

(82) 岩盤の不連続パラメータ測定システム (DISPARMS) に関する実際問題への適用について

応用地質株式会社 正会員 近藤 達敏
応用地質株式会社 正会員 ○鶴原 敬久
応用地質株式会社 正会員 進士 正人

1. まえがき

岩盤における土木構造物の設計・施工を行うとき、岩盤中に発達している断層、破碎帯、節理、層理、片理などの不連続面を考慮しなければならない場合がある。特に、岩盤の斜面掘削、大規模な地下空洞、ダム基礎岩盤などにおける地下水浸透、あるいは高エネルギー放射性廃棄物地層処分などの問題においては、不連続面に関する評価と定量化に基づく工学モデルの設定を行う必要がある。近年においては、岩盤の応力・変形、地下水浸透などの数値計算に不連続性を取り込むためのモデル化や解析手法に関する研究が進められてきている。岩盤に発達する不連続性を定量的にモデル化するためには、実際の岩盤の露頭において不連続面の方向・傾斜、間隔、長さ、間隙、挟在物などについての測定を精度よく、かつ能率的に行う必要があるが、従来この方面での研究は少ないのが現状のようである。

筆者らは、不連続面の方向・傾斜、間隔、長さに関する現場測定とデータ処理を精度よく、能率的に行う手法として「不連続性パラメータ測定システム (DISPARMS)」の開発を行っている。¹⁾ 本論では、DISPARMSの測定の原理、不連続面に関するデータ処理とコンピュータシステムについて説明する。また、実際の石灰岩に発達する不連続面をDISPARMSで測定した結果と現場での測定結果を対比し、DISPARMSの精度について検討を行っている。

2. 測定の原理

DISPARMSは3次元写真測定法を用いて不連続面上の点の3次元座標を求め、不連続面の方向・傾斜、間隔、長さを測定するものである。ここでは、3次元写真測量法を用いた不連続面上の点の3次元座標の測定方法についての説明を行う。

実際の岩盤の露頭での写真撮影はできるだけ簡単に行うことが重要であり、非測定用カメラを用いて撮影することが望ましい。ここでは、3次元写真測定法におけるセルフキャリブレーション付きバンドル法を用いている。これは、空中三角測量について偶然誤差のみならず系統誤差を考慮する方法として優れた方法として知られているが、非測定用カメラを用いた地上写真測量にも極めて有効とされている。村山らによって提案されたセルフキャリブレーション付きバンドル法の誤差モデルは、主点位置ずれ、放射方向歪曲収差、接線方向歪曲収差、フィルム変形を取り入れたものでカメラの幾何学性能が整備されていない非測定用カメラに大きい効力があるとされている。

実際の3次元座標の測定は、次のような手順で行なわれる。

- (1) 現場の露頭に外部標定点を設置し一般用の一眼レフカメラを用いてステレオ撮影を行なう。
- (2) ステレオ写真内で互いの計測点、外部標定点が判読できる範囲で基線比を大きくとる。
- (3) フィルムの現像後、フィルムの6倍程度の大きさの印画紙に引き伸ばし焼き付けする。
- (4) 引き伸ばし印画をデジタイザーにセットし、印画上の外部標定点の計測を行ない、標定点の測量結果とあわせてカメラの位置と傾き、セルフキャリブレーション係数などを求める。
- (5) 印画紙上の3次元座標を求めたい点をデジタイザーで計測し(4)で求めた諸係数を用いて任意の座標系での3次元座標の計算を行なう。

3. 不連続面に関するデータの処理とコンピュータシステム

測定を行なう不連続面の量は、不連続面の走行・傾斜、間隔、長さである。ここで、走行・傾斜、長さは、一つずつの不連続面から計測される量であり、間隔は、一本のスキャンラインから計測される量である。従って、不連続面の計測は、面に関する計測およびスキャンラインに関する計測の2種類の計測を行なっている。

面に関する計測は、不連続面の長さを計測するために2点、そして、面の方位を計測するために3点、計5点の計測が必要である。不連続面の大きさは不連続面を等価な円で置き換えれば不連続面の両端点の距離をその直径に置き換えることによって表現できる。

不連続面の間隔は、印画紙上に任意のスキャンラインを設けてスキャンラインと不連続面の交又する点の座標を求めることにより得られる。

任意の不連続面にたいしてその面上の任意の5点についての絶対座標を図-1に示すようにとり、不連続面の大きさを r 、不連続面の法線方向ベクトルを $\underline{n}$ とすると、

$$r = (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\underline{n} = \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \\ x_5 & y_5 & z_5 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} a & 1 \\ b & 1 \\ c & 1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。ここで、 $\underline{I} = (1, 1, 1)$ として $\underline{I} \cdot \underline{n} < 0$ のとき $\underline{n} = -\underline{n}$ とする。

また、不連続面の間隔 ℓ_i は、スキャンラインと不連続面の交又する点の絶対座標を x_i, y_i, z_i とすると、

$$\ell_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2}, i=1, n \quad \dots\dots\dots (3)$$
より求められる。

これらの計測結果を基にして、不連続面の方位に関する統計処理として、シュミットネット、ウルフネットを得ることができ、不連続面の間隔に関する確立密度関数を多項式近似で求めることができる。

京谷および小田らは、岩盤に発達する不連続性を連続性としてのFEM解析にとり込んで応力・変形解析を行なう方法として、各々損傷テンソル Ω_{ij} , F_{ij} クラックテンソル F_{ij} の考え方を提唱している。

不連続面の大きさ r 、法線方向単位ベクトル $\underline{n}$ 、間隔 ℓ を用いれば Ω_{ij}, F_{ij} の値を求めることができる。間隔 ℓ の確率密度関数から構造最小単位の大きさを何らかの方法で求め、計測の対象の岩盤の体積を V とすれば、損傷テンソル Ω_{ij} 、クラックテンソル F_{ij} は各々次式で求められる。

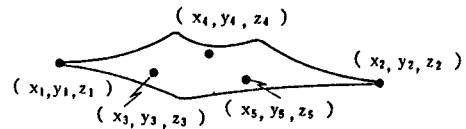
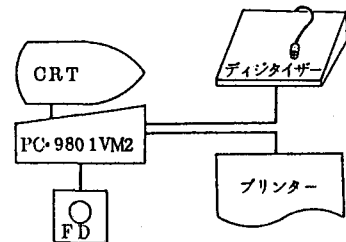


図-1 不連続面上の絶対座標

$$\Omega_{ij} = \frac{\pi \ell}{4V} \sum_{\kappa=1}^m r_{ni}^{(\kappa)2} r_{nj}^{(\kappa)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$F_{ij} = \frac{\pi}{4V} \sum_{\kappa=1}^m r_{ni}^{(\kappa)3} r_{nj}^{(\kappa)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

これらの計測とデータ処理は、全てコンピュータによって行なうもので、VAX11-750およびパーソナルコンピュータPC-9801VM2でその処理が可能となっている。図-2にPC-9801を用いたシステムを示す。なお、デジタイザーの分解能は $25 \mu m$ 程度、A₂版以上必要とする。また、512KB以上のRAMを必要とする。



- 392 - 図-2 不連続面計測のコンピュータシステム

4. 実際の不連続面への適用

実際に、石灰岩に発達する不連続面について、DISPARMを用いた計測とクリノメータ、メジャーを用いた現場計測を行なった。

面に関する計測を1地点、間隔に関する計測を2地点行なった。面に関するステレオ写真を写真1、写真2に示す。間隔に関するステレオ写真を写真3、写真4、写真5、写真6に示す。

また、面に関する計測結果を図-3、図-4に示す。間隔に関する計測結果を図-5、図-6に示す。



写真-1 面に関する計測



写真-2 面に関する計測



写真-3 間隔に関する計測



写真-4 間隔に関する計測

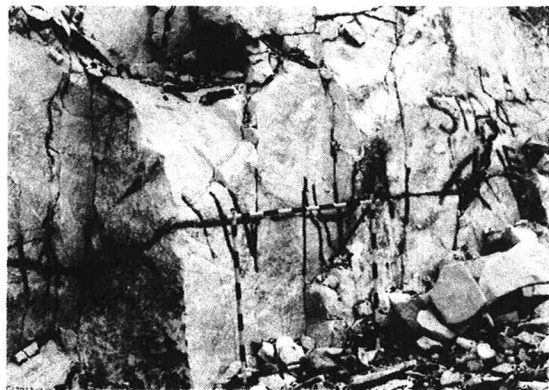


写真-5 間隔に関する計測



写真-6 間隔に関する計測

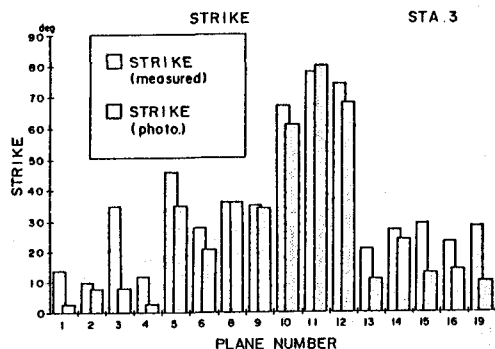


図-3 面に関する計測結果

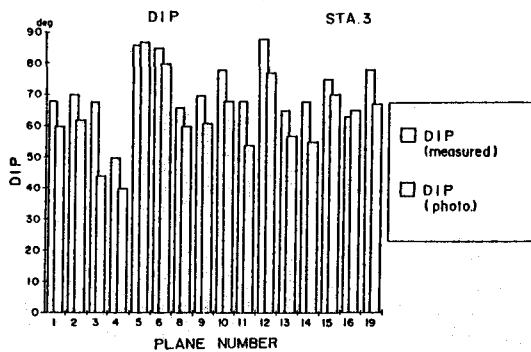


図-4 面に関する計測結果

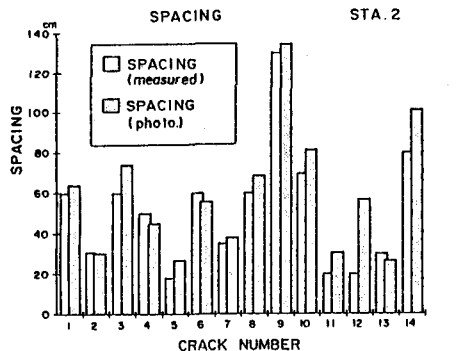


図-5 間隔に関する計測結果

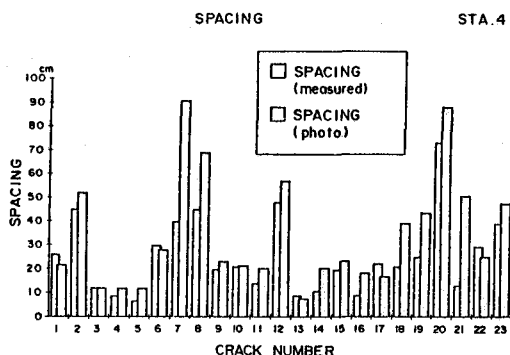


図-6 間隔に関する計測結果

5. あとがき

不連続面を、写真測量を用いたDISPARMSで計測した結果および現場で直接計測した結果を比較し次のような結論を得た。

(1) 不連続面の方向に関しては、走向・傾斜ともに2つの測定結果はかなりよい一致を示している。しかし、計測面によっては計測結果に相違が見られる。これは、クリノメーターを用いた計測は不連続面のある一点での方向を計測しているのに対し、DISPARMSは不連続面上の3点から不連続面の平均的な方向を計測していることによる違いであると思われる。

(2) 不連続面の間隔に関しては、全体的に見てかなりよい一致を示しているが、計測位置によっては計測結果に相違が見られる。これは、現場での計測の場合、計測する不連続面の間に起伏があると計測が困難になるのに対し、写真測量の場合計測する2点の3次元座標を計測しているためそのような起伏の存在の影響を受けないことに原因していると思われる。

(3) 写真測量による不連続面の計測は、クリノメーター、メジャーを用いた従来の方法による計測と同等の精度を有していることが分かった。また、(1)、(2)に示したクリノメーター、メジャーを用いた場合の計測上の問題点が写真測量による計測には存在しないことが分かった。

<参考文献>

- (1) 近藤 達敏；“3次元写真測量法による不連続面の測定システム(DISPARMS)について”、第18回岩盤力学に関するシンポジウム、1986
- (2) 山辺 正；“クラックテンソルによる亀裂性岩盤の有限要素解析”、第17回岩盤力学に関するシンポジウム、1985

(82) Application for field measurement of discontinuity measuring system (DISPARMS)

OYO Corporation	Tatsutoshi	KONDOH
	Takahisa	TSURUHARA
	Masato	SHINJI

SUMMARY

For the problem of slope excavation, underground opening, tunneling, foundation of dam, seepage, et al., it is essentially necessary to measure discontinuity parameters on faults and joints with a view to grasp mechanical properties and seepage networks of ground water in a discontinuous rock mass.

Authors have developed a new technique which can measure orientations, spacings and trace lengths of discontinuous rocks.

This paper deals with the application of a measuring system for discontinuous rocks. We applied the measuring system for the rock mass which was made up of limestone and obtained discontinuous parameters of orientations, spacings and trace lengths. Moreover, the same objects were measured with a clinometer and a steel tape in a field.

According to the results, it was shown that this measuring system is practically available for measuring discontinuity parameters of a rock mass.