

機関組 技術研究所 正会員 ○大橋 敏行
同 上 正会員 草深 守人

1 はじめに

数年来、岩盤の節理あるいは不連続面が構造物の挙動に与える影響を評価しようと様々なアプローチで研究開発がなされて来た。その結果、岩盤不連続面の分布特性が調査等により明らかにされれば、種々の解析モデルにより、構造解析なり浸透解析が可能な状況にあると言えよう。しかしながら、肝心な不連続面をどのように調査・評価して数値解析に結び付けるとかという点に関して、焦点を当てた研究開発は殆どなく、不連続性岩盤の取り扱いという一連の流れの中でネックとなっていると考えられる。この問題を解決するために、筆者らは画像処理技術を用いた岩盤節理の調査・評価システムの開発に着手したので、以下にその概要を紹介する。

2 システム構想

筆者らは先に述べた問題を解決できるシステムの開発を手掛けるにあたって、システムのあるべき望ましい姿を次のように想定した。

- (1) 従来の労働集約的な節理調査作業に要する労力と時間を低減できる。
- (2) 数値解析に直接使えるデータを提供できる。
- (3) コンピュータが扱える媒体でデータの記録・保存がなされ、随時検索したり目的に応じてのデータ加工が可能である。

このような構想に基づき調査研究を経た結果、最近盛んに各分野で用いられている画像処理 (Image Processing) 技術を中核に据えたシステムを開発すれば筆者らの意図が実現可能であるという感触を得た。しかしながら、節理線 (Fracture Trace Line) という2次元線情報から走向/傾斜という3次元面情報を求めるプロセスは、画像処理技術だけでは不十分であり、ロボットの運動制御等の分野で用いられているステレオペア写真より画像内の点の3次元座標を求める手法を適用することにした。

Fig. 1 に、本システムの概念的処理フロー図を示す。このシステムは、処理内容という観点から、次の4つのサブシステムから成ると考えられる。すなわち、原位置で撮影されたステレオペア写真を画像データとして入力する画像読み取り部、次に入力された画像情報から節理線を強調して抽出する画像処理部、さらに抽出された節理線の方向、長さ、間隔および位置等の節理のパラメータを解析してユーザーの目的に応じてグラフィック出力する画像解析部、最後に入力された画像情報あるいは解析された節理情報が登録・保存される画像データベースである。Fig. 2 に、本システムの機器構成を示す。

3 手法の検討および検証

上記システム構想を実現するために、システムの中で用いる手法の保証精度さらに技術的可能性を検討した。システムで用いる手法の処理概要をFig. 3に示す。これらの中で、検討の対象としたのは、節理線抽出のための画像強調処理手法およびステレオペア写真からの3次元座標決定手法である。この2つの手法は、システム構想を展開し開発に着手するにあたって、キーとなるものであると考えられる。

3.1 節理線抽出のための画像強調処理手法

この手法は、人が写真から節理を判読するための補佐的な役割を担うものである。今回の検討内容は、従来、リモートセンシングの分野で日常的に用いられているいくつかの処理手法の内、本システムの要請

に対して最も効果的なものを見極め、さらにその効果度を明らかにすることである。

検討の対象とした岩盤写真は、撮影場所から分けると、野外撮影のものと坑内撮影のものの2つである。前者は、太陽光のため照射が均一で、かつコントラストが強い。反面、草、苔等の岩盤以外の情報を多く含んでいる。後者は、ストロボ撮影であるため、コントラストが弱く、かつ平行光線でないため照射ムラが多い。しかし岩盤以外の情報は少なく、殆ど全てが岩盤の情報と考えてよい。また、岩盤の状態から分ければ、自然露頭と掘削面となる。

検討の結果、次のような知見が得られた。

- 1) 節理線強調のための画像強調処理手法として、エッジ抽出フィルタ、平均化フィルタ、2値化およびレベルスライスの四手法が有効である。これらの各処理は、適当な順番でいくつかを組み合わせるべきものである。
- 2) 各処理においても、写真に応じて階調、エッジレベル等の設定に関して、ノウハウが必要となる。
- 3) 各処理手法の有効性は、対象とする写真に大きく左右される。
- 4) 今後サンプル数を増し、今回適用した各処理手法がどの程度一般的に使用できるかどうかを確かめ、再現性のある技術としていくことが望まれる。例えば、有効であった処理手法に対するサンプル数のカウント、有効でなかった処理手法に対する要因をとらえ、一般化あるいは適用処理手法の順位付け等を行なう必要がある。

このように、実際には岩盤の種類、節理の状態、写真の撮影条件により画像情報が大きく異なり、節理線強調処理の困難な場合も予測される。ある写真においては非常に効果的であった処理が、他の写真においては何ら良い情報が得られない場合が通常のこととして起こる。一方、システム化にあたっては、処理手法を最小限に絞る必要がある。このような観点から、イメージプロセッサ内での処理を中心とし、ある程度一般的に、そして原画像を極端に変化させることのない手法を組み合わせ、処理手順として組み込んでゆく予定である。

3. 2 ステレオペア写真からの3次元座標決定手法

この手法は、3次元座標が既知である複数のマークポイントよりキャリブレーション係数を計算し、写真画像内の節理線上の任意点の3次元座標を求めるためのものである（節理線上の3点の座標が求まれば、その節理の走向/傾斜が計算できる）。手法自体は、理論的な裏付けがあり、新しいものではない。したがって、理想的測定条件の下で測定され、かつ写真情報がスキャナ（例えばビデオカメラ）より十分な精度を持って入力されるのであれば問題はないと思われる。しかしながら、実際のシステムにおいては、特に人間の介入を要する場合には、誤差を含むものであり、またその程度は扱うスケールによっても左右される。したがって今回の検討の内容は、今後想定される撮影範囲（被写体から約3m~4mの位置で撮影）を設定し、手法の妥当性、適用範囲以内での保証精度を明らかにすることである。これにより、理論上からは確認の難しい誤差飽和の程度（多点情報からパラメータを決定することによって各点での誤差を平均化することの割合）についての確認が可能となる。本手法の詳細については、文献[1、2]を参照されたい。

検討にあたっては、座標が既知の点の座標を本手法により逆推定するという問題を設定し、室内モデル実験さらに原位置岩盤実験という2段階で実施した。その結果、得られた知見を以下に示す。

- 1) 全体的に誤差は、室内実験で最大数mm、原位置実験で最大2~3cmに収まる。このことから、今回採用したキャリブレーション係数による手法が、この程度の範囲の空間スケールに適用した場合にも、十分精度を期待できることが確認された。
- 2) 理論的には、マークポイント（写真撮影と同時に3次元座標を計測しておくべき点）の数が多（6点以上）、誤差が飽和され安定すると考えられるが、今回の実験結果では殆ど効果は認められな

かった。したがって、実際的にはマークポイントは、6点で十分であると考えられる。

3)マークポイントで囲まれたターゲットポイント（キャリブレーション係数より3次元座標を計算すべき点、今回の実験では検証の意味でマークポイント同様、あらかじめ座標を測量しておいたもの）と、マークポイントの外側にあるターゲットポイントを比較すると、外側にある点の誤差の方が著しく大きい。このことから、マークポイントは節理を十分囲む点とすることが望ましい。

4)撮影の際、各ベア写真はできるだけ、互いのカメラ角度およびカメラ間距離を十分とった方が、精度の良い結果が得られる。

以上述べたように、システムを構築する上で特にキーとなる2つの手法、すなわち画像強調処理手法と3次元座標決定手法については、ほぼ実用システムに供する程度の信頼性を確保できるとの感触を得た。

4 システムの位置付けおよび展開

不連続性岩盤の取扱いという枠組みの中で、本システムの利用形態とシステムの付加価値化のための展開について、筆者らは次のように考えている。

原位置で撮影された岩盤面写真をビデオカメラ等の入力媒体を通してディジタル画像情報としてイメージプロセッサに取り込む。この情報から画像強調処理手法を用いて節理情報の抽出を行なう。また、この写真情報を画像データベースに蓄え、必要とされる時に迅速に引き出せるようにする。この写真情報は、抽出された節理情報以外の情報も含んでいるものであり、将来別の目的で再利用されることが考えられる。すなわち、抽出された節理情報は目的のために集約された情報であるのに対し、写真情報はその前段階の種々の定性的情報を合わせ持ったものである。そのため、撮影した写真情報を画像データベースとして保存することは重要な機能である。また、この目的に対する機器としては、光ディスク装置を用いることが非常に効果的であると考えている。

一方、抽出された節理情報は、節理の位置、方向、長さ等の個々の節理を特性付ける節理パラメータを計算するために利用される。そして、ステレオネット、長さの分布図等のグラフィック出力を分析することにより、節理群としての評価ができる。これらの解析・評価された形態での節理情報は節理情報データベースに蓄えられる。ここで蓄えられた情報を基に、力学的なモデル化が行われ、岩盤の数値解析が可能となる。したがって、将来的には、数値解析プログラムを本システムとリンクすることも想定している。その際には、現在盛んに新製品が市場に登場しているエンジニアリングワークステーション（EWS）の利用が有効な手段になると予測される。

一方、これらの流れとは別に、本システムを現場で使用することを目的として、キーブロック理論と組み合わせたシステムを現在開発中である。キーブロック理論は、岩盤掘削工事における施工管理に有効な手段であり、かつ他の数値解析手法とは異なり市販のパーソナルコンピュータ上で十分なパフォーマンスを期待できるものである。これら2つの組み合わせにより、キーブロックの解析に必要な節理の位置、方向などのデータは危険な岩盤面に接近することなく、十分離れた安全な位置から写真撮影をするだけでよい。また節理情報の抽出作業も殆どが自動化され、キーブロック解析プログラムに自動的に引き渡されるため大幅な省力化にもなる。さらに検出されたキーブロックを安全に支保するためのロックボルト等の打設位置、方向、必要数量等が、組み込まれた設計式により算定、出力される。Fig.4にこのシステムの構想の概略を示す。

このように画像処理による岩盤節理調査・評価システムとキーブロック解析プログラムという2つのシステムを組み合わせることにより、より付加価値が高く、現場サイドでのニーズに見合う実用的なシステムが構築できるものと期待している。

5 おわりに

岩盤節理の調査・評価に関して、デジタル画像処理という比較的新しい技術を導入し、システム化を検討した。画像処理の分野は、現在、ソフト的、ハード的に次々と新しい技術が開発されつつある。特に、画像処理関連機器は、その傾向が強い。今後、本システムを展開してゆくにあたって、システムを言えばハード依存にになってしまうことは、種々の観点からして望ましい姿勢ではないが、少なくとも絶えず新しい機器の技術開発動向に、注意を払ってゆかなければならないと考える。

参考文献

1. 森下：映像情報（I），1985年 6月号，pp.39-46.
2. 山口：コンピュータディスプレイによる図形処理工学，日刊工業新聞社，pp.161-192.

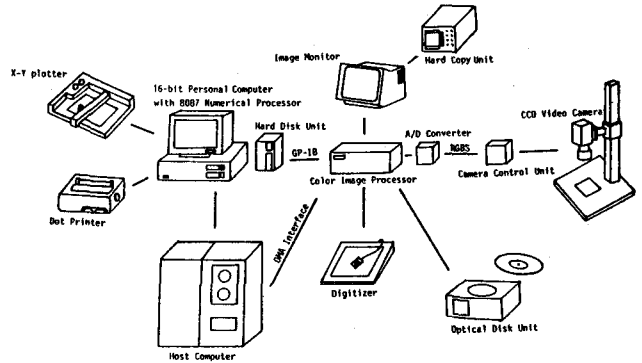
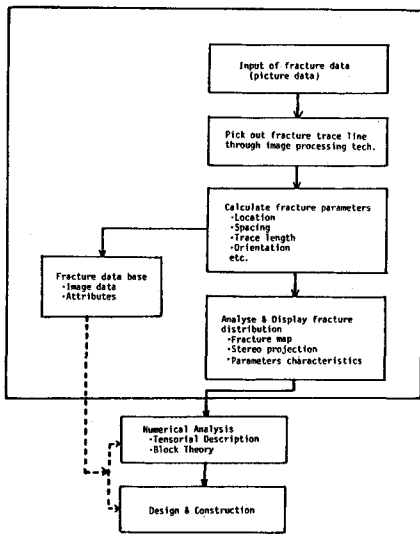


Figure 2 System hardwares.

Figure 1 Block diagram of the system procedure.

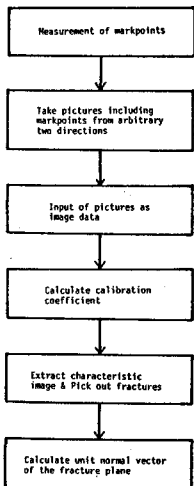


Figure 3 Algorithm
for fracture
characterization.

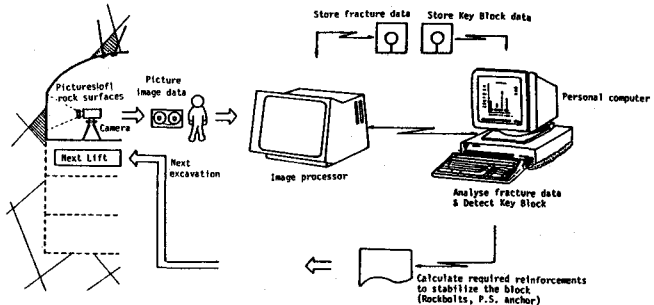


Figure 4 System application - Key Block System -

(83) Development of Fracture Investigation and Characterization System
Using Image Processing Technology

Toshiyuki Ohashi*
Morito Kusabuka*

* Technical Research Institute, Hazama-Gumi, Ltd., Tokyo, Japan.

Abstract

This paper presents a new system for fracture investigation and characterization using image processing technology, developed in attempt to characterize fracture systems in the rock mass quantitatively as well as automatically.

As many excellent numerical models have been developed, numerical analysis can be performed to some extent as long as the fracture system can be characterized. But, unfortunately, the problem that how the fracture system should be better investigated or characterized has still remained unsolved.

In order to solve this problem, we have developed a new system that utilizes the image processing technology. The procedure of this system is as follows;

1. Read pictures of rock surfaces as digital image data. Also, store these image data in the image database.
2. Extract fracture trace line by applying image processing.
3. Calculate such fracture parameters as orientation, trace length and location, etc.
4. Analyse the obtained fracture data and characterize fracture system in the rock mass. For this purpose some graphical presentations are available upon users' request, e.g. stereo net, fracture map. Then, store fracture data in the fracture database.
5. Calculate required parameters for numerical analysis of the rock mass.

As for hardware, the system mainly consists of color image processor, 16-bit personal computer, videocamera and some peripheral devices. For the image database the optimal diskette would replace the hard disk unit in near future.

Through the system we could expect two improvements for fracture investigation and characterization procedure. First is that the system can provide us with quantitative fracture data that can be used directly for the numerical analysis. Second is that the system is able to reduce the required time and cost for the fracture investigation work.

In the present paper, the conceptual background and detailed description of the system are presented. Finally, the perspective that how the system should be utilized in the engineering practice or should be better improved is described.