

(1)画像解析による岩盤評価システムの研究

(株)熊谷組 正会員 ○ 村田 均

川越 健

岩井孝幸

正会員 御手洗良夫

Evaluation System of Rock Mass using Image Processing Analysis

Hitoshi Murata , Takeshi Kawagoe , Kumagai Gumi Co., Ltd.

Takayuki Iwai , Yoshio Mitarashi, Kumagai Gumi Co., Ltd.

Abstract

To design rock structures reasonably, safety, it is very important to evaluate the properties of rock mass. As a matter of fact, it takes us a lot of time to observe the condition of rock mass under construction and an irregularity of evaluation is given rise to by difference of experience, geological knowledge and so on. In consideration of these problems, with the view of saving a labor and establishing quantitative evaluation method, the authors are going on developing the system which evaluates the rock mass using image processing analysis. In this paper, with respect to image processing analysis in our system, we propose an original analysis which extracts discontinuity traces, distinguishes weathering regions, and show that this is able to apply to the cutting face of tunnel. And further, it is known that the infrared image is effective measures in order to investigate the moisture condition on the cutting surface.

1. はじめに

トンネル掘削中の切羽観察は、切羽の安全性の確認、岩質・破碎の有無・割れ目特性・湧水状況等の把握および前方地質予測などのために行われている。しかし、その作業は施工上の時間的制約を受けたり、切羽スケッチ担当者の地質学的知識の不足や経験の差から評価の精度にばらつきが生じているのが現状である。これらに対する方策として、スチルビデオカメラによる切羽画像の撮影と迅速な画像解析をシステム化する手法が考えられる。スチルビデオカメラは、画像を直接デジタルデータとしてフロッピーディスクに記憶させるため、現像の必要がなく、データの画質・再現性・保存性に優れており、地質データベースに対しても適用できる。また、掘削壁面の水理情報やゆるみ状況を判断するために、近赤外線画像や熱画像の利用も有効な手段となる。

本研究の目的は、画像解析を用いた岩盤評価システムを構築し施工へ適用することにより、施工の省力化と岩盤の合理的な評価法を確立し、評価精度の大幅な向上を目指すことである。本報告では、システムの基礎となる不連続面抽出法と熱画像を割れ目系岩盤に適用する上での基本的な特性について述べる。

2. 岩盤評価システムの概要

山岳トンネルを対象とした基本的な岩盤評価システムの概要を示すと図-1のようになる。岩盤評価の基準となるものは、岩種、割れ目特性、風化による劣化度、湧水状況などであるが、システムにおいて、これらの各評価基準項目について、客観的に定量化しなければならない。切羽画像から地質情報、特に不連続面を抽出するために画像解析を用いる場合、一般的な手法¹⁾では画像全領域に一律な処理を施すため、必ずし

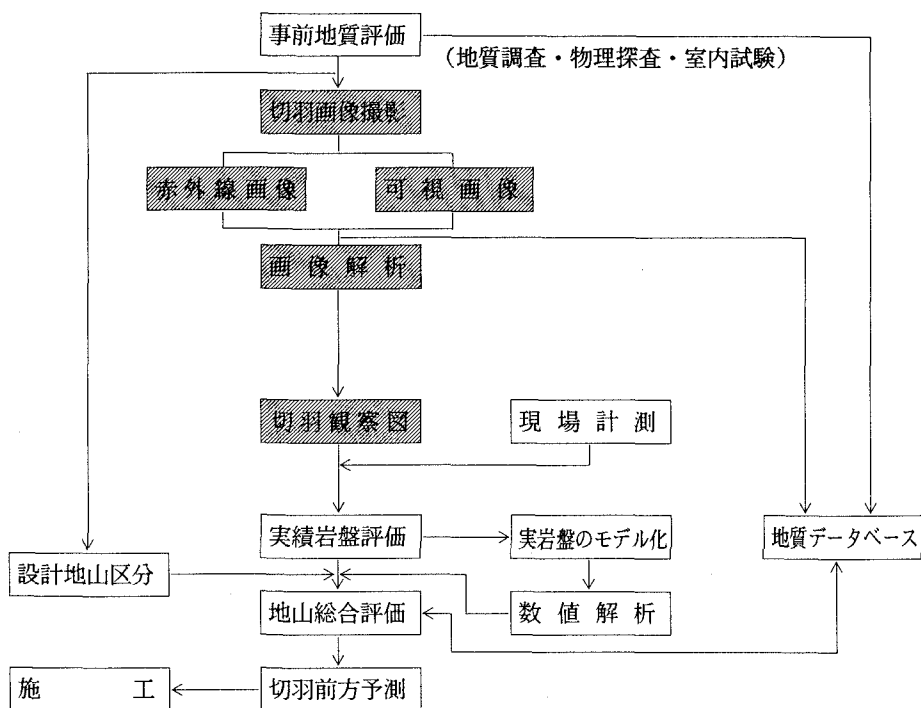


図-1 山岳トンネルを例にした岩盤評価システムの概要

も満足した結果が得られていない。したがって、割れ目周辺を選択して解析する手法や割れ目の方向性、連続性、間隔などを考慮した解析手法を組み込む必要がある。また、切羽観察図・地質展開図の作成だけでなく、事前調査・試験による地質データベースに各切羽の情報を随時蓄積してゆくことや、施工区間の地質構造の3次元的な認識・表示が望まれる。このような地山の総合評価から、切羽前方の地質予測や実岩盤のモデル化による変形挙動や浸透流などの数値解析への適用が可能となる。

3. 画像解析による岩盤不連続面の抽出

3.1 エッジ境界のベクトル化を用いた線画像抽出

切羽からの一般的な不連続面の抽出法は、カラー画像をR・G・Bの各成分に分け、256段階の濃度値を持ったモノクロ画像に変換して解析を行う。基本的な解析の流れとしては、①濃度ヒストグラムの平滑化（コントラストの強調）、②2次微分オペレータ（エッジ検出）、③2値化（不連続面の抽出）、④フィルタ処理（ノイズ除去）、⑤細線化（線幅を細める）、⑥抽出画像の線分認識である。このような手法は、鮮明な不連続面の抽出は可能であるが、輝度差の無い不明瞭なエッジとして検出されるものは、線分として抽出することが困難である。そこで図-2のように画像エッジ境界の濃度値をベクトル化し、エッジ境界とそ

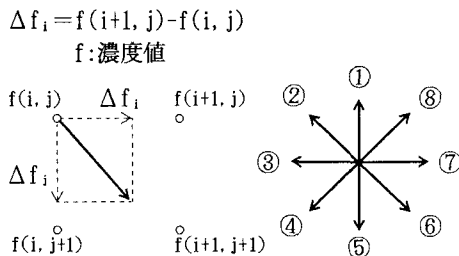


図-2 エッジ情報のベクトル化

の連続性を認識させる手法について試みた。手法としては、平滑化したモノクロ画像に対して、隣接した画素の濃度値の差分から各画素のベクトルを求め8方向に分類する。ここで、エッジ境界の信頼性を持たせるために、ヒストグラムの分布状況から閾値以下の大きさのベクトルはノイズとして除去する。この段階で、エッジ境界の画素が認識される。次に、エッジ境界線分が連続する場合には、エッジ境界ベクトルとはほぼ直交方向に連続しているので、その方向に始点となるベクトルと同方向のベクトルの有無を探索することで連続性を認識させる。写真-1は、砂岩・頁岩の互層に方解石が脈状に介在する切羽であるが、見た目と異なり画像全体の輝度差が小さく亀裂の抽出が難しい例である。図-3は解析結果の出力図であるが、線分の連続性に欠ける部分も多少あるものの、全体として亀裂の抽出が良くできている。また、ベクトル化することにより、切羽観察図を作成する際の線分管理が容易に行える。

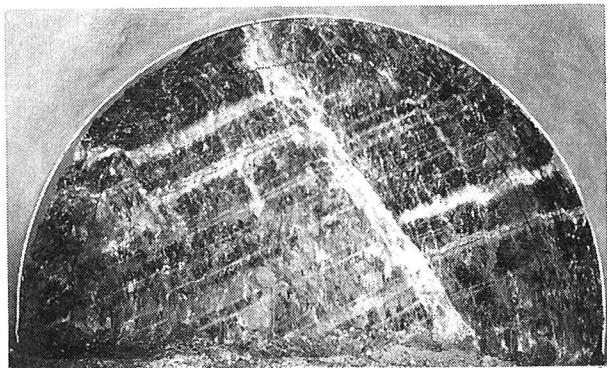


写真-1 切羽画像

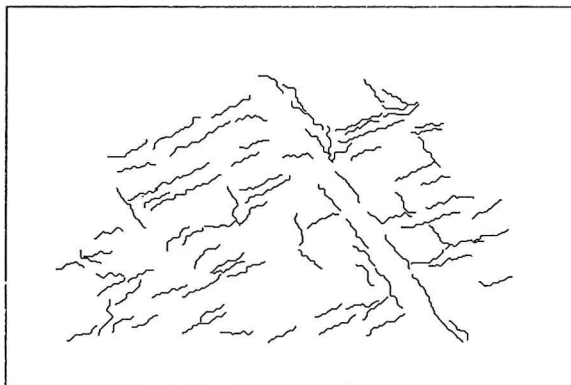


図-3 線分抽出結果

3.2 岩種識別解析

岩盤不連続面の線分としての認識の他に、切羽の画像から岩種や風化の程度を識別することが可能である。岩種や風化の境界が、線分として認識される場合は比較的容易である。しかし、層理面や風化域は、割れ目に比べて濃度差が明瞭に現れないことが多い。このような場合には、色相の違いを利用することが有効であり、以下のような色解析を行った。

解析は、カラー画像のR・G・Bの原色信号を、式(1)に示す標準テレビ信号に準拠した変換式²⁾により変換し、色差信号から彩度を求め、色相の分布状況を式(2)により0～360°の角度で表現する。

$$\begin{bmatrix} Y \\ R-Y \\ B-Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.59 & 0.11 \\ 0.70 & -0.59 & -0.11 \\ -0.30 & -0.59 & 0.89 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

Y: 明るさを表現する輝度信号

R-Y, B-Y: 色成分を表現する色差信号

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R-Y}{B-Y} \quad \dots (2)$$

さらに、一般的な切羽の原画像では、色差が現れにくいいため各画素の特徴色で表現する。特徴色とは、表現される最大彩度の色のことであり、暗く色として識別しにくくとも、その画素の持っている色ベクトルの最大値のものと置換して表現することにより、人間の視覚により直観的にわかり易い表現になる。ただしこの結果は、撮影条件(光源、距離など)により著しく左右される。今回の目的は、岩種や風化度の識別を容



写真-2 切羽画像

易にすることであるので、相対値に着目して解析を行った。写真-2の切羽は、砂岩優勢の砂岩・頁岩の互層であるが、下部は風化により酸化され茶褐色を呈しており上部と風化度が異なっている。この画像を色解析して、 2×2 画素の平均の特徴色で表した結果が図-4である。図から色相の違いが明瞭に現れており、色解析が岩種や風化度の違いを識別するのに有効な手法であることがわかる。

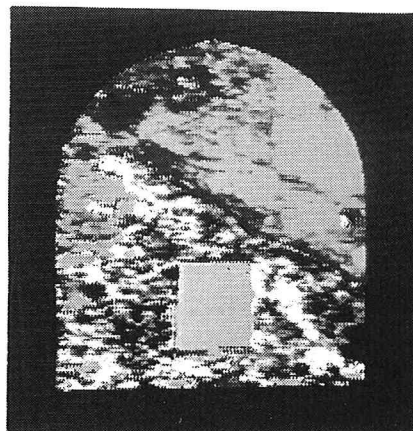


図-4 色解析結果

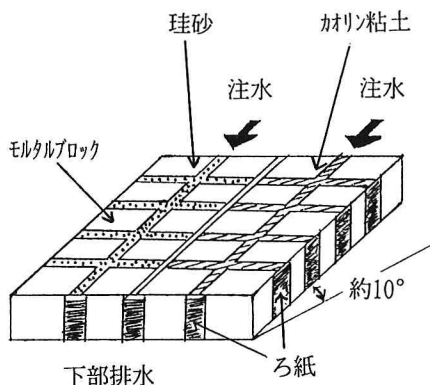


図-5 室内実験概要図

4. 赤外線画像による湧水状況についての基礎的特性

筆者らは、含水状態や風化度を把握する手段として近赤外線画像の有用性について検討している³⁾。今回は、切羽に見られる湧水や不連続面の浸透水の状況を赤外線画像によって把握するため、その基礎的な特性を室内実験により調べた。

4.1 室内実験概要

図-5のように縦、横10cm、厚さ5cmのモルタルブロックを並べ、その間(幅約1cm)に不連続面介在物を模擬して珪砂とカオリン粘土を湿潤させて充填し、全体を約 10° 傾けた状態で、割れ目上部から10cc/min程度の水道水を注水した。そして、浸透に伴う熱画像の変化をサーマルビデオ(日本アビオニクス社製:検知波長領域 $3.0 \sim 5.4 \mu\text{m}$)を用いて調べた。実験中の室温は $22.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、水温は $15.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、であった。

4.2 実験結果

写真-3は注水前の熱画像であるが、珪砂の部分は室温の影響で周辺のブロックとほぼ等温になっており、熱画像からは割れ目の存在が認められない。一方、カ

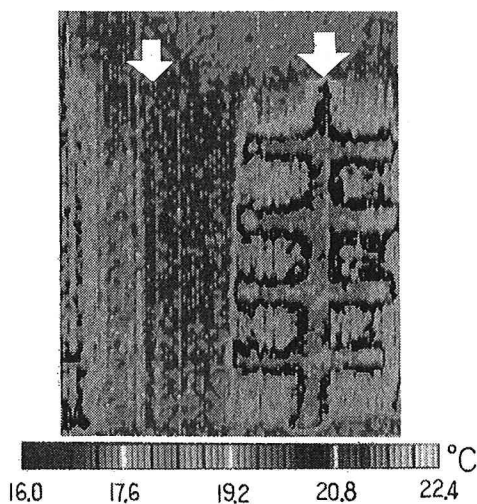
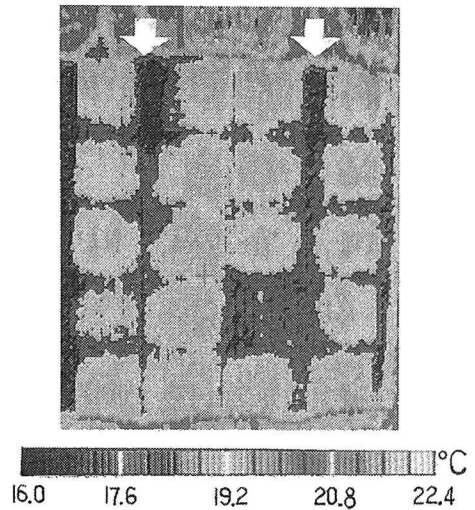


写真-3 注水前の熱画像

オリソ粘土を充填した部分は、含水比が高かったため周辺ブロックとの温度差があり、熱画像から割れ目の存在が認められる。これは、透水性の大きな砂と比較して保水性の良い粘性土では、外気の影響を受けにくくそれ自身の温度情報を維持していられるものと考えられる。写真－4は、注水後約7.5時間の熱画像である。透水性の違いから珪砂では砂中を、カオリン粘土ではその表面をそれぞれ水が流れている。まず、注水部近傍では、割れ目充填物にかかわらず、水の供給があるため温度は水温に近くなっている。割れ目内でも温度差が生じており、局所的な水の流れが起因しているものと考えられる。さらに、意図的に流れを変えてブロック表面を湿潤させた領域も、低い温度が検知されている。これらの熱画像特性の結果から、切羽表面へ常に地下水の供給があり、実験の注水部と同じ条件になる湧水地点の検知が可能である。また、浸透や湿潤によって周辺岩盤と割れ目内介在物との間に生じる温度差を利用して、可視画像では抽出できない不連続面を認識できる可能性がある。そのためサーマルビデオは、これらの温度情報を検知するための手段として有効であると考えられる。



写真－4 注水後の熱画像

5. まとめ

以上のような結果から、画像解析を用いて岩盤を評価するうえで以下のことが明らかになった。

- (1) トンネル切羽の岩盤不連続面の抽出法で、エッジ境界の濃度値をベクトル化する手法により輝度差の少ない画像についてもある程度抽出が可能であり、連続性の認識も信頼性がある。
- (2) ベクトル化することにより線分の管理が行い易くなり、切羽観察図作成の際の不連続線のトレースが容易にできる。
- (3) 色相を利用した色解析により、岩種や風化域の識別が可能である。
- (4) 熱画像を用いると湧水地点の検知だけでなく、割れ目充填物と周辺岩盤の温度差から不連続面の存在を認識できる可能性がある。

今回は、岩盤評価システム中の画像解析に焦点を当て、主にトンネル切羽に対する適用例を示した。ただし、現段階では全ての岩盤に対して満足のゆく結果が得られる保証はない。そのため亀裂の線分抽出については、対象岩盤の亀裂の卓越方向・密度・間隔などの統計的なデータを地質データベースを使用して、画像解析中へ組み込む手法を現在検討している。さらに、目視によって判断できても画像解析から判断できない情報に対しては、赤外線領域の情報や人工知能（AI）を利用した解析システムの構築が必要である。

最後に不連続面抽出解析および色解析に関しては、つくばソフトウェアエンジニアリング㈱に多大の御協力を得た。末筆ながら記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、田村秀行監修：コンピュータ画像処理入門，総研出版。
- 2) 例えば、カラーテレビジョン，日本放送協会出版。
- 3) 川越 健，村田 均，飯酒孟久夫，岩井孝幸：近赤外写真を用いた岩盤評価の検討，日本応用地質学会平成4年度研究発表会講演論文集，PP. 101-104，1992. 10.