

GSI システムと電研式岩盤分類の関係について

GRC (Mirarco, Laurentian Univ., Canada) Ming Cai, Peter Kaiser

東京電力(株) 正会員 ○南 将行・日比野悦久

東電設計(株) 正会員 宇野晴彦・田坂嘉章・大森剛志

1. はじめに

信頼性のある岩盤の力学特性を把握するには、原位置試験を実施する必要があるが、時間やコストの面から重要岩盤構造物に限定される場合が多い。地質調査結果や簡易な岩石試験(一軸圧縮試験等)から岩盤の力学特性が評価できれば、線的・面的な広がりを持つ岩盤構造物の物性評価に大きく役立つものと考えられる。一般的に用いられている電研式岩盤分類では、岩盤のゾーニングおよび工学的な力学特性評価が可能であるが、原位置試験が実施されていない場合には、定性的な物性評価となり、精度の高い岩盤物性に絞込むのは難しいものと考えられる。諸外国では、RMR 法、Q システムおよび GSI システムなどの経験法に基づく岩盤分類があり、このうち GSI(Geological Strength Index)システムは、地質強度指標から岩盤の強度・変形特性を直接評価でき、岩盤物性評価において、現状の岩盤分類を補う手段として考えられる。本研究では、吉中らの電研式岩盤分類の整理データ¹⁾を用いて、電研式岩盤分類と GSI システムの相関関係について検討を行った。

2. GSI システム

Hoek, Kaiser and Bawden²⁾は、不連続面の連結性と不連続面表面の変質状況から岩盤を評価する地質強度指標 GSI を提案した。GSI 値は、極めて悪い岩盤から岩石までを 0~100 の指標で区分するシステムである。この GSI システムにより岩石試験結果と地質・節理状態から、式(1)に示す Hoek-Brown の破壊基準²⁾におけるパラメータ m_b, s, a を求めることができる。

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (1)$$

ここで、 σ_1', σ_3' は破壊時の最大・最小有効主応力、 m_b は岩盤の破壊基準定数、 s, a は岩盤特性に依存する材料定数および σ_c は岩石の一軸圧縮強度である。GSI システムによるパラメータ m_b, s, a は、次式に

より与えられる。

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right), \quad s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right), \quad (2)$$

$$a = 0.5, \quad (GSI > 25)$$

ここで、 m_i は Hoek-Brown の岩石の破壊基準定数であり、岩石の圧縮試験から得られる。 $GSI < 25$ の場合のパラメータ s, a は、 $s = 0, a = 0.65 - GSI/200$ である。

3. GSI システムと電研式岩盤分類の相関関係

電研式岩盤分類は、各岩級に対応する地質・節理条件に幅があるため、地質強度指標として定量的に与えられる GSI システムとの相関性について調べた。

GSI システムについては、電研式岩盤分類の岩石硬度評点¹⁾に基づき、各岩級の岩石硬さの目安値から一軸圧縮強度 σ_c と Hoek-Brown パラメータ m_i の平均値を推定した。ここでの σ_c と m_i の変動係数(Cov)は、Hoek³⁾のデータを参考に、それぞれ 25%と 12.5%と推定した。そして、各岩級の GSI は、図-1 に示す原位置岩盤せん断試験整理結果¹⁾の平均強度をシミュレートできる最適値として算出し、電研式岩盤分類での各岩級の節理間隔と節理条件範囲に見合う GSI の標準偏差として 3.33 を仮定した。

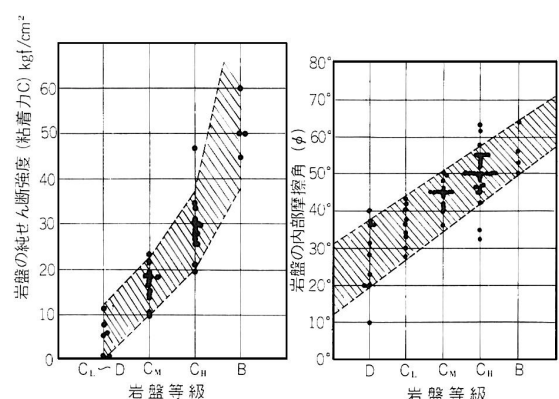


図-1 岩盤等級と c, ϕ の関係¹⁾

前述の推定した岩石強度特性(σ_c, m_i)と GSI および変動係数に基づき、等価な Mohr-Coulomb 強度パラメータ⁴⁾ (c, ϕ)と変動係数を算定した。なお、変動特性については、点推定法を用いた。図-2、図-3 に

キーワード：岩盤分類、岩盤物性、強度特性、GSI システム、不連続面

〒100-0011 東京都千代田区幸町 1-1-3 東京電力株式会社 建設部 土木・建築技術センター

先の図-1 で示した各岩級毎の原位置試験結果と GSI システムで評価した強度(C, ϕ)の確率密度分布の比較を示す。図によれば、シミュレートした強度パラメータは、試験データと同様の傾向を示す。

図-4 には、4 カテゴリーのオリジナル GSI システム²⁾を定量化するため、縦軸にブロック体積 V_b 、横軸に節理面状態係数 J_c を付加した 6 カテゴリーの新 GSI システム表を示す。同図には、各岩級毎にシミュレートした強度特性と節理密度および節理表面状態に基づいて得られた電研式岩盤分類の岩級を合わせて示した。電研式岩盤分類では、 C_H 級岩盤の節理間隔は、2 つの範囲(10 – 50 cm, 50 – 300 cm)で与えられ、節理面の状態は、やや風化～中程度風化と記述されている。平均強度パラメータ(c, ϕ)を代表する GSI の平均値は、先の図-1 の平均強度をシミュレートできる最適値 60 であるが、通常の C_H 級岩盤の節理間隔・節理面の状態から求めたブロックの体積は $0.7 - 10 \times 10^4 \text{ cm}^3$ 、節理面の状態係数は 1.7 – 6 となり、GSI 値は 53-67(60 $\pm$ 7)の範囲にあるものと考えられる。他岩級についても同様の設定ができる。なお、岩級 B, C_H , C_M , C_L 間の 3 つの標準偏差の領域が重複することは、電研式岩盤分類による岩盤評価の非唯一性を示すものとする。

4. おわりに

本研究では、国内の岩盤における地質情報と岩石・岩盤物性に基づき、GSI システムと電研式岩盤分類について、強度特性の比較の形で検討を行い、両者の対応を確認することができた。これにより、国内の岩盤物性評価手法としての GSI システム適用の可能性が示されたものと考えられる。

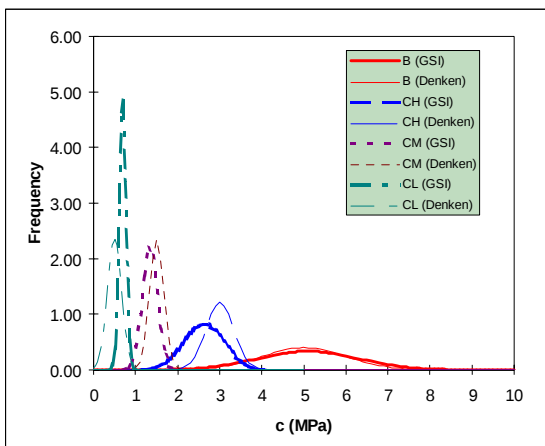


図-2 電研式岩級分類の試験データと GSI による粘着力分布の比較

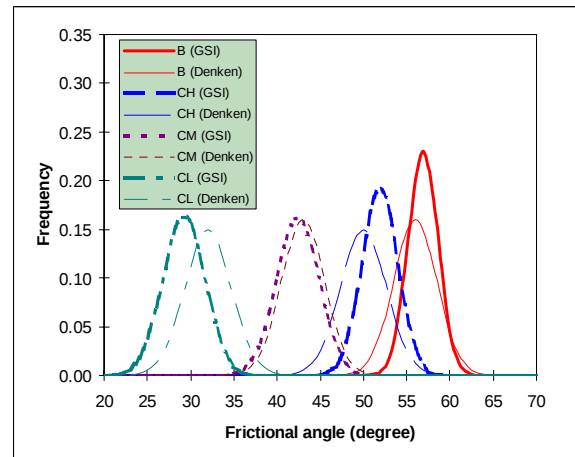


図-3 電研式岩級分類の試験データと GSI による摩擦角分布の比較

GSI System

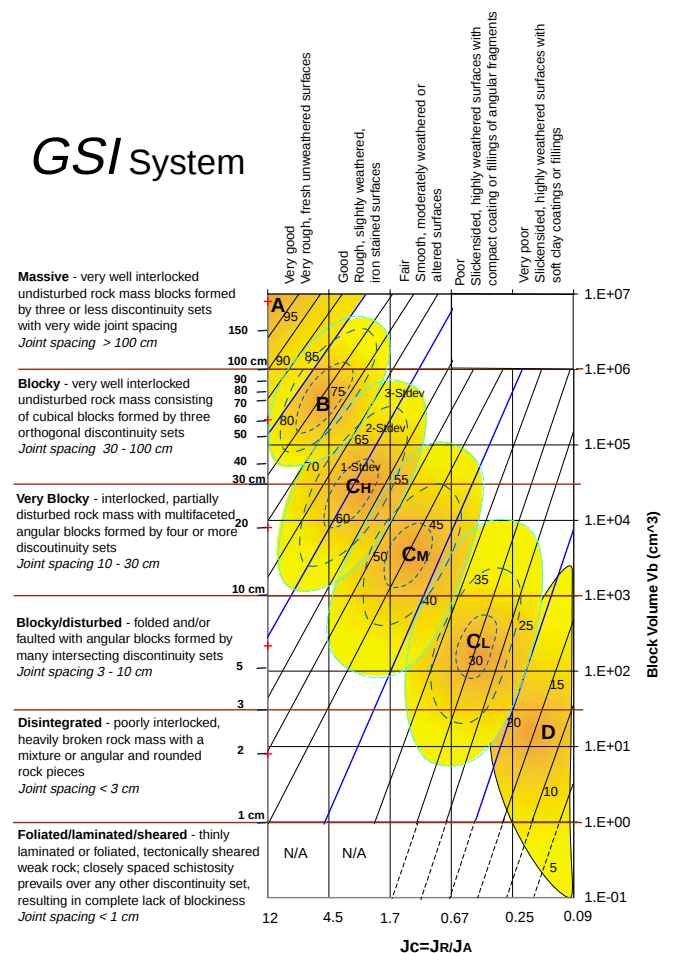


図-4 電研式岩盤分類システムと GSI システムの相関関係の概要図

参考文献

- 1) 吉中、櫻井、菊池：岩盤分類とその適用、土木工学社、1989。
- 2) Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden, W.F. : *Support of underground excavations in hard rock*, A.A. Balkema, 1995。
- 3) Hoek, E.: *Rock Engineering*, Course note by Evert Hoek, 1997。
- 4) 田坂ら：GSI システムによる地下深部の岩盤物性の推定、土木学会第 57 回年次学術講演会、投稿中、2002。