

人工風化岩を用いた簡易反発硬度試験

THE EQUOTIP HARDNESS TESTS TO MAN-MADE WEATHERED ROCKS

阿部右吾^{*}・川崎了^{**}・金子勝比古^{***}

Yugo ABE, Satoru KAWASAKI and Katsuhiko KANEKO

The Equotip hardness tester is developed to estimate the hardness of metallic materials. It is picked up as the characteristics of the tester that a small sample is needed for the test, sampling time is short, and the tester is convenient for portable use. Up to today, it is found that there are close correlations between the rebound parameters called "L values" and the physical and mechanical properties of rocks, and the L values show influences of measurement conditions.

In this paper, it is presented that a series of laboratory tests is conducted to clear the relations between the L values and the layer thicknesses of man-made weathered rocks, and the following results are obtained:

- ① Where the thickness of weathered layer does not exceeded 1-2mm, the L values increase rapidly under the influence of the physical and mechanical properties of unweathered layer.
- ② It is expected that thickness of weathered layer can be approximately estimated by using the L values obtained from the Equotip hardness tests.

Key Words : Equotip hardness tester, rebound hardness, man-made weathered rock, L value

1. はじめに

エコーチップ簡易反発硬度試験機¹⁾は、金属材料の弾性的性質の把握を目的に開発された試験機である。本試験機は、対象とする供試体が小さくてすみ、計測原理が単純でデジタル収録方式であるために短時間で多数の測定が可能であること、また本試験機のインパクト装置部が直径 20mm、長さ 147mm のほぼ円筒形であり、小型で携帯性に優れていることなどから、岩質材料に適用できれば、物性評価のための試験においてコスト、技術の両面を改善できる可能性が大きいものと考え、筆者らは現在検討を進めている。既往の研究において、川崎ら^{2),3)}は反発硬度値(以下L値)と各種物理・力学的指標との間に正の相関関係があること、L値は供試体の試験条件により様々な影響と受けること、などを報告している。また、吉田ら⁴⁾は人工の風化岩を用いた研究において、L値によって風化層厚hを推測できる可能性を報告している。本論文では、これらの報告を踏襲し、L値と風化層厚hとの関係を人工の風化岩を用いて調査した結果について述べる。

*

北海道大学工学部資源開発工学科

**

正会員 博(工)

北海道大学大学院工学研究科環境資源工学専攻

工博

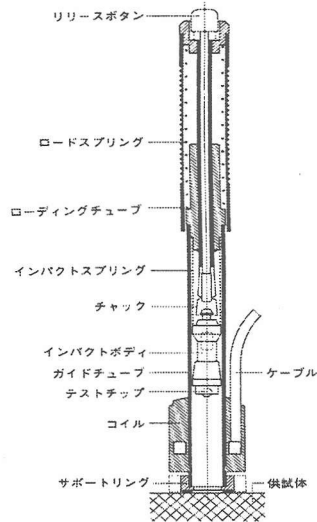
北海道大学大学院工学研究科環境資源工学専攻

2. エコーチップ簡易反発硬度試験機の概要

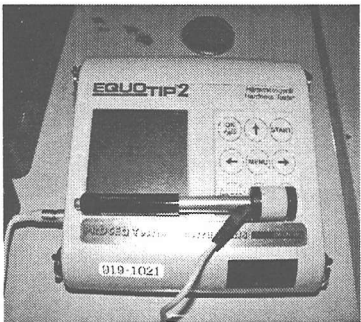
図－1 および写真－1 に、エコーチップ簡易反発硬度試験機 (D 型) の概要を示す。本試験機の測定原理は次のようである。タングステンカーバイトで作られたテストチップを有するインパクトボディーが、特殊なばねの力で供試体の表面を打撃し、同時に反発する。その際、インパクトボディーに内蔵された磁石とコイルが働き、電圧が生じる。速度と正比例関係にあるこの電圧は電子機構に伝達され、自動的に硬さ値“L”としてデジタル表示される。硬さ値“L”は簡単に言うと、インパクトボディーの反発速度を打撃速度で割った商を 1000 倍した数値であり、供試体が硬ければそれだけ反発速度が増し、硬さ値“L”も比例して大きくなる。川崎ら²⁾は、試験条件の影響と基本特性に関して言及し、石膏のような比較的軟質な供試体材料の場合には研磨紙 40 番程度の粗度は L 値に影響を及ぼさないこと、また供試体の端面が同程度の凹凸と有している場合は、硬質な供試体ほど L 値は試験面の凹凸の影響を受けやすいこと、さらに、石膏供試体を用いた打撃回数に関する検討の結果、打撃を重ねるにつれて L 値は大きくなり、3～4 回以降になると L 値の増加傾向は小さくなって収束傾向にあること、などを報告している。したがって、本研究でも以上のことに留意し、試験を行うものとした。

3. 関連する既往の研究

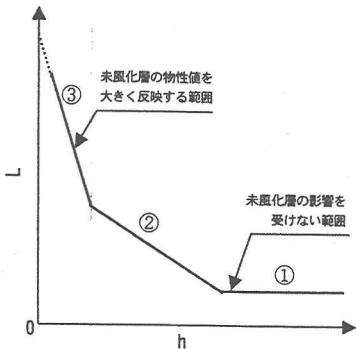
エコーチップ簡易反発硬度試験を用いた風化層厚 h と L 値との関係に関する既往の研究において、吉田ら⁴⁾は図－2 に示すように、①未風化層の影響を全く受けない範囲における水平に近い直線、②未風化層の影響を若干受けるが風化層の物性値を概ね反映する範囲における緩やかな左上がりの直線、③未風化層の物性値を大きく反映する急な左上がりの直線、の 3 つに大別できると仮定し、それらの曲線を解析することによって、風化層厚 h と L 値との関係を解明することを試みた。本論文では、特に人工風化層の均質性に注目し、L 値と風化層厚との関係について検討を実施した。



図－1 エコーチップ簡易反発試験機(D型) の概要



写真－1 エコーチップ簡易反発硬度試験機(D型)



図－2 風化層厚と L 値の関係⁴⁾

4. 風化層厚の評価に関する検討の概要

前述したように、 L 値はさまざまな試験条件の影響を受けることが報告²⁾されている。実際の岩盤ブロックおよび岩質材料の物性を適切に評価するうえで、このような各種試験条件による影響を定量的に評価することは重要かつ必要不可欠な課題である。そこで、風化の進行している岩質材料に対して本試験を実施した場合についても、同様の影響について事前に把握しておくことが必要となる。その場合、岩盤表面に対しては非破壊的に試験が実施可能であり、かつサンプリングを行うことなく対象岩盤の物理・力学的特性、さらには岩盤表面に分布する風化層の風化の進行状況を簡便に推定・評価できることが望ましい。それでは、実際の原位置岩盤に本試験を適用する前段階として、以上のことを室内試験により検討するためにはどのようなモデルを考えるとよいのだろうか？自然環境の変化などにより物理的影響を受けた原位置岩盤、あるいは採取されてから時間が経過した岩石コアに関しては、風化は岩盤表面から深部へ向かって進行していくことが知られている。千木良⁵⁾らは堆積性軟岩の風化のメカニズムについて言及し、岩石コアの表面から進行する風化層をその化学的性質から酸化帯、溶解帯と定義したうえで、それぞれのゾーンには境界となるフロントが存在することを指摘している。一方、大山ら⁶⁾は原位置の素掘りトンネルに対して針貫入試験を実施し、酸化帯の針貫入抵抗値がその下に存在する還元帯の 0.1～0.5 程度であったことを報告している。以上のことから、実際の岩石材料には割れ目が含まれていたり、塩類風化によって供試体表面が硬化したりしている場合も考えられるが、本検討では主に岩石の風化作用のみに着目することとし、 L 値による風化層の厚さの評価を目的として図-3に示すような風化層と、風化の全く進行していない未風化層からなる単純なモデルとして考え、石膏、水、カオリン粘土を配合して作成した人工風化岩を用いて実施した検討内容、および結果について述べる。試験手順の概要を図-4に示す。

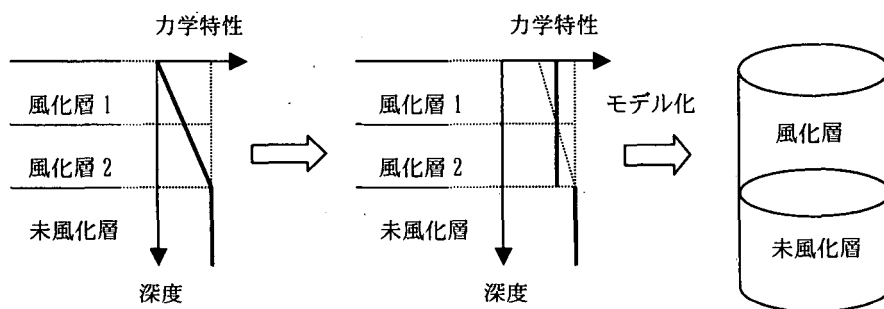


図-3 風化層厚の評価のための人工風化岩モデルの考え方⁴⁾

試験方法は次のようである。

- ① 石膏、カオリン粘土、水を、ある一定の割合（重量比）で混ぜ合わせ、土台（未風化層）となる岩石コア（直径 5cm×高さ 10cm）上の型枠内に直に打設して人工風化層を作成する。（図-4 の①）
- ② 人工風化層が固まるまで時間をおき、固まったら約 24 時間乾燥炉（60℃）に入れ、乾燥させる。
- ③ 24 時間たった乾燥炉から取り出し、実験室内で自然乾燥させる。
- ④ 24 時間以上自然乾燥させ、供試体の重量が落ち着くまで待って、人工風化岩とする。
- ⑤ アルミ製マイターボックスで供試体をはさみ、上端面を 1～2mm 程度包丁で削り、水平になるまで風化層の端面を成形する。（図-4 の②）
- ⑥ 上端面の成形後、供試体をエコーチップ反発硬度試験機に付属する鉄製テストブロック上におき、上端面についてのみ本試験を 10 回実施する。（図-4 の③）

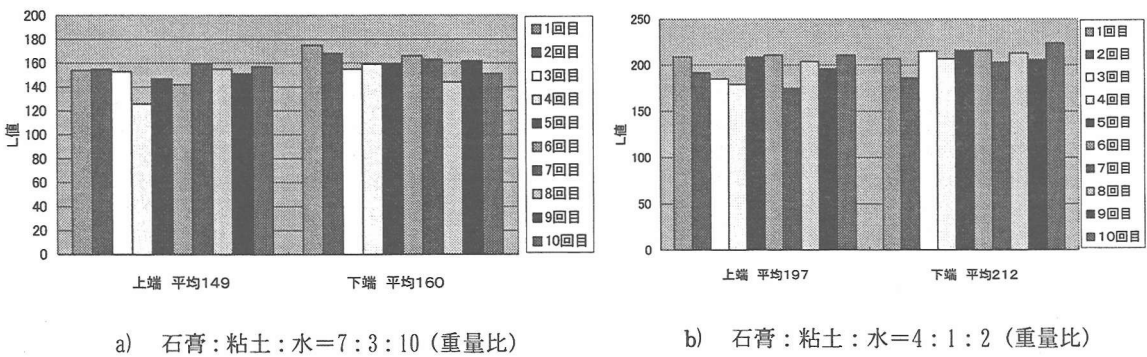
上記の手順を人工風化層の高さが小さくなって端面成形が不可能になるまで繰り返す。本検討で使用した一連の石膏による人工風化層は、石膏（吉野石膏株式会社製、ニューハイトーン歯科用硬質石膏）と 18℃の水（蒸留水）とカオリン粘土を配合したものである。なお、本検討で土台（未風化層）として用いた岩石供試体は、稲田花崗岩、大谷石、阿蘇溶結凝灰岩である。



図－4 試験手順の概要⁴⁾

5. 均質な人工風化層についての検討

試験を実施する前段階として、まず人工風化岩の風化層の部分の均質性についての検討を行う。風化層とL値の関係を明らかにするためには、この部分が均質であることが必要不可欠である。そこで、均質性を検討するために石膏、カオリン粘土、水をさまざまな比率で配合し、その時のL値の大きさ、上端、および下端のL値の差などを調査した。図－5 は実験した中で比較的均質性に優れたものであり、この2種類の人工風化層を用いてL値と風化層厚hに関する試験を行った。以後、a) を石膏Aとし、b) を石膏Bとする。なお、図－5 の a), b) ともに上端と下端で若干のL値の差が出ているが、L値の平均値との差が 1 割程度であり、以降に述べる試験結果に及ぼす影響は小さいものとする。



図－5 均質な人工風化層の検討

6. 試験結果および考察

試験に供した供試体の物性値および実施した試験ケースを表-1、表-2にそれぞれ示す。なお、表-1中の V_p 、 V_s は、超音波パルス法によるP波速度およびS波速度である。本試験では、土台（未風化層）となる岩石コアの物性を変化させると共に人工風化層である石膏のL値を2種類設定し、それぞれの場合において試験し、計6パターンを検討を行った。その中で、人工風化層のL値をL1とし、未風化層のL値をL2とした場合のL1:L2=1:2, 1:3, 1:5の3つのケースを図-6～図-8に示す。各ケースともそれぞれ2回ずつ試験を行い、全てのケースにおいて良好な再現性があることを確認している。図-6～8は縦軸にL値を、横軸に人工風化層の厚さをとったものであり、▲は最大値を、■は平均値を、◆は最小値を示している。同図から、試験ケースによって傾向が異なることがわかる。すなわち、図-6と図-7を比較すると、L1:L2の比率は大きく違うが、グラフとしては風化層の厚さが1mm～2mm程度になると急激にL値が上昇する傾向は同じである。一方、図-8は他の二つの図と異なり、風化層の厚さが約5mm付近から曲線を描きながら徐々にL値が上昇していく。

このような傾向の違いが現れたのは人工風化層のL値の違いであると思われる。風化層のL値が大きくなると風化層厚hが比較的大きな段階で未風化層の影響を受けると考えられる。

以上のことから、本検討における図-8のように、風化層のL値がある程度以上大きい場合には、そのL-h関係を実験的に把握することにより非破壊的に風化の進行状況、すなわち風化層厚hを概ね推定できるものと考ええる。今後の課題としては、さらなるデータの蓄積を行うことによる、L-h関係の数学的な表現であると思われる。

表-1 各供試体の物性値

	V_s (km/sec)	V_s (km/sec)	L 値
大谷石	1.57	1.36	422
阿蘇溶結凝灰岩	2.45	1.91	429
花崗岩	4.23	3.24	878
石膏A	2.81	1.75	160
石膏B	1.92	1.54	200

表-2 各試験ケースにおけるL1:L2

	人工風化層	岩石供試体	L1:L2
ケース1 (図-6)	石膏A	大谷石	1:3
ケース2 (図-7)	石膏B	花崗岩	1:5
ケース3 (図-8)	石膏B	阿蘇溶結凝灰岩	1:2

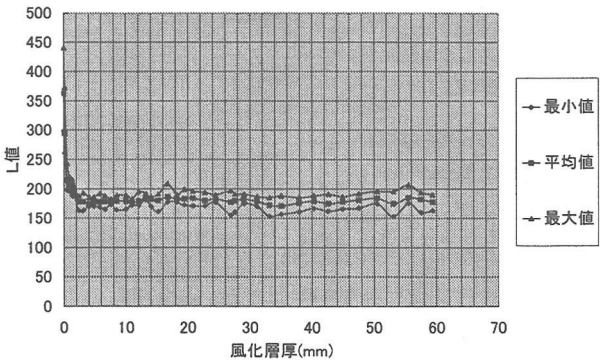


図-6 大谷石の風化層厚とL値の関係
(L1:L2=1:2)

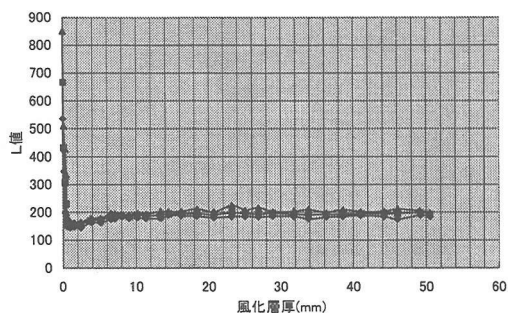


図-7 花崗岩の風化層厚とL値の関係
($L_1 : L_2 = 1 : 5$)

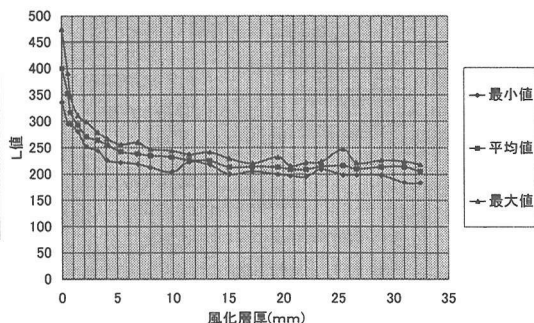


図-8 阿蘇溶結凝灰岩の風化層厚とL値の関係
($L_1 : L_2 = 1 : 3$)

7. まとめ

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 石膏Aの場合，風化層の厚さが1mm～2mm程度になると，未風化層の物性の影響を強く受けて急激にL値が上昇するが，それまでは一定の値を示す。
- 2) 石膏Bの場合，すなわち風化層のL値がある程度大きな場合はL-h関係を利用し，L値により風化層厚hが概ね推定できる可能性があると期待される。

8. 今後の課題

今回は，上記の3つのパターンについて報告したが，人工風化岩だけでなく自然の風化岩を用いた同様の試験も行い，今回の検討結果を検証してみる必要がある。その際には，表面が成形されていない自然の風化岩に対して本試験機を用いるため，キャッピング技術の検討も必要となると思われる。また，今回使用したエコーチップ簡易反発硬度試験機のテストチップの大きさは直径3mmだが，最も岩質材料に適したテストチップの大きさについて検討することも今後の課題である。

参考文献

- 1) 例えば，W. Verwaal & A. Mulder: Estimating Rock Strength with Equotip Hardness Tester, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol30, No. 6, pp. 659-662, 1993.
- 2) 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.
- 3) 川崎了・谷本親伯・小泉和広・石川正基：エコーチップ硬度試験機による岩石の力学特性推定の試み—，応用地質，第43巻，第4号，pp. 244-248, 2002.
- 4) 吉田昌登・川崎了・谷本親伯・舩屋直(2000)：エコーチップ反発硬度試験の岩石材料への適用性，第30回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp. 308-312, 2000.
- 5) 千木良雅弘：風化と崩壊—第3世代の応用地質—，近未来社，pp. 107-152, 1995.
- 6) 大山隆弘・千木良雅弘・大村直也・佐々木和裕・長岡亨：不飽和領域での堆積岩の科学的風化作用—泥岩トンネル抗壁の風化速度と微生物の影響—，応用地質，第39巻，第6号，pp. 511-523, 1999.