

エコーチップ硬さ試験機による地盤・岩盤強度評価の試み

九州電力㈱総合研究所 ○内田 直人 江藤 芳武
西日本技術開発㈱調査解析部 大川 孝士

1.はじめに

金属材料の弾性的性質や強度把握を目的に開発された試験機の1つに、スイス製のエコーチップ硬さ試験機（写真-1）¹⁾がある。本試験機は、特殊なバネの力でインパクトボディを試験体表面に打撃し、その打撃速度と試験面からの反発速度の比により、反発硬度（以下「L 値」）を求めるもので、①対象となる材料が小さくても測定可能、②計測原理が単純でデジタル収録方式であるため、短時間で多数の測定が可能、③装置が小型で軽量であるという特徴があり、わが国では主に金属材料の分野において多数導入されている。一方、当試験機を岩石・岩盤分野に応用した事例として、例えば石造文化遺産の保全における風化層厚の評価^{2), 3)}や、CSG (Cemented Sand and Gravel) 構造物の品質評価⁴⁾等に使用した例が報告されている。筆者らは、これらの研究成果に加え、新たに実験を行い、エコーチップ硬さ試験機を用いた岩石・岩盤物性の強度評価を試みた。本論文では、これらの試験結果に加え簡易試験の使い分けによる地盤・岩盤の簡易評価技術について報告するものである。

2.試験結果

2.1 L 値と一軸圧縮強さの関係

前述したとおり、本試験機の測定原理は、試験体表面を打撃するものであるが、打撃回数については、必ずしも統一されていない。データの信頼性の観点からは、同一測点を複数回打撃した方が望ましいと考えられる。しかし、同一測点を連続打撃すると、打撃に伴い、インパクトボディ先端の球状テストチップ（直径 3mm）が打撃面にめり込む現象が生じるため、反発硬度は増加する⁵⁾現象が起こる。川崎らは、同一測定点における連続打撃は、インパクトボディをチャックに固定する動作時に測定点が動いてしまう場合が比較的多く、また、打撃回数と L 値の関係については岩石材料の種類によって異なることから、現時点では1測定点で1回の L 値測定を実施するのが適当と考える⁵⁾として、1測定点で1回の L 値を基に、天然岩石（ホルンフェルス、頁岩、花崗岩、砂岩、緑色片岩）の L 値と一軸圧縮強さの関係（以下「L-qu の関係」）を求めている。

図-1 は、川崎らの実験結果に筆者らが実施した結果（普通モルタル、砂岩（3種類）、頁岩、花崗岩、凝灰岩）を追加したものである。L-qu の関係は、ばらつきが大きいものの全体的に右上がりの直線や曲線となっていることがわかる。

図-2 は、図-1 における砂岩及び頁岩の L-qu の関係である。この図から、L-qu の関係は岩種ごとに異なることがわかる。一方、図-3 は、図-2 の横軸を連続13回打撃のうち、反発硬度が不安定な初期3回を除いた4～13回の平均値とし、さらに、花崗岩と凝灰岩を追加したものである。この図から連続



写真-1 エコーチップ試験機と試験状況

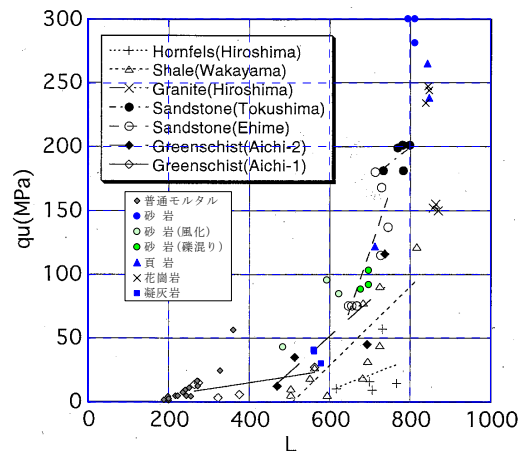
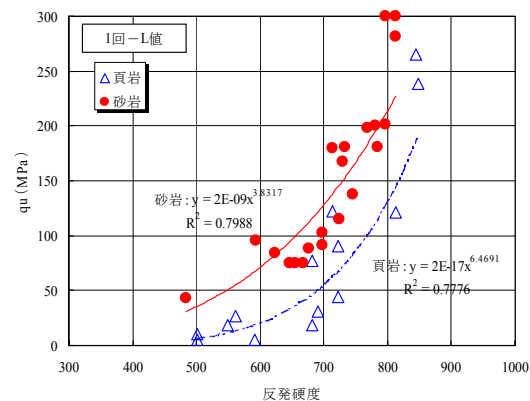
図-1 反発硬度と一軸圧縮強さの関係⁵⁾

図-2 反発硬度と一軸圧縮強さの関係（打撃回数1回）

キーワード エコーチップ硬さ試験、針貫入試験、一軸圧縮強さ
連絡先 〒815-8520 福岡市南区塩原 2-1-47 九州電力株式会社 総合研究所 TEL:092-541-2910

打撃により、岩種間で異なる $L-qu$ の関係が、一つの $L-qu$ の関係で表すことが可能となる。今後は、さらなる試験データを追加し、 $L-qu$ の関係の精度を高めるとともに、岩種ごと異なる $L-qu$ の関係が何に起因するのかを解明することが期待される。

2.2 エコーチップの適用範囲

(1) 低強度域の測定限界

図-4 は、図-1 における普通モルタルの L 値 100~400 の部分を拡大したものである。全体としては高い相関係数が得られている。しかし、 L 値 200 付近に着目すると、一軸圧縮強さに $1\sim5\text{N/mm}^2$ の幅があり、 L 値と一軸圧縮強さに相関関係が認められないことがわかる。

一方、筆者らは、これまで深層混合処理工法における改良体の強度評価手法として針貫入試験を採用し、良好な結果を得ている⁶⁾。本試験は、供試体に針（直径 0.6mm、長さ 10mm）を貫入させる時の力と貫入量の関係から一軸圧縮強さを推定するものである。

図-5 は、針貫入勾配と一軸圧縮強さの関係を示しているが、同図から、 5N/mm^2 程度が測定の上限值であることがわかる。また、相関係数は 0.83 以上が得られており、低強度域では針貫入試験の適用性が高いことがわかる。さらに、朽津ら³⁾は石造文化財の風化度合いの定量化を目的に、エコーチップ硬さ試験機、針貫入試験機の適用性を検討し、低強度域には針貫入試験が有効であることを指摘している。

(2) 高強度域の測定限界

図-1 の高強度域となる L 値 800 以上に着目すると、一軸圧縮強さに $100\sim300\text{N/mm}^2$ の幅があり、 L 値との相関関係が認められない。高強度域の強度測定に関しては、シュミットロックハンマーの適用性の検討も含めて、今後解決されることが望まれる。

3.まとめ

エコーチップ及び針貫入試験の使い分けによる地盤・岩盤物性の評価手法について示した。結論をまとめると以下のとおりである。

- ① $L-qu$ の関係は、概ね右上がりの傾向を示す。反発硬度が不安定な初期 3 回を除いた 4~13 回の反平均値を採用することにより、 $L-qu$ の関係は岩種によらず一つの関係式が得られる。この関係式から一軸圧縮強さを概略推定可能である。
- ② L 値：200~800 の範囲（一軸圧縮強さ：5~100 N/mm^2 ）はエコーチップが、 L 値：200 未満（一軸圧縮強さ：5 N/mm^2 未満）は針貫入試験機の適用性が高い。 L 値を基準として、これらの試験機器を使い分けることにより、軟岩から硬岩の範囲まで一軸圧縮強さを簡易的に測定可能である。

参考文献

- 1) PROCEQ S.A.(1977):Equotip Operations Instructions,5th Ed.,PROCEQ S.A.,Zurich,Switzerland.
- 2) 阿部, 川崎, 金子: 人工風化岩を用いた簡易反発硬度試験, 第32回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.329-334, 2003.
- 3) 朽津, 李, 関: 文化財の強度測定法と風化度合いの定量化について, 保存科学, 第44号, pp.117-123, 2005.
- 4) 鈴木, 木戸, 原: エコーチップ硬さ試験機によるCSG構造物の品質評価の試み, ダム技術, pp.11-17, 2001.
- 5) 川崎, 吉田, 谷本, 舩屋: 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ー試験条件の影響と基本特性に関する調査ー, 応用地質, 第41巻, 第4号, pp.230-241.
- 6) 内田, 江藤, 小野, 三浦: 針貫入試験による深層混合改良体の強度評価, 土と基礎, Vol.52, No.7.

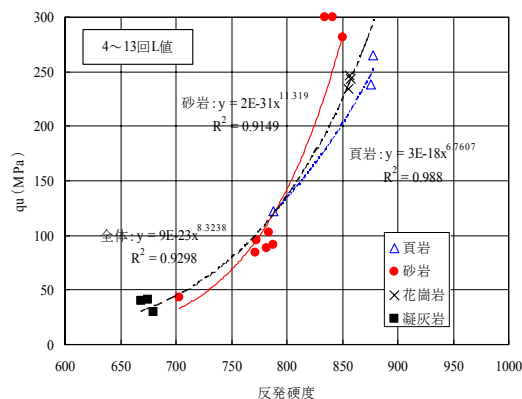


図-3 反発硬度と一軸圧縮強さの関係
(打撃回数 4~13 回の平均値)

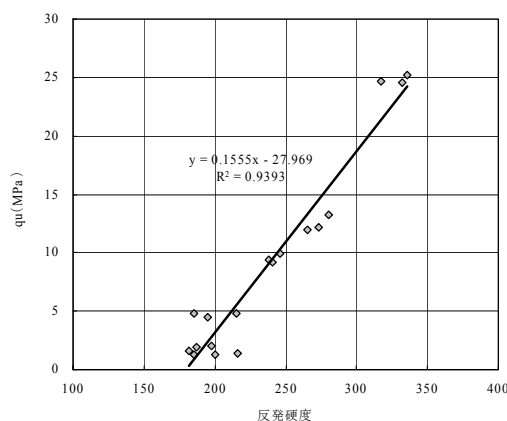


図-4 低強度域反発硬度と一軸圧縮強さの関係

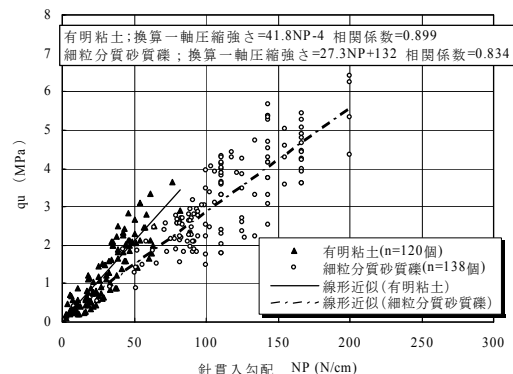


図-5 針貫入勾配と一軸圧縮強さの関係⁶⁾