

(102) ステレオ写真による岩盤亀裂面の方向性の計測

顧問組	技術研究所	正会員	○西村 毅
同	上	正会員	田中 正
同	上	正会員	庄子 智

A Measurement of Rock Joints' Orientation by Stereography

Tsuyoshi NISHIMURA, Tadashi TANAKA and Satoshi SHOJI
Technical Research Institute, HAZAMA Corporation

ABSTRACT

We have developed joint survey system based on photogrammetry and image processing technologies. This paper describes 3 dimensional measuring survey of rock joints by using the technology of stereography.

In our system, two stereographic photos of rock surface and coordinations of target points taken in the field are put into computers as digital image data. From these data, calibration coefficients are calculated and the 3 dimensional coordinates of any points on photos could be obtained. Then we can evaluate orientations and distributions of rock joints from the equations of these planes.

Application examples and the results of comparison between the our stereographic measurements and in-situ measurements by clinometers are also presented to demonstrate the efficiency of this systems.

1. まえがき

不連続性岩盤の取扱いにおいては、岩盤中に存在する亀裂等の不連続面の分布性状を調査により明らかにしておくことは重要である。従来、亀裂面の方向性の調査は、地質技術者の手によりなされ、岩盤面のスケッチ図と現位置でのクリノメータによる走行傾斜の測定が行われてきた。

筆者らは、この亀裂調査に画像処理技術および写真測量技術を応用して自動化をはかることを試みてきた^{1)~3)}。このような調査法が有力になってきたのは、近年の測量機器や画像処理技術の急速な発達によるところが大きい。測量用のカメラのような特殊な装置を用いることなく通常のカメラでもキャリブレーションさえ行えば、十分に写真測量が可能になってきた。また、計算機のデータ処理能力の向上により、大容量のメモリー演算を必要とする画像処理を比較的容易に行えるようになってきた。

本研究では、節理調査作業の効率化をめざしてステレオ写真撮影による亀裂面の3次元位置計測を行った。このシステムにより亀裂面の走行傾斜および3次元座標を画像処理によって求めることができる。

撮影した画像はコンピューターに取り込まれ画面上で操作を行った。抽出した亀裂面の情報はステレオネット等に整理して分布性状の評価を行った。また、今回の現位置調査ではクリノメーターによる実測を行っており画像処理による走行傾斜の測定値との比較検討を行った。

2. ステレオ写真による3次元測量の原理

対象とする3次元空間中の物体を2方向から写真撮影することにより、写真上で3次元計測を行うことが可能となる。

写真座標と対象空間座標との関係は射影変換（一般線形変換）で近似され、その基本式は

$$x : \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \quad (1)$$

$$y = \frac{L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \quad (2)$$

で与えられる⁴⁾。

ただし $X Y Z$ は 3 次元の対象空間座標系であり、 $x y$ は 2 次元の写真座標系である。式(1)は $L_1 \sim L_{11}$ までの 11 個の変換係数を含んでいる。従って、3 次元的に配置された 6 点以上の基準点に対して最小 2 乗法で未知パラメータを決定できる。

式(1)、(2)に写真画像上での計測点の座標(x, y)を代入することにより、これらの方程式は一つの直線を表現するものとなる。この直線はカメラの視点と計測点を結ぶ直線であり、2 個のステレオ写真画像上で同一点の座標をとったとき空間内には 2 本の直線が定義される。理論的にはこの 2 直線は交差し、その交点の座標が求めるべき計測点の 3 次元座標となるが、現実には 2 本の直線は交点を持たない場合が多い。これは、基準点の測定誤差やレンズおよびフィルムの歪による誤差が含まれるためである。したがって、2 直線上の最短距離にある 2 点を求め、それらの中点を計測点の 3 次元座標としている。

3. 亀裂計測への適用例

3. 1 計測地点の概要

計測地点は山口県宇部市の宇部興産採石場である。地質は頁岩砂岩互層（頁岩優勢）からなり亀裂がかなり発達している。層理面の方は $N 84 E 42 N$ であり、これに平行な方向とほぼ直交する方向に亀裂が発達している。 $C_M \sim D$ 級の岩盤でありバックホーのバケットで掘削可能な程度の硬さである。この砕石場内において幅約 12 m、長さ約 8 m の区域について深さ 7 m 程度の岩盤を順次はぎ取り、その途中に現れる水平面及び鉛直断面において亀裂調査を実施したものである。

3. 2 計測手順

対象とする岩盤面を任意の 2 方向から写真撮影する。図-1 は、このようにして撮影したステレオ写真

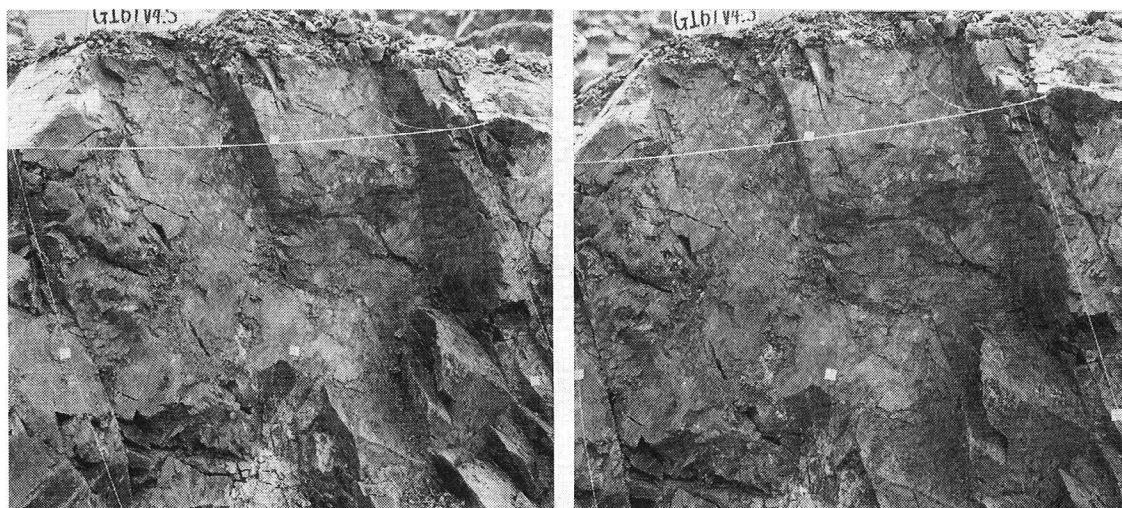


図-1 岩盤面のステレオ写真

の一例である。岩盤面には、あらかじめ 0.5m ピッチの格子状にキャリブレーション用の基準点となる反射ターゲットを設けてあり、この座標を計測しておく。写真には 6 点の基準点を写し込む必要があるため、0.5X1.0m よりも若干広い面積が写真 1 枚当たりの撮影領域となる。

現在、現位置での作業負担をできるだけ低減しようという意図から、写真撮影に関しては制約を設けず、むしろ適用する画像処理技術でカバーするように考えている。したがって、カメラは通常の一眼レフカメラを用いておりカメラの設置位置や光軸方向などの計測は不要である。



図－ 2 亀裂面の指定

3. 3 画像処理手順

現位置で撮影された 1 組の岩盤写真は、カラービデオカメラを通じてデジタル信号として画像処理装置に入力され、光ディスクに登録される。画像処理装置の解像度は 512x480ドットであり、カラー画像 1 つは約 0.7M バイトの大きさのデータ量になる。

次に、画像に写し込まれた基準点をデジタイザーで指定することにより基準点の画面上での 2 次元座標を得る。これと写真撮影時に計測した基準点の 3 次元座標によりキャリブレーション係数が算出される。一旦キャリブレーション係数が求まれば、2 章の理論にしたがい写真内の任意の点の 3 次元座標を算出することができる。

計測したい亀裂面上の 3 点を指定すれば、これら 3 点を通る平面の方程式が求められ、同時に亀裂面の走向傾斜が求まる。方向が算出された亀裂面は亀裂面ファイルとして保存される。このデータは走向傾斜という方向性だけでなく、亀裂面の位置まで情報として含んでいるので、方向性の統計処理といった従来から実施されている整理手法だけでなく、3 次元亀裂マップの作成のような新たな評価方法として使うことができる。

表－ 1 ステレオ写真による亀裂面の 3 次元計測結果

No.	走向／傾斜	亀裂面の式($aX+bY+cZ+d=0$)	計測手法
1	N 7 4 W 5 9 N	-0.826X+0.232Y-0.513Z+13.8=0	写真測量
	N 8 4 W 5 7 N		実測
2	N 1 6 E 7 7 S	-0.269X-0.936Y+0.225Z+11.3=0	写真測量
	N 2 6 E 8 0 S		実測
3	N 2 5 E 5 9 N	-0.362X-0.775Y-0.517Z+8.70=0	写真測量
	N 1 6 E 4 9 N		実測
4	N 2 6 E 8 4 S	-0.435X-0.894Y+0.110Z+13.8=0	写真測量
	N 2 1 E 8 4 S		実測
5	N 8 7 W 8 0 S	-0.982X+0.050Y+0.181Z+21.3=0	写真測量
	N 8 8 W 8 3 S		実測
6	N 5 9 E 6 5 N	-0.778X-0.459Y-0.428Z+16.3=0	写真測量
	N 3 4 E 7 5 N		実測
7	N 5 9 E 4 9 N	-0.648X-0.387Y-0.656Z+11.9=0	写真測量

4. 計測結果

4. 1 走行傾斜の測定

表-1は、一組のステレオ写真から求められた亀裂面の走行傾斜を表したものである。今回は現位置での写真撮影と同時に、クリノメータを用いた走行傾斜の実測も行なっているので、実測データが存在するものについては両者を併記してある。No1～6までの亀裂面は写真測量と実測データの両方が得られている。

今回写真測量を行なったステレオ写真の総数は32組であり、これらの画像から写真測量によって計測した亀裂は215個であった。そのうち83個の亀裂についてはクリノメータによる実測値も得られており、両者の計測値の比較を行なったのが図-3である。これは2つの手法によって求められた亀裂面のなす角度の頻度分布を示したものである。亀裂面方向の差が5度以下が54%、30度以下が87%となっており両者はかなり良い一致を見せている。

しかしながら、本手法によって岩盤写真上のすべての亀裂が計測可能なわけではない。3点を指定することにより亀裂面を計算するために計測岩盤面上に面として現われずトレース線としてしか認識できない亀裂は計測できない。また、狭い露出面しか見えない亀裂や視線とほぼ平行な亀裂は精度が落ちる。精度を上げるためには亀裂面上の点を4点以上指定して平均的な平面の式を求めるなどの改良が必要であろう。

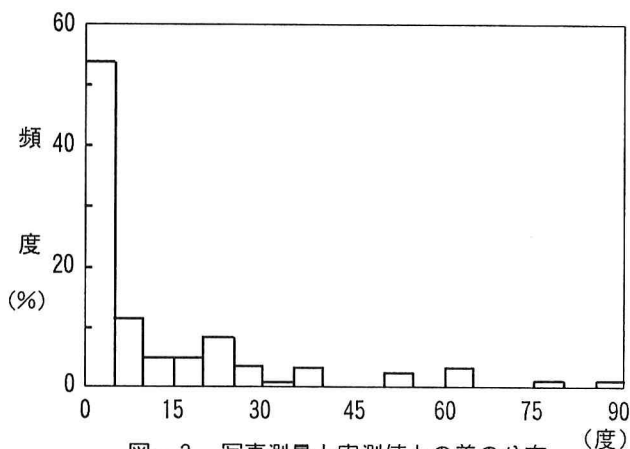


図-3 写真測量と実測値との差の分布

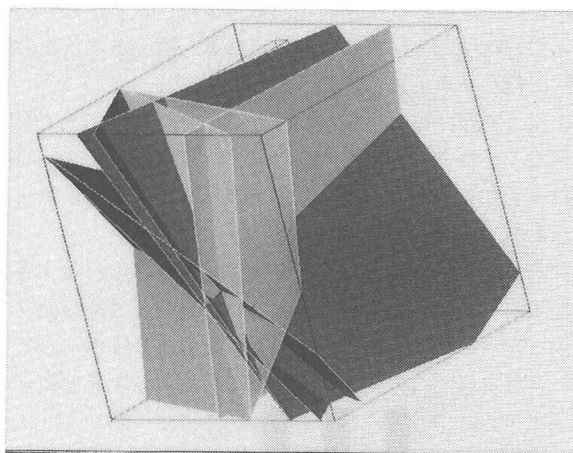


図-4 3次元亀裂面表示

4. 2 3次元亀裂図の作成

図-4は表-1の7個の亀裂面を3次元空間内に表示したものである。ステレオ写真を用いる本手法によれば、亀裂面の方程式まで得られるので容易にこのような3次元マップを作成することができる。

計測断面で観察された亀裂面の岩盤内での広がりや折れ曲がり等の不確定な要因はあるものの亀裂の3次元の分布状況や岩盤内での交差状況を視覚的に捉えることができる。また、掘削の進行と共に現われる新たな切羽面での亀裂状況の予測あるいは力学的な3次元モデルとして数値解析を行なうなどの利用法が考えられる。

5. ステレオ写真による方向性計測法の評価

ステレオ写真による亀裂面の方向性を計測する手法には以下のような利点があるものと考えられる。

計測岩盤面で長時間技術者が作業する必要がないため亀裂調査迅速化が図られるとともに、掘削直後の切羽面など崩落の危険性がある場合などでは安全性を確保できる。また、亀裂面の方向性と位置を同時に得ることができるので、岩盤内の亀裂状況の予測や3次元モデルとして利用できる。

一方、問題点としては現位置での写真の際に基準点となるターゲットの貼付けや測量といった作業を必要とすることが挙げられる。測量技術の発展により効率的でしかも精度の良い測量が可能になってきたとはいえ、1枚の写真画像中に最低6点の基準点を必要とするため詳細な亀裂計測を行なおうとすると写真撮影枚数が多数におよび基準点の数も相当な数にのぼる。さらに掘削直後の切羽のように崩落の危険性があり、接近するのが困難な場合などにも適用できる手法を開発する必要がある。カメラの設置位置およびカメラ軸の方向からキャリブレーションを行なうことが考えられる。

6. あとがき

今回の岩盤はぎ取り調査では、順次岩盤を掘削しては露出面を調査する手順を取っており、数m間隔での調査データが得られている。本報告はそのうちの一部のデータを処理して実測と比較検討した結果を述べたものである。今後未処理のデータを解析して岩盤はぎ取り領域全体の亀裂分布の把握を実施する予定である。隣接する調査断面間での亀裂分布状況の整合性や亀裂面の3次元的な広がりなどの点について検討して行くことが可能であると考えている。

最後に、本研究は宇部興産(株)、日本基礎技術(株)、(株)ダイヤコンサルタント、川崎地質(株)の各社および山口大学工学部中川研究室との共同研究の一部として行なわれたものであり、現場計測の際には関係者各位の並々ならぬ協力を賜った。末筆ながら記して謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 大橋、草深：画像処理による岩盤節理調査・評価システムの開発。第19回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、PP. 396-400, 1987
- 2) 大橋、草深：デジタル画像処理による節理性岩盤の調査・解析システム。第7回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、PP133-138, 1987
- 3) 草深、西村、田中：画像処理による岩盤節理抽出手法の研究。第23回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、PP. 46-50, 1991
- 4) 服部：非地形写真測量のキャリブレーション法。写真測量とリモートセンシング、Vol. 25 No. 4, pp19-25, 1986