pulse method, an equotip hardness tester, spectrophotometer, and vernier caliper, respectively. The measurements revealed a positive correlations between the difference of brightness and void ratio and negative correlations between the difference of brightness and both P-wave velocity and rebound hardness. The reasons are that, for the former, those rocks with a high void ratio can include more water than those with a low void ratio, so the difference of brightness is marked and for the latter the greater the void the rocks have, the weaker those become.

Key Words: dryness, water-saturated, physical property, rock

1. はじめに

一般に、岩石の物理的性質は水分量の影響を受け、その影響は硬岩よりも特に空隙が比較的大きい軟岩において著しいことが知られている。そこで、筆者らは初期状態として含水飽和している岩石を乾燥させた際に見られる岩石の物理的性質の変化に着目し、岩石を乾燥させる前後において種々の物理的性質の測定を実施した。本論文では、室内試験および試験結果の概要について述べた後に、1) 物理的性質の異方性、2) 物理的性質間の相関関係、3) 明度差に着目した物理的性質の相関関係、などについて検討した結果を報告する。

2. 試料

今回の試験に使用した試料は、黒雲母花崗岩(稲田花崗岩)、角閃石複輝石はんれい岩(はんれい岩)、砂質粘板岩

* 北海道大学工学部資源開発工学科

** 正会員 博士(工学) 北海道大学大学院工学研究科環境資源工学専攻

*** 正会員 工学博士 北海道大学大学院工学研究科環境資源工学専攻

(粘板岩)、凝灰質砂岩(来待石)、溶結凝灰岩(札幌軟石(軟))、溶結凝灰岩(札幌軟石(硬))、細粒砂岩(白浜砂岩)、砂岩(和泉砂岩)の8種類の岩石である。また、岩石の物理的性質の異方性の程度について調べるために、供試体形状を一辺が5cmの立方体とした。さらに、花崗岩に関しては、リフトプレーンを1面、グレインプレーンを2面、ハードウェイプレーンを3面とし、堆積岩に関しては堆積面(層理面)に対して平行な面を1面、垂直な面を2、3面として供試体表面に印を付した。なお、はんれい岩に関しては、潜在する亀裂面が不明であったことから、任意の方向に対して供試体を作成した。しかし、詳細については後述するが、本試験では物理的性質に関して大きな異方性が見られなかったため、以後のグラフでは得られた試験データの平均値をグラフ上に記載している。

3. 試験方法

まず、デシケーター内の脱気した蒸留水中に岩石供試体を入れ、真空ポンプを用いて岩石を飽和状態にした後に、飽和状態における物理的性質を測定した。対象とした試験項目は、超音波パルス法による縦波(P波)速度試験、エコーチップ反発硬度試験機による反発硬度試験、分光測色計による色測定、ノギス法による密度試験である。なお、本研究では縦波速度は上記の各面で2回ずつ、反発硬度は上記の各面で5回ずつ、色は上記の各面で5回ずつ測定し、その平均値を採用した。次に、岩石を60℃の乾燥炉に入れ、約1ヵ月間乾燥させて岩石を乾燥状態にした後、飽和状態と同様の試験を行った。なお、今回の試験では岩石を脱気して質量変化の止まった時点を飽和状態とし、さらに60℃の乾燥炉に入れた後に質量変化の止まった時点を乾燥状態とした。ここに、乾燥炉の設定温度として60℃を採用したのは、高温による岩石の物性変化(特に、岩石中の粘土鉱物の変化)を考慮したためである。

次に、今回用いた試験方法の中で、特に基準化されていない試験について以下に簡単に述べる。

3. 1 反発硬度試験¹⁾

試験には、エコーチップ反発硬度試験機を用いた。タンゲステンカーバイドで作られたテストチップを有するインパクトボディーが、特殊なバネの力で供試体の表面を打撃し、同時に反発する。その際、インパクトボディーに内蔵された磁石とコイルが働き、電圧が生じる。速度と正比例関係にあるこの電圧は電子機構に伝達され、自動的に硬さ値“L”としてデジタル表示される。硬さ値“L”は簡単に言うと、インパクトボディーの反発速度を打撃速度で割った商を1000倍した数値であり、供試体が硬ければそれだけ反発速度が増し、硬さ値“L”も比例して大きくなる。

3. 2 色測定²⁾

ミノルタ(株)製の分光測色計CM-2600dを用い、JIS8722-1982の条件c(拡散照明/垂直受光方式)に準拠した、d/8 SCI/SCE同時測定方式を採用した。本測色計の大きさは、幅69mm×高さ96mm×奥行193mm、質量は670gである。測定径はφ8mm、光源はD65(紫外線を含む昼光)で測定した。色の表現としては、L*a*b*表色系(JISZ8729)を用いた。L*a*b*表色系では、L*は色の明度(100が完全な白色、0が完全な黒色)、a*は赤緑(正方向が赤色、負方向が緑色)、b*は黄青(正方向が黄色、負方向が青色)を表現するものである。

4. 試験結果

飽和状態と乾燥状態にある岩石の物理的性質の変化を図-1 から図-7 に示す。これらの図より次のことが言える。

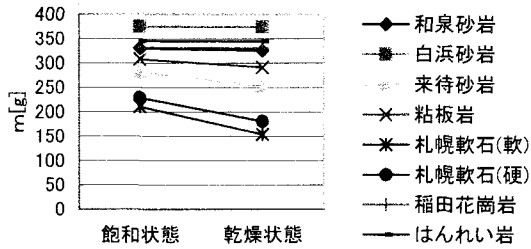


図-1 質量の変化

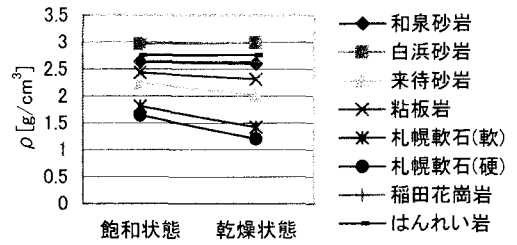


図-2 密度の変化

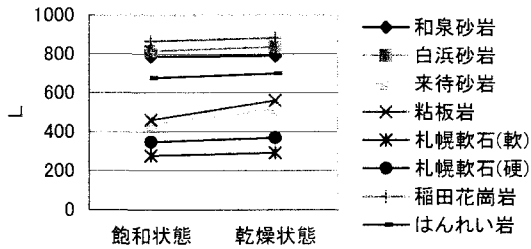


図-3 反発硬度の変化

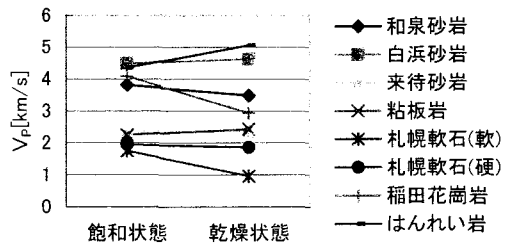


図-4 P波速度の変化

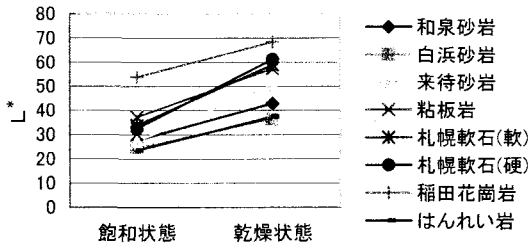


図-5 L*値の変化

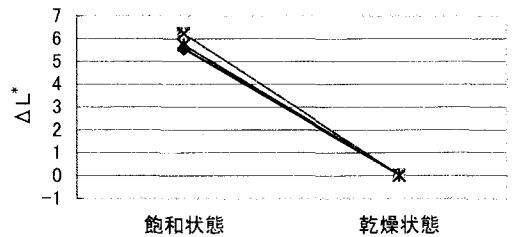


図-6 和泉砂岩のSCIとSCEの差

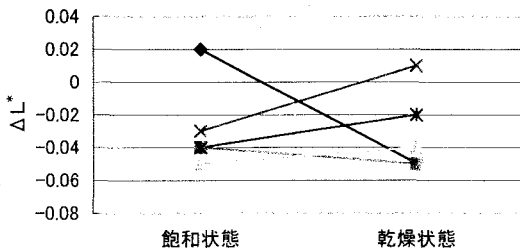


図-7 札幌軟石(軟)のSCIとSCEの差

(1) 図-1 は質量変化の図であり、同図より札幌軟石(軟および硬)、来待砂岩などの堆積岩の変化量が大きく、逆に稲田花崗岩、はんれい岩の火成岩の変化量が少ないことが分かる。この傾向は、次の図-2 の密度変化において

も同様のことが言える。

(2)図-3 は反発硬度の変化の図であり、乾燥状態になることによりすべての岩石で反発硬度が大きくなっている。

(3)図-4 の P 波速度の変化については、はんれい岩と粘板岩、来待砂岩、白浜砂岩以外は岩石が乾燥状態になることにより P 波速度が減少していることが分かる。

(4)図-5 は L* 値の変化であり、乾燥状態になるとすべての岩石で L* 値が増加しているのが分かる。

(5)図-6, 7 は和泉砂岩と札幌軟石(軟)の飽和状態と乾燥状態における L* 値の SCI と SCE の差を図に表したものであり、代表的な変化の見られたこの 2 つの図を用いた。ここで、SCI とは正反射光込みの値であり、素材そのものの色を評価する。一方、SCE とは正反射光を除去したものであり、目視に近い色を評価している。和泉砂岩は飽和状態では差が 7 と大きいことから正反射光が強く、乾燥状態ではほぼ 0 であり正反射光が弱いことが分かる。また、5 回の測定値にばらつきが小さいことより、表面が平滑に近い状態であることが分かる。一方、札幌軟石(軟)の図を見ると、値にばらつきがあることから岩石供試体の表面の状態が平滑でないことが推定され、実際に目視で不均質さを確認することもできる。今回の測定では、岩石そのものの色を機械的に測定することを目的とするために、以後の考察には使用する L* に SCI の値を用いることとする。

5. 考察

5. 1 異方性の検討

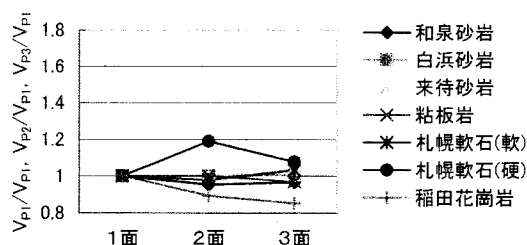


図-8 飽和状態の P 波速度の変化

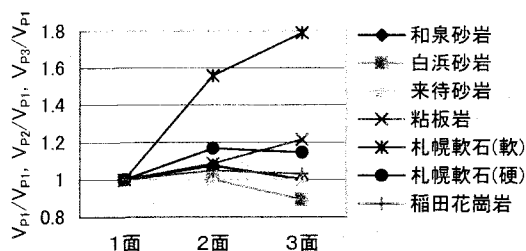


図-9 乾燥状態の P 波速度の変化

図-8, 9 は、飽和状態と乾燥状態の P 波速度の変化を 1 面を基準値 1 として相対的に表したものである。ここで、 V_{p1} は 1 面、 V_{p2} は 2 面、 V_{p3} は 3 面の P 波速度を表している。例えば、飽和状態の和泉砂岩は 1 面：3.81[km/s]、2 面：3.63[km/s]、3 面：3.68[km/s]であり、1 面を 1 とした時に、2 面は 0.95 ($\approx 3.63/3.81$)、3 面は 0.97 ($\approx 3.68/3.81$) となっている。これらの図より、乾燥状態の札幌軟石(軟)以外の岩石に関しては 1～3 面の V_p の比は約 0.8～1.2 の間にあり、乾燥の前後における V_p の異方性は比較的小さいと言える。また、 V_p 以外の物理的性質に関しても同様の傾向が見られ、今回使用した岩石の物理的性質の異方性は比較的小さいと考えられる。

5. 2 物理的性質間の相関

各物理的性質間の相関を表した図を、図-10 から図-12 に示す。

図-10 は、反発硬度と P 波速度の相関を表した図であり、同図より反発硬度と P 波速度の間に正の相関関係が存在することが分かる。

図-11 は間隙比と反発硬度の関係、図-12 は間隙比と P 波速度の関係であり、両図ともに右下がりの関係があると

言える。これは、間隙比と反発硬度が負の相関を持ち、反発硬度とP波速度が正の相関を持っているためである。

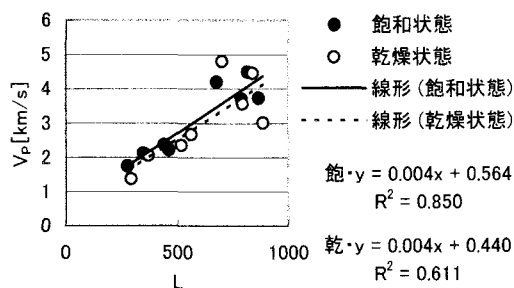


図-10 反発硬度とP波速度

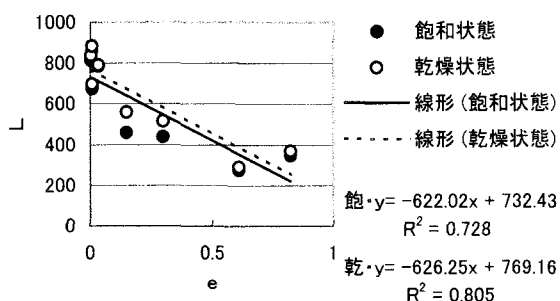


図-11 間隙比と反発硬度

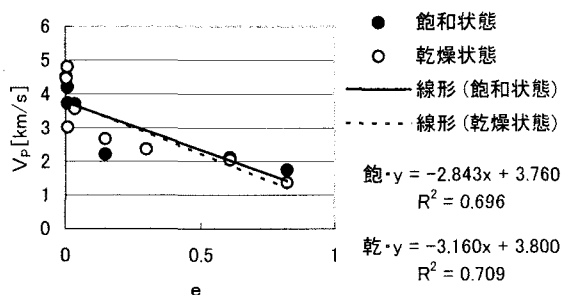


図-12 間隙比とP波速度

5. 3 明度差に着目した物理的性質の相関

図-13 から図-15 に、明度差に着目して相関を表した図を示す。

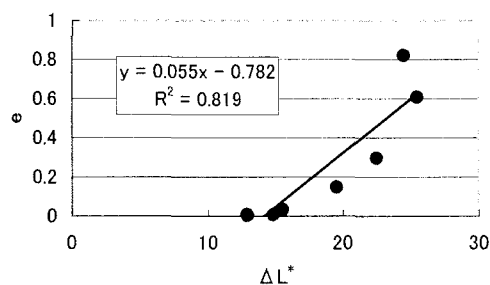


図-13 明度差と間隙比

図-13 は、 ΔL^* と間隙比 e の相関である。ここで、 ΔL^* とは飽和状態の L^* 値と乾燥状態での L^* 値の差、つまり明度差を表している。同図を見ると、両者の間には正の相関関係が存在し、右上がりの直線で表現できそうである。これは、間隙比が大きいほど間隙に含むことができる水分量が増すため、岩石表面における光の散乱効果によって明度差が大きくなることが理由と考えられる。

図-14, 15 は、それぞれ ΔL^* と反発硬度、 ΔL^* とP波速度の図であり、両者ともに負の相関を示していることが分かる。これらの図は、空隙が多い岩石ほど反発硬度が小さくなるのが原因であり、さらに図-10 より反発硬度

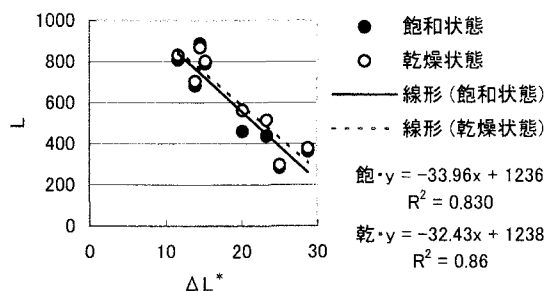


図-14 明度差と反発硬度

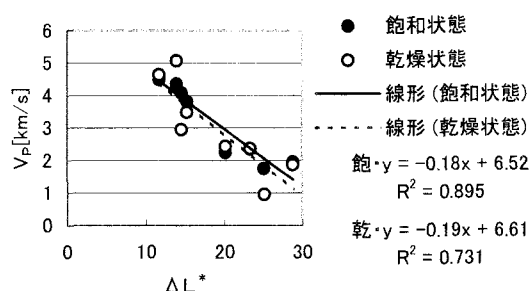


図-15 明度差とP波速度

とP波速度の間に正の相関関係があるためと考えられる。一方、図-14では乾燥状態の回帰直線が飽和状態のそれの上になっているのに対して、図-15では乾燥状態の回帰直線の方が下にあることが分かる。このことから、図-11、12の飽和状態と乾燥状態の関係と、図-14、15の飽和状態と乾燥状態の関係が調和的であることが知られる。

以上のことから、 ΔL^* を利用すれば、P波速度 V_p および反発硬度 L の値(の変化)を推定できる可能性があると期待される。

6. まとめ

上記の結果から、以下のことが明らかとなった。

- (1) 飽和状態にある岩石が乾燥すると、岩石の明度が大きくなる。
- (2) P波速度と反発硬度の間には正の相関関係が存在する。また、この関係は岩石の飽和状態および乾燥状態の両方で見られる。
- (3) 反発硬度と明度差、およびP波速度と明度差の間には、ともに負の相関関係が存在し、この関係は岩石の飽和状態および乾燥状態の両方で確認される。
- (4) 明度差を利用すれば、P波速度および反発硬度の値(の変化)を推定できる可能性がある。

7. おわりに

今後は乾燥状態から飽和状態への変化を調べるために、今回用いた岩石をもう一度脱気・飽和させた後に各物理的性質を測定し、これまでの試験結果と比較・検討する予定である。また、岩石の種類に着目した物理的性質の相関関係について、さらに詳細な検討を行う計画である。

参考文献

- 1) 川崎 了, 吉田昌登, 谷本親伯, 舩屋 直: 簡易反発硬度試験による岩質材料の物性評価手法の開発—試験条件の影響と基本特性に関する調査—, 応用地質, 第41巻, 第4号, pp.230~241, 2000.
- 2) 千引春菜, 川崎 了, 金子勝比古: 分光測色計を用いた鉱物および岩石の色測定, 第32回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.323~328, 2003.