

画像解析によるトンネル切羽の 定量評価システムの開発

戸邊 勇人^{1*}・宮嶋 保幸¹・白鷺 卓¹・山本 拓治²・川端 淳一¹

¹鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒187-0036 東京都調布市飛田給二丁目19-1)

²鹿島建設株式会社 土木管理本部 (〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-11)

*E-mail: tobeh @kajima.com

山岳トンネル工事で適切な施工を行うためには、岩盤強度、風化変質程度とともに、割目の分布や間隔の情報を迅速かつ正確に評価することが重要である。現在、一般的に行われている切羽評価は、目視観察を中心としているため、結果に個人差が生じることがある。この解消のため、近年、レーザ測量や写真測量等の定量的な評価法が開発されてきているが、これらの手法は、正確な評価を行える反面、解析に時間を要するため迅速な評価を行いにくい。これらのことから、簡便かつ迅速に岩盤の割目定量評価を行うための手法として、画像解析による割目の定量評価システムを開発した。このシステムは、切羽を複数の領域に区切り、領域内の割目方向と間隔を数値的に読み取るものであり、解析時間は1分/切羽程度である。

Key Words : *image analysis, tunneling, crack, quantitative method*

1. はじめに

山岳トンネルの工事において適切な施工を行うためには、正確かつ迅速な切羽評価が重要である。従来の切羽評価では、岩盤の強度、風化変質の程度、主要割目の配置（方向や間隔）の要素を一定の基準に則り点数化するものの、観察者の違いによる個人差（ばらつき）が生じやすい。この個人差を解消するためには、観察者の目視だけによらない定量的な解析法の開発が必要である。

切羽評価の要素のうち、岩盤の強度と風化変質の程度については、近年の技術により簡便な定量解析が可能になってきている。すなわち、岩盤の強度については、点載荷試験などの原位置試験により定量測定が可能である。また、風化変質の程度については、色調分析とX線回折分析をあわせた解析により、定量的な測定が実現されている¹⁾。

これらに対し、割目の分布については、レーザ測量や写真測量による割目の走向傾斜の検出法が開発されている²⁾。しかしながら、これらの技術は、高精度を有するものの、計測や解析に要する時間の問題がある。すなわち、掘削作業を中断して計測を行うため、施工サイクルへの負担が大きくなる。また、この解析法では、測量により取得した切羽形状をもとに、割目の卓越方向を1筋

ごとに解析するため、数10分～数時間程度の解析時間を要し、原位置において割目の方向や間隔を個人差無く示す目的としては、やや過大なシステムとなっている。これらのことから、これまで筆者らは、施工サイクルへの負担がなく、切羽観察の個人差を解消することを主目的とした、切羽写真の画像解析による定量化手法の開発に取り組んできた。

画像処理による切羽の解析法としては、これまでも切羽写真の割目をフラクタル解析する方法が提案されている³⁾。この手法は、比較的短時間に切羽の割目配置を定量化できるが、現場作業者が直感的に把握しやすい手段としてフラクタル次元は、必ずしも適していなかった。

フラクタル次元以外の方法で、岩石内の割目や鉱物の並び方などの岩石組織を定量解析する方法としては、ほかに様々な方法が提案されており、それらの研究は、主に岩石学において行われてきた。その理由は、岩石の生成過程の推定を行う際に、割目（節理）の分布、鉱物の多寡、および鉱物結晶の配列などを解析⁴⁾するためである。岩石内の割目の分布は、たとえば長田ほか⁵⁾のようにレプリカフィルムを用いて数値解析する方法が挙げられる。鉱物の多寡や配列を解析する方法としては、たとえば画像処理によるモード測定⁶⁾、鉱物の3次元的な連結性の再現法⁷⁾、楕円近似による岩石組織定量化法⁸⁾などが挙げられ、これらのパラメータを比較した総合的な岩石組織の定量化の研究も行われている⁹⁾。



図-1 切羽写真から割目を抽出

こうした数多くの既往研究において開発・提案された定量化手法は、岩石の不均一性を捉えることについて、大きな成果を挙げている。しかしながら、本稿において最も重視すべき要素は、切羽において確認される割目の卓越する方向とその連続性である。これらの特性を定量化するためには、割目の配列方向とつながり方について、直感的に理解しやすい指標として把握できる数値解析法が必要であるが、既往研究における手法は、この目的には必ずしも適していなかった。そのため、切羽における割目の定量化解析法を、新たに開発する必要がある。

本稿では、パーコレーションの理論に基づいた、岩石内の鉱物の連結性を直接に定量化する方法を応用し¹⁰⁾、切羽の画像を回転させながら割目の連結性を比較することにより、割目の卓越方向を検出する手法を開発した。

開発にあたっては、通常の見視観察の道具のみを用い、また、現場作業者に理解しやすい結果が迅速に得られることを目標とした。この解析法を現地に適用した結果、約1分程度の時間で、割目の卓越方向や間隔を定量的に検出できた。本稿では、この手法の理論と実際の切羽画像への適用について報告する。

2. 割目の解析法

(1) 切羽画像からの割目抽出

岩盤内に存在する割目は、成因により節理・劈開・せん断面など、いくつかの種類に分類されるが、いずれも岩盤内の力学的な弱面であることに変わりなく、切羽評価では一括して扱われる。本稿でも成因を区別せず、力学的な弱面は一括して「割目」として扱う。

岩盤は、掘削により表面に露出すると、応力解放により力学的な弱面である割目を境界として分離しやすい。そのため、掘削直後の切羽では、割目面が凹凸をもった筋をなしている。この状態の切羽に照明を当てると、光が凸部で反射しやすく凹部で反射しにくいいため、割目は隣接するピクセルと大きく輝度の異なる筋として発現しやすい。

この性質を利用し、一枚の切羽写真の中を走査し、周囲のピクセルと相対的に輝度の変化するピクセルを白く、それ以外を黒く抽出すると、割目は白色の線状構造として抽出される(図-1)。こうして抽出した割目の画像について、卓越する方向と連続性を数値解析する。

撮影時には切羽から一定の距離で照明を当て、同一の絞り、感度、シャッター速度で撮影を行い、撮影条件の差異が割目の解析結果に影響を及ぼさないように努めた。また、照明の位置により輝度の変化の程度が変わるため、白色の壁に照明を照射して、切羽の中央と端部とで輝度の差を検出し、輝度の補正を行ったうえで割目の抽出を実施した。また、切羽写真は最低1mm間隔の割目を区別するため、1ピクセル $\leq$ 1mmとなるよう解像度を設定した。図-1の切羽では幅約15mであったため、横に0.5mずつ余裕を設け、解像度は1600ピクセルとした。

(2) 割目の連結率の計算

2値化した画像から割目の配置を定量的に抽出するには、まず、画像内の多数の割目から主要な割目を一定の基準で選別するアルゴリズムを構築する必要がある。このアルゴリズムは、目視観察と整合性を保つため、目視観察の手順に可能な限り沿う方法となるように留意した。

目視観察において最初に観察者が行うことは、まず切羽全体を観察し、連続性の高い割目を見出すことである。その後、観察者は観察範囲を狭め、連続性の低い割目の多寡や、その間隔を目視で読み取る。最後に、割目の位置をスケッチし、目測の間隔とともに切羽観察簿に記録する。

この目視観察の手順を定量化するために必要なパラメータを以下に定義する。すなわち、目視では割目の連続性を判断しているため、最初にこのパラメータを定量化する必要がある。さらに、観察者は目視の範囲を変えながら観察を行っているため、観察範囲も定量化する必要がある。そこで、割目の連続性の高低を定量的に示す数値を「連結率」、観察する範囲を「観察域」とする。

このように定義すると、目視観察において切羽を広い範囲で観察した後に観察の範囲を狭める作業は、割目の定量化解析では、画像中の観察域を変化させながら連結率を計算するアルゴリズムに置き換えることができる。このアルゴリズムについて、以下に詳しく述べる。

解析手法の説明の簡単のため、1辺20ピクセルの割目画像を用いる(図-2 (1))。この画像では、割目は白のピクセルとして示されている。画像全体を把握するために、観察域を画像全体(=20ピクセル)とした場合、上端から下端まで連続した割目が存在していない。このことは、目視観察に置き換えれば、20ピクセル以上の長さで連続している割目はないと判断する行為と同等である。

次に、目視観察で観察範囲を狭める作業と同様に、

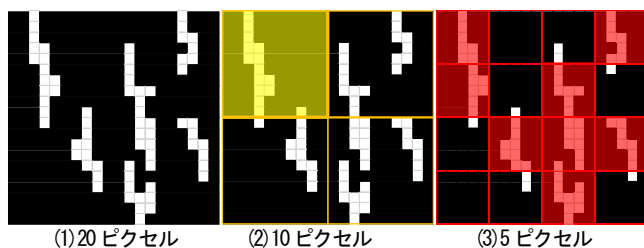


図-2 連結率の計算法

画像を1辺10ピクセルに分割して観察域を小さくしてみる。すると、4つの枠のうち黄色で網掛けをした1つの枠内にのみ、枠の上下両端に連続した割目が存在する（図-2 (2)）。このとき、当該画像において、1筋以上の割目が10ピクセル以上の長さで連続している割合は $1/4=0.25$ と近似的に見なすことができる。同様に、画像を5ピクセルに分割した場合には、16枠中、赤色で網掛けをした8枠において、上下端に連続した割目が確認されるため、 $8/16=0.5$ の割合で割目が連続していると見なせる（図-2 (3)）。このとき、割目の連続の割合を「連結率」、画像の分割の大きさを「観察域」とすると、観察域20ピクセルの連結率=0、観察域10ピクセルの連結率=0.25、観察域5ピクセルの連結率=0.5と定量化できる。連結率は、1つの割目が長く連続しているほど、また、短い割目でも同様の方向を示す割目が多く内在されているほど高い値を示す。

このように連結率と観察域を導入することで、割目の連続する長さと、類似する方向を示す割目の多寡を定量化できる。また、定量化により、異なる切羽間の割目の連続性が比較できる。たとえば、同じ観察域のときに、切羽Aの連結率が0.5で、切羽Bの連結率が0.25であった場合、切羽Aにおける割目の連続性はBの2倍とみなせる。

3. 連結率の算出アルゴリズムの確認とRCT値の算出

連結率は、上下方向に割目の繋がり方を判断して算出するため、与えられた画像が同じであっても、画像の向きによって異なる連結率が算出される。すなわち、連続性・間隔ともに同等で、方向のみ異なる割目画像を解析すると、画像内の割目の多くが上下方向を向いている場合に、最大の連結率が算出される。

この方向による連結率の差を利用すると、切羽画像における割目の卓越方向を検出できる。すなわち、切羽画像を回転しながら連結率を計算したとき、切羽内の割目が最も上下方向を示したときの切羽画像が、最も高い連結率を示すと考えられる。

このことを実際の解析プログラムで定量的に検出可能であるかを確認するため、 500×500 ピクセルの大きさの

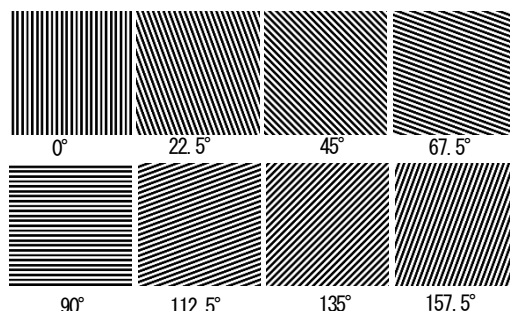


図-3 人工割目画像。図の下に数字は回転角を示す

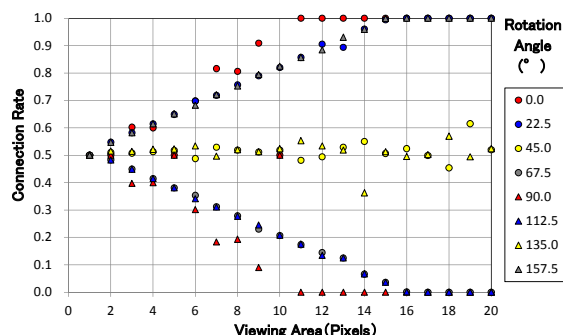


図-4 人工割目の連結率算出結果

画像に、幅10ピクセル、間隔10ピクセルの縞状の人工割目を作成した。そして、この画像を左回転させながら（図-3）、前述のアルゴリズムに基づいて、各々の連結率を算出した。

その結果は図-4に示すとおりであり、回転角 0° では、観察域の増大とともに連結率が増加し、観察域11ピクセルで連結率1に収束した。回転角 22.5° も、回転角 0° と同様の傾向を示したが、回転角 0° に比べると連結率が小さく、連結率1への収束も回転角 0° より大きい領域（16ピクセル）となった。回転角 45° の連結率はおおむね0.5であった。回転角 67.5° では、回転角 22.5° と対照的に、観察域増大とともに連結率が減少し、16ピクセルで連結率0に収束した。回転角 90° も同様の傾向で全体的に最小の連結率が示された。 90° 以上の回転角では、 112.5° と 67.5° 、 135° と 45° 、 157.5° と 22.5° で、それぞれ同様の傾向を示した。

連結率は上下の繋がりを調べるアルゴリズムによって算出するため、回転角 0° の画像の連結率が、全体的に高い傾向を示すことは当然であるが、アルゴリズムに基づいて作成したプログラムの実行により、そのことを確認することができた。

つぎに、回転角間で連結率を数値的に比較するために、連結率の合計値を算出する。合計値は、連結率を実測値から多項式近似によって数式化し、その定積分から算出する。

説明を簡単にするため、図-3の回転角 0° の人工割目を用い、合計値の算出法を例示する。前述のように、連結率は、観察域の大きさによって変化するため、観察域

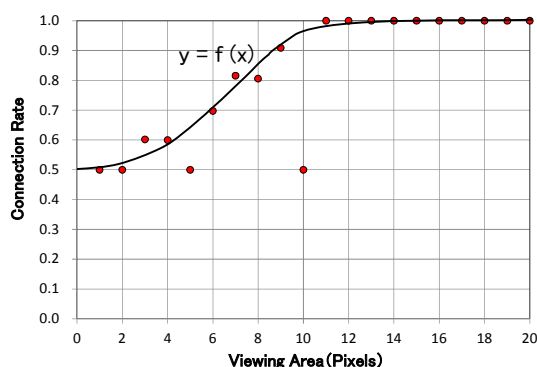


図-5 連結率の近似式化

を独立変数 x ，連結率を従属変数 y として多項式近似するとすると，下の式(1)が得られる（図-5）．

$$y = f(x) = a_1 x^n + a_2 x^{n-1} + \dots + a_{n+1} \quad (1)$$

数式化により，回転角の異なる画像間で，連結率の合計値を定量的に比較できる．すなわち，上述の方法で連結率の近似式を導き，その定積分を求めると，観察域0から観察域 k までの間の実測の連結率を総合計した値と近似的にみなせる．本稿ではこの積分値を「積分連結率」と呼ぶ．この積分連結率を下の式(2)に示す．

$$\int_0^k f(x) dx = \frac{a_1}{n+1} k^{n+1} + \frac{a_2}{n} k^n + \dots + a_{n+1} k \quad (2)$$

観察域 k を一定にしつつ同一の画像を回転しながら式(2)を計算した場合，画像中に含まれる割目が最も多く上下方向を向いたとき，式(2)の結果は最大値を取ると考えられる．実際に図-3の人工割目画像を $k=20$ に固定して積分連結率を比較した結果，回転角 0° で最大となった．そのため，切羽内の割目の卓越方向を定量的に検出するためには，最大の積分連結率を示す画像の回転角を求めればよいと判断される．この積分連結率を，以後RCT値と呼ぶ．

4. 切羽画像の割目卓越方向の検出

図-6は，図-1に示した切羽写真の割目卓越方向を解析したものである．切羽の解析結果は，実測で約100cmとなる間隔にメッシュを区切り，そのメッシュの大きさに区切った画像を回転させながら，最大のRCT値を示した回転角を，割目の卓越方向としてメッシュ内の赤線で示した．また，メッシュ内の赤い線（以降「ケバ」と呼ぶ）の長さは，RCT値の相対的な大きさを表す．そのため，ほかのメッシュに比べて長いケバを示すメッシュは，相対的に高い連続性をもつ割目を内在しているといえる．

図-6には，割目の解析画像の中央付近から代表的なメッシュを抜き出し拡大したものと，切羽写真からそのメッシュに対応する位置の拡大画像を抜き出したものもあわせて示した．この両者を比較すると，切羽の割目が白い点として抽出できていることが確認できる．また，メッシュ内に示されているケバが，割目の卓越する方向（水平やや右上がり方向）を捉えていることも確認できる．これらのことから，本稿の方法により，主要割目の卓越方向は，問題なく抽出できることがわかった．

5. 割目間隔の検出

次に，切羽写真を2値化した画像から，割目の間隔を算出する方法を述べる．目視観察において割目の間隔を読み取る際には，観察する領域（＝観察域）を決めた後，主要な割目に直交する向きに割目の本数を読み取りながら間隔を判断する．したがって，本稿においても，この目視観察と同様の手順となるようにアルゴリズムを構築した．すなわち，主要な割目の向きは，前述の割目の卓越方向と同様であるため，割目の卓越方向に直交する向きに，観察域内に含まれる割目の本数を読み取った．これにより，目視観察と整合的な方法で定量的な割目間隔の算出が可能と考えた．

その具体的な検出方法は図-7に示すとおりである．図-7では説明を簡単にするため，割目の卓越方向が上下方向であり，観察域の大きさが 20×20 ピクセルである画像を例に用いた．この画像の中央付近を横に走査すると，割目を4回横断する．このとき，この観察域における割目間隔は（メッシュ間隔）/（横断回数） $= 20/4 = 5$ ピクセルと算出できる．

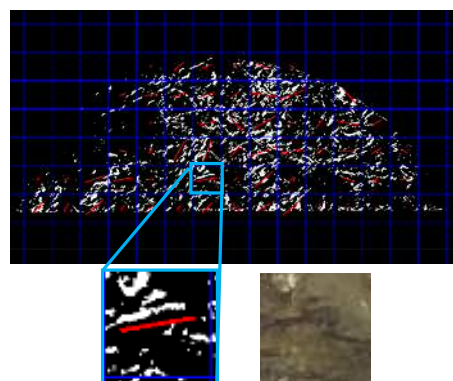


図-6 実際の切羽の卓越方向解析例

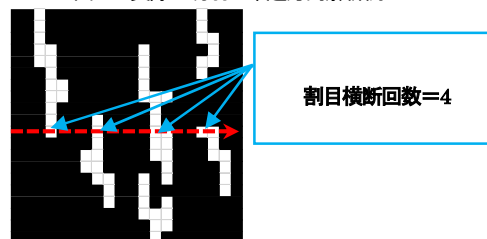


図-7 割目間隔の算出法

割目間隔を目視観察で判断する際には、観察者は最も割目間隔が狭いところに着目するため、本稿の画像解析法においても、目視観察と同様に、観察域内で最小となる割目間隔を代表値とすることにした。このことを図-7を用いて説明すると、この観察域を横方向に走査する場合、割目の横断回数は常に4ではなく、上端付近で2、下端付近で1になる。一方、目視観察で割目間隔を判断する際には、最も割目が集中している中央付近に注目するため、図-7であれば着目点は横断回数最大となるところが注目すべき箇所となる。そのため、本稿でも、観察域内で最大の横断回数を示す箇所を採用し、その最大横断回数で観察域を割った値（＝最小値）を、その観察域の割目間隔の代表値とした。

6. メッシュ幅の設定方法

前述の方法で実際の切羽の画像を解析する際には、解析のメッシュ幅を適切に設定する必要がある。しかしながら、割目の卓越方向を測定する場合と、割目の間隔を測定する場合とでは、適切なメッシュ幅が異なるものと考えられる。そこで下記に、適切なメッシュ間隔を決定する方法について検討する。

まず、割目の卓越方向の解析に適したメッシュを設定する手順については、基本的には小さいメッシュ幅であるほど定量解析に適していると考えられる。この理由は、切羽の中には、あらゆる長さの割目が混在していると考えられるため、割目の長さに比べて大きすぎるメッシュ幅を設定すると、短い割目の連結率がほかの長い割目に打ち消されてしまい、短い割目の卓越方向が検出されにくくなると考えられるためである。

その一方で、メッシュ幅が小さすぎる場合には、割目の卓越方向や連結率が正しく算出されないと考えられる。極端な例として、メッシュ幅＝1ピクセルとした場合には、割目の卓越方向やRCT値が計測できない。また、メッシュ幅＝2ピクセルとした場合でも、卓越方向は左右、上下、左斜、右斜の4方向しか検出できない。したがって、適切なメッシュを選択するには、割目の特徴を捉えることができるメッシュの中で、最小のものを採用することが適切と考えられる。

上記のことを踏まえ、図-1に示した切羽写真を用い、400,200,100,50,25,20,15,10,5ピクセルの各メッシュで、RCT値を計算した例を表-1に示す。この結果は、解析で求められた全切羽のRCT値の合計値を100%として、それぞれの卓越方向に占めるRCT値の割合を百分率で示したものである。すなわち、このRCT値が最大となる方向は、その切羽で最も卓越する割目が多い方向である。また、最大値と最小値の差が小さい場合には、そのメッシュは

表-1 メッシュごとのRCT値の割合

		Size of Mesh(pixel)								
		5	10	15	20	25	50	100	200	400
Angle of Principal Crack(°)	0	5.9	6.2	6.1	6.4	6.8	6.1	6.7	6.1	6.3
	10	5.9	5.9	5.8	5.8	6.0	6.1	5.7	5.4	5.5
	20	5.7	5.7	5.7	5.5	5.4	5.3	4.8	4.8	5.1
	30	5.4	5.3	5.3	5.0	4.8	4.4	4.7	4.9	5.0
	40	5.6	5.0	4.9	4.7	4.6	4.2	4.7	5.0	4.0
	50	5.2	5.0	4.7	4.5	4.2	4.2	4.1	4.5	3.9
	60	5.4	4.7	4.7	4.4	4.1	4.0	3.8	4.8	4.3
	70	5.3	5.0	4.7	4.2	4.2	3.7	3.8	4.1	4.2
	80	5.2	4.8	4.7	4.4	4.2	4.1	4.0	3.8	3.6
	90	5.2	4.9	4.7	4.5	4.7	4.1	4.2	4.3	4.1
	100	5.2	5.2	5.1	5.0	5.0	4.4	4.9	6.6	4.7
	110	5.5	5.5	5.7	5.4	5.6	5.6	5.8	5.5	5.1
	120	5.4	5.7	6.0	5.7	5.8	6.2	5.9	6.2	6.1
	130	5.8	5.8	6.2	6.5	6.5	6.7	7.2	6.5	6.7
	140	5.6	6.2	6.4	7.0	7.1	7.2	7.2	7.1	7.4
	150	5.9	6.1	6.5	7.2	7.1	8.0	8.1	7.1	8.1
	160	5.8	6.5	6.5	7.1	7.2	8.1	7.4	6.8	8.1
170	5.8	6.3	6.3	6.8	6.9	7.5	7.0	6.7	7.6	
Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100
Max		5.9	6.5	6.5	7.2	7.2	8.1	8.1	7.1	8.1
Min		5.2	4.7	4.7	4.2	4.1	3.7	3.8	3.8	3.6
Max-Min		0.7	1.7	1.8	3.0	3.1	4.4	4.3	3.3	4.5

卓越方向を検出できないといえる。このことを利用して最適なメッシュ幅を決定する。

表-1に示したように、卓越方向に占めるRCT値の割合をメッシュ間で比較すると、小さいメッシュでは卓越方向間の差が小さいことがわかった。すなわち、メッシュ幅5ピクセル、10ピクセル、15ピクセルでは、最大値と最小値の差がそれぞれ0.7%、1.7%、2.0%であり、他のメッシュ幅に比べると小さい差となった。一方、20、25ピクセルでの最小最大値の差は、おおむね3%程度で50ピクセル以上では3～4%前後を示していた。このことから、20ピクセル以上のメッシュ幅では、割目の連続性の把握に大きな差がなくなっていると判断される。前述のように、短い割目の取りこぼしを防ぐにはメッシュ幅を小さくすることが適切であるため、20ピクセルをメッシュ幅に採用することが適切と考えられる。

次に、割目間隔を測定する場合について考える。この場合には、把握する必要のある最大の割目間隔によって、採用すべきメッシュ幅が決定される。すなわち、100cm以上の割目間隔を計測する場合、メッシュ幅が100cmないと100cm以上の割目幅を把握できない。切羽観察記録簿には様々な様式があるが、広く使われているNEXCO様式、国土交通省様式では100cm以上の割目間隔まで把握する必要があるとされているため、本稿においても割目間隔を計測する際のメッシュは100cm幅を採用する。本稿では1ピクセル≒1cmの解像度で解析を行うため、メッシュ幅も100ピクセルとした。

7. まとめ・検証と課題一

現場の切羽（図-1）を解析した結果を検証するため、同一切羽のスケッチと比較する（図-8）。図中の薄青線は、解析結果から判断した主要割目の位置であり、これをスケッチと比較すると、完全ではないものの、主要割目の方向と切羽内の相対的な位置について一致が認めら

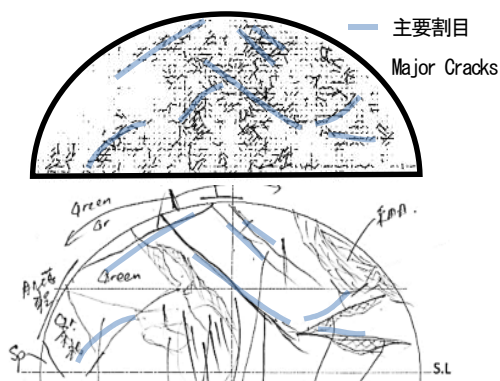


図-8 切羽写真（図-1）の割目卓越方向検出結果

れた。そのため、主要割目の解析結果をスケッチの補正や代替に用いることも十分可能と考えられる。なお、この解析と割目間隔の算出に要した時間は1分未満だった。

次に、画像解析による割目間隔の算出結果を表-2に示す。これによると、目視観察による割目間隔の測定結果と一致する切羽が多いが、No.633、No.647切羽などの一部に、目視結果＝4（間隔：20～5cm）より広い結果＝3（間隔：50～20cm）を示すものがあつた。

この差の原因は、割目の算出方法によると考えられる。すなわち、目視観察では細かい割目に着目するとき、観察範囲も狭めて目測するが、画像解析では固定（メッシュと同じく100ピクセル）である。

そのため、切羽に細かい割目が集中している小さい部分があつたとしても、画像解析ではメッシュが固定であるため、間隔値はほかの割目との平均値となる。このため、目視観察に比べると画像解析では、割目間隔が大きい結果になりやすいと考えられる。この課題の解決については、割目間隔の計測ではメッシュ幅を100ピクセルだけとせず、小さいメッシュの計算結果もあわせて解析する方法が必要になると考えられる。

切羽の割目の特徴を画像解析によって定量的に示す方法には、ここに示した以外にも課題が残されていると考えられる。そのため、今後も研究開発を継続し、山岳トンネル工事の適切な施工に寄与する必要がある。

表-2 切羽での割目間隔測定結果

Face No.	Observation			Image Analysis		
	Left	Center	Right	Left	Center	Right
629	3	4	3	3	4	3
633	3	4	3	3	3	3
637	3	4	3	3	4	3
641	4	4	3	4	4	3
647	3	4	3	3	3	3
651	4	4	4	4	4	4
656	4	4	4	4	4	4
660	4	4	4	4	4	4
664	3	4	4	3	4	4

Faces Measured at Wider Interval in Image Analysis

Index of Crack Interval	1	2	3	4	5
Interval (cm)	≥ 100	100 ~ 50	50 ~ 20	20 ~ 5	< 5

Legend

参考文献

- 戸邊勇人ほか;山岳トンネル切羽の風化変質判定システムの開発ー切羽観察での適用例ー, 土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), Vol.69, 2014, pp.VI-043.
- 石濱茂崇ほか;切羽における不連続面の3次元計測システムの開発と現場適用事例, 応用地質, Vol.56, No.6, 2016, pp.316-324.
- 宇田川義夫;トンネル切羽画像のフラクタル解析による地質評価手法の開発, 応用地質, Vol.48, No.3, 2007, pp.116-125.
- 池田進ほか;岩石組織の画像解析ーその自動化における現状と問題点ー鉱物学雑誌, 第26巻, 第4号, 1997, pp.18-196.
- 長田昌彦ほか;レプリカフィルムからのクラック抽出方法とその画像解析方法の検討, 応用地質, Vol.40, No.1, 1999, pp.36-46.
- 西本昌司;画像処理ソフト"Adobe Photoshop™"を用いた花崗岩質岩石のモード測定, 岩鉱, Vol.91, 1995, pp.235-241.
- Bryon, D. N., et al.; The interpretation of granitic textures from serial thin sectioning, image analysis and three-dimensional reconstruction, Mineralogical Magazine 95, 1995, pp.203-211.
- 中野司ほか;"GRAIN"と"EDGE"ー粒子画像解析のためのソフトウェアー, 情報地質, 1988, Vol.13, pp.93-117.
- Heilbronner, R. and Keulen, N.; Grain size and grain shape analysis of fault rocks, Tectonophysics 427, 2006, pp.199-216.
- 戸邊勇人, 千木良雅弘;花崗岩類における鉱物のつながり方の定量的測定法とその適用例, 日本応用地質学会研究発表会講演論文集, 2006, pp.291-294.

DEVELOPMENT OF A QUANTITATIVE JUDGMENT SYSTEM FOR TUNNELING FACE, APPLYING IMAGE ANALYSIS

Hayato TOBE, Yasuyuki MIYAJIMA, Suguru SHIRASAGI, Takuji YAMAMOTO and Jun-ichi KAWABATA

Proper construction of tunnels requires accurate determination of the distribution of cracks, rock strength and weathering grade. However, since such determination is usually based on visual inspection of the tunnel face, it is often inaccurate. Although quantitative evaluation methods such as laser measurement have been applied to solve this problem, they are time consuming and cannot always provide quick determination. The authors have therefore developed based on image analysis a simple and rapid quantitative analysis method to determine crack distribution and interval without dispersion. The method were able to obtain results in about one minute at a tunneling site.