

(4) 岩盤不連続面の表面特性と力学特性に関する データベースの開発について

宮崎大学工学部	正会員	○ 瀬崎満弘
東海大学海洋学部	正会員	Ö. Aydan
名城大学工学部	正会員	清水泰弘

DEVELOPMENT OF A DATA-BASE SYSTEM FOR THE SURFACE MORPHOLOGY CHARACTERISTICS AND MECHANICAL PROPERTIES OF ROCK DISCONTINUITIES

Mitsuhiro SEZAKI	Miyazaki University
Ömer AYDAN	Tokai University
Yasuhiro SHIMIZU	Meijo University

Abstract

Mechanical properties of rock masses are very much influenced by discontinuities due to geological actions in their past. The mechanical behaviour of rock masses has been receiving a particular attention in rock mechanics and rock engineering in association with nuclear waste disposal projects all over the world. The seepage of water through rock masses is governed by the network of discontinuities rather than the rock matrix itself. As a result any explicit or implicit modelling of rock masses will require information on the mechanical properties of the discontinuities. These properties, however, closely depend upon the surface morphology and properties of adjacent material on both sides of the discontinuity. Furthermore, the characteristics of discontinuities in rock masses generally are different from each other, depending upon their genesis.

The aim of this study is to develop a data-base system concerning the surface morphological characteristics and mechanical properties of discontinuities of rock masses which can be used to establish relations between their surface morphology characteristics and mechanical properties.

1. はじめに

岩盤の力学特性は、過去に受けた地質学的な作用による不連続面に大きく影響される。核廃棄物処理プロジェクトに関連して、岩盤の力学的挙動は、世界中の岩盤力学の分野や岩盤の技術者の中で特に注目されている。この際、問題となる岩盤内の水の浸透は、岩を構成するマトリックス自体より不連続面のネットワークに支配される。このような理由から、岩盤の不連続面の力学特性に関する情報を、何らかの指標でモデル化する必要が生じてくる。しかしながら、これらの特性は接している不連続面の両サイドの表面形状とその材料の特性に密接に関係している。

これまで筆者らは岩盤の不連続面の表面形状の特性と力学特性の関連性について研究してきた。この論文では、不連続面の表面形状を定量的に表現するいくつかのパラメーターを提案する。さらに、これらのパラメーターと力学特性に関するデータベースを開発した。このデータベースを使って、岩盤の不連続面の表面形状の特性と力学特性の相関性について検討するものである。

2. 岩盤の不連続面

2.1 一次の不連続面

岩盤の一次の不連続面は、その起因に関係して生成される。このような不連続面は、火成岩では流動面 (flow plane)、堆積岩では層理面 (bedding plane)、変成岩では片理面 (Schistosity plane) と呼ばれるものである。これらの不連続面は堆積岩と変成岩では、比較的に判別しやすいが、火成岩では困難となる。しかしながら、雲母のような偏平な鉱物を観察すれば、火成岩でも不連続面は簡単に判別できる。

2.2 二次の不連続面

これらのタイプの不連続面は、岩石の乾燥、冷却、凍結の過程で生成される。乾燥による不連続面は、一般に堆積岩で観察される。一方、冷却による不連続面は、初期に温度の高い火成岩と変成岩で見られる。凍結による不連続面は、色々な種類の岩石で観察される。これらの面は、普通、一次の不連続面に垂直となる。また、これらの不連続面は一般的には石目面、シーティング節理として分類されている。

2.3 三次の不連続面

これらの不連続面は、岩体が造構運動の作用を受けた時に生じる。また、この不連続面は、断層や褶曲の過程で発達し、せん断面や引張面として分類される。

3. 不連続面の表面形状の定量化

図-1 に示す不連続面の表面形状計測装置を製作した。この装置を使って、現場の岩盤から採取した岩塊の表面形状をなぞり、記録したものを模式的に図化したものを図-2 に示す。不連続面の表面の形状を表わすひとつひとつの凹凸をアスペリティと呼ぶことにする。不連続面の表面形状の特性は、このアスペリティの概念を用いることで、以下のように整理できる。

- アスペリティの高さ
- アスペリティ壁の傾斜角
- 基底の長さに対するアスペリティの長さ
- アスペリティの周期性

次のような種々の表面形状を定量化するパラメーターが、簡単に定義できる。

中心線の平均高さ (Centre-line average height - CLAH)

$$CLAH = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} |y| dx \quad (1)$$

ここで L : 不連続面の直線長さ

x : 原点からの距離

y : 基線からの高さ

平均高さの分散 (Mean standard variation of height - MSVH)

$$MSVH = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} y^2 dx \quad (2)$$

平均高さの標準偏差 (Root mean-square of height - RMSH)

$$RMSH = \left[\frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} y^2 dx \right]^{1/2} \quad (3)$$

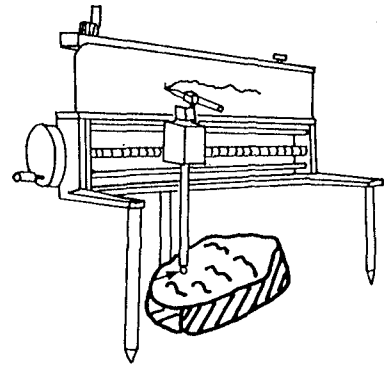


図-1 表面形状計測装置

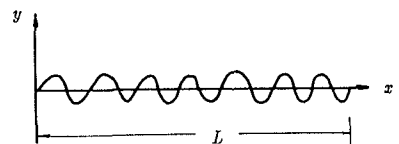


図-2 不連続面の表面形状

アスペリティの側面長さの比 (Ratio of profile length - RPL)

$$RPL = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} ds = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} \left(1 + \frac{dy}{dx} \right)^{1/2} dx \quad (4)$$

アスペリティの傾斜角 (Weighted asperity inclination - WAI)

$$WAI^* = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} \left| \frac{dy}{dx} \right| dx \quad (5)$$

$$WAI = \tan^{-1}(WAI^*) \quad (6)$$

平均傾斜角の分散 (Mean standard variation of inclination - MSVI)

$$MSVI = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx \quad (7)$$

平均傾斜角の標準偏差 (Root mean-square of inclination - RMSI)

$$RMSI = \left[\frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} \left\{ \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} \right\}^2 dx \right]^{1/2} \quad (8)$$

自動修正関数 (Auto correlation function - ACF)

$$ACF = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} y(x)y(x+\tau)dx \quad (9)$$

構造関数 (Structure function -SF)

$$SF = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} (y(x) - y(x+\tau))^2 dx \quad (10)$$

ここで τ 測定されたアスペリティの周期である。

4. 不連続面データベース

不連続面データベースの項目を表-1に示す。合計12の項目がある。

表-1 不連続面データベースの項目

1-) 岩石名	砂岩、花崗岩、片麻岩等の岩石名
2-) 位置	採取した場所
3-) 不連続面のタイプ	Tension, Shear, Bedding, Schistosity Sheeting, Saw-cut planes
4-) せん断強度 (1)	湿潤状態での表面摩擦角 (°)
5-) せん断強度 (2)	乾燥状態での表面摩擦角 (°)
6-) 圧縮強度	不連続面壁の材料 (kgf/cm ²)
7-) 表面形状 (1)	CLAH (mm)
8-) 表面形状 (2)	RMSH
9-) 表面形状 (3)	WAI (°)
10-) 表面形状 (4)	RMSI (°)
11-) 表面形状 (5)	RPL
12-) 表面形状 (6)	SF (mm)

不連続面の力学特性としては、表面摩擦角と圧縮強度の項目がある。図-3に示すような不連続面のせん断試験では、不連続面の傾斜角 i が非常に重要となってくる。つまり、一般的にいわれる内部摩擦角は、この傾斜角 i と不連続面を構成している材料そのものもっている内部摩擦角の和にほぼ等しいことが知られている。ここでの表面摩擦角は、表面摩擦角計測装置で求めたものであり、不連続面が湿潤状態と乾燥状態での2種類で試験を行っている。また、圧縮強度は不連続面を構成している岩塊からコアを採取して、一軸圧縮試験を行ったものである。

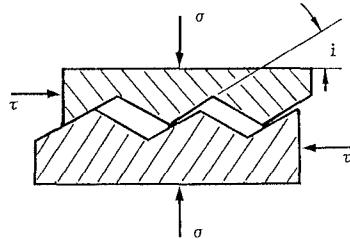


図-3 不連続面のせん断試験

不連続面データベースシステムは、dBASEIII と N88-BASIC で作成しており、筆者らが、すでに開発していたシステムを変更したものである¹⁾。

5. データベースを用いた不連続面の適用例

以下に示すように、このデータベースシステムを使って、不連続面の力学特性と表面形状特性について検討した。まだ、データの数が十分でないため、限られた項目でしか検討できなかった。

最初の例として、図-4を示す。表面摩擦角の乾燥状態と湿潤状態の相関関係をとったものである。図からわかるように、これらの2つのパラメーターの関係は、ほとんど線形と言える。図-5は、図-4とまったく同じ相関関係をとったものであるが、不連続面のタイプが Saw-cut 面の条件にあったものとなっている。

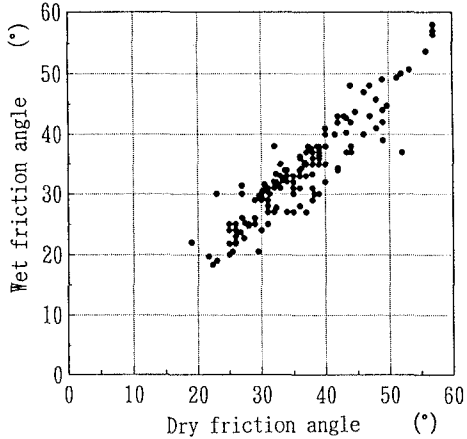


図-4 Dry angle と Wet angle の関係

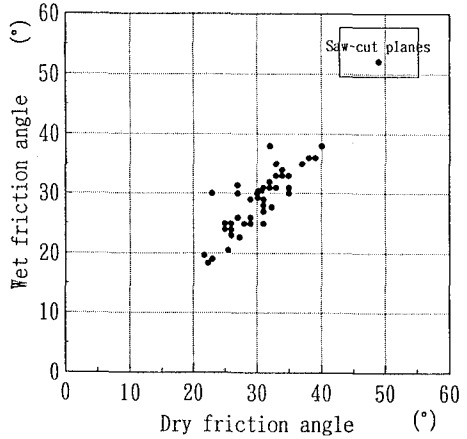


図-5 Dry angle と Wet angle の関係

図-6は、乾燥状態の表面摩擦角と WAI の相関関係をとったものである。WAI は、不連続面の表面形状を表すパラメーターの中で、アスペリティの傾斜角を測定することで求まるものであるが、不連続面の表面の粗さを示すパラメーターとなる。相関性は余りよくないが、期待したように、WAI が大きくなるに従って、表面摩擦角も大きくなって来る。

4番目の例としては、乾燥状態の表面摩擦角と JSC(不連続面の壁面を構成している材料の一軸圧縮強度) の関係を示す(図-7)。表面摩擦角は、壁面の材料の一軸圧縮強度にはほとんど関係しないことがわかる。

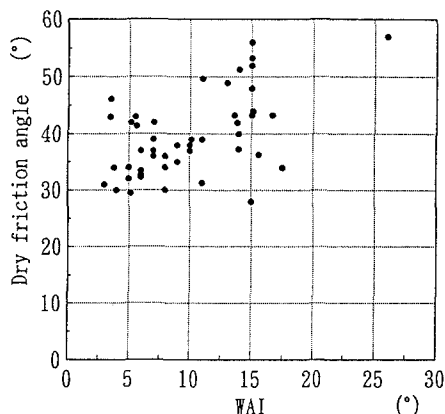


図-6 WAI と Dry angle の関係

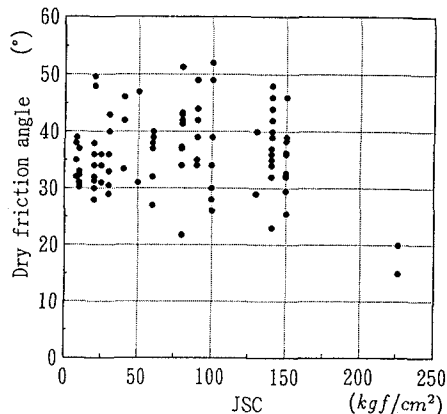


図-7 JSC と Dry angle の関係

図-8 は、WAI(アスペリティの傾斜角) と CLAH(アスペリティの平均高さ) の関係を示す。一般的には CLAH が高くなれば、WAI は大きくなると考えられるが、この結果ではその傾向は明らかではない。

WAI と RPL(アスペリティの側面長さの比) の関係を図-9 に示す。RPL はアスペリティの側面長さ と 基線の長さの比を表わしたパラメーターで、RPL が 1.0 となった場合は、不連続面が平坦であることを意味している。図からわかるように、RPL が増加すると、アスペリティの傾斜角を表わす WAI もそれに比例して大きくなる。

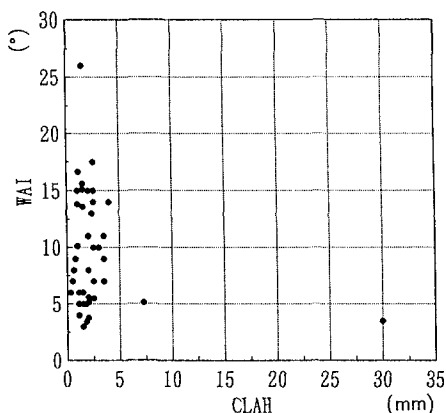


図-8 CLAH と WAI の関係

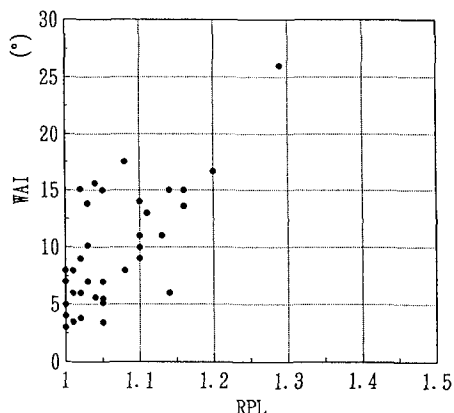


図-9 RPL と WAI の関係

7. おわりに

この報告では、岩盤の不連続面の表面形状の特性と力学特性に関して開発したデータベースについて述べてきたが、このシステムに入力されたデータの数はまだ約 300 と少なく、さらに追加すべき項目も残されている。しかし、このデータベースシステムは、不連続面の表面形状特性と力学特性の関連性を研究するうえで、非常に有効であろう。さらに、岩盤構造物を設計する際に参考となるいろいろなデータを与えるであろう。

参考文献

- 1) 瀬崎満弘・Ö. Aydan・市川康明・川本眺万：岩盤データベースを用いた NATM の事前設計のための物性値, 土木学会論文集, 第 421 号/VI-13, 1990 年 9 月