切羽写真の画像解析による亀裂分布の定量的解析と現場への適用

鹿島建設(株)　正会員　○戸邉勇人　宮嶋保幸　山本拓治

１．はじめに

山岳トンネル工事において適切かつ安全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．目視による切羽評価では，岩盤強度・風化変質程度・亀裂性状の各要素を点数化する際に，観察者による差が発生しやすい．そのため，個人差を低減できる定量的解析法の確立が望まれている．

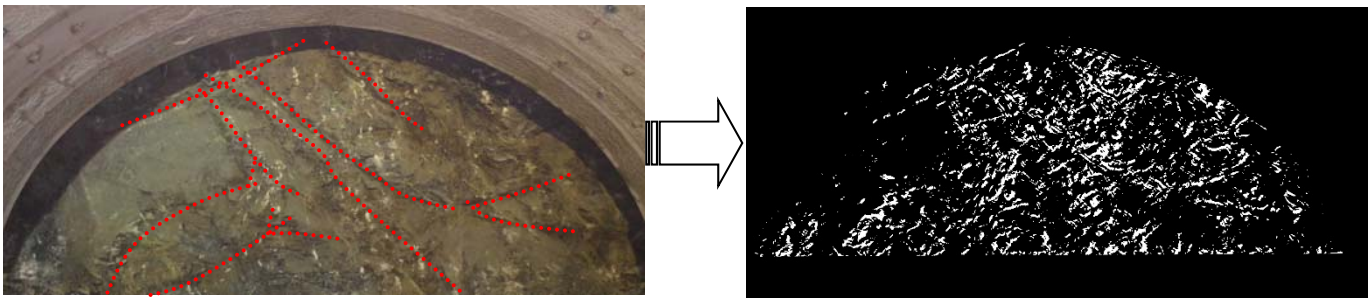
切羽評価のうち岩盤強度と風化変質程度については，打球探査と色調分析による迅速な評価法が実現されてきている[1)]．一方，亀裂についても，既に筆者らは画像処理による定量解析法を開発したが，亀裂の間隔を算出する機能が十分とはいえなかった[2)]．

そのため，既開発の画像処理解析法[2)]に，新たに亀裂間隔の計測と，切羽面における岩片の剥離予想箇所の検出の２つの機能を追加した．本稿では，それらの概要と実際の切羽での解析事例について説明する．

２．亀裂の抽出と卓越方向の解析法

岩盤には亀裂が内在しており，力学的な弱面となっている．そのため，トンネル掘削時には亀裂面によって岩盤が分離しやすく，掘削直後の切羽では亀裂面が凹凸を有する筋として現れやすい．切羽に照明を当てると，凹部と凸部で反射の程度に差が生じるため，写真には亀裂が輝度の差の大きい部分として発現される．

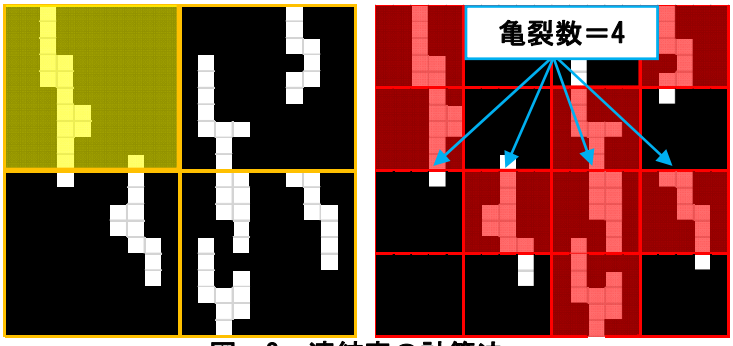
この性質を利用し，輝度の大きく変化する部分を白い画素，それ以外を黒い画素に区分すると，切羽内の亀裂は白色の線状構造の画像として抽出される（**図－1**）．画像の解像度は，切羽評価の点数化の都合上，亀裂の間隔を 5cm より細かく検出する必要があることから，本稿では 1 ピクセル≒1cm とした．



図－1　切羽写真（左）から亀裂を抽出した画像（右）
赤点線は剥離の可能性のある要注意亀裂を地質技術者の目視により抽出したもの

切羽内の主な亀裂を抽出するために，亀裂画像に対し亀裂の連結率を計算する．連結率は，亀裂の連続性を数値化した指標である[2)]．

１辺 20 ピクセルの亀裂画像を例として連結率の説明を行う（**図－2**）．この画像を１辺 10 ピクセルの画像に分割してみると，4 つの分割枠のうち１つの枠（黄網掛）にのみ，枠の上下両端に連続した亀裂が存在する（**図－2 左**）．このとき，上下方向に 10 ピクセル長で亀裂が連結している割合は 1/4 とみなせる．同様に，画像を 5 ピクセルに分割した場合には，16 枠中 8 枠（赤網掛），すなわち 8/16＝1/2 の割合で亀裂が連結しているとみなせる（**同図右**）．上下方向に連続する亀裂の割合を「連結率」と定義すると，10 ピクセルの連結率＝0.25，5 ピクセルの連結率＝0.5 と数値化できる．

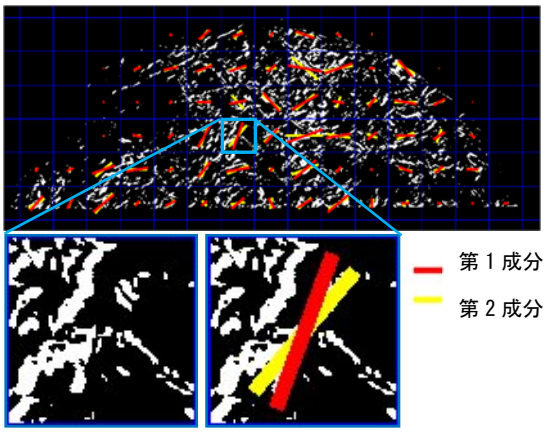


図－2　連結率の計算法
左：10 ピクセル　右：5 ピクセルで画像を分割

キーワード　切羽評価，定量化，画像解析，亀裂性状，切羽からの剥離
連絡先　〒182-0036　東京都調布市飛田給 2-19-1　鹿島建設(株)技術研究所　TEL042-489-6594

亀裂の連続性の数値化により，切羽内の主な亀裂の方向（亀裂卓越方向）が検出可能になる．すなわち，画像を回転させながら連結率を計測すると，主な亀裂の方向が上下方向になったときに連結率の値も最大になると考えられる．このとき切羽画像の回転角を反転させた方向が亀裂の卓越方向として検出される．

この方法により**図－1** に示す切羽写真から亀裂の卓越方向を検出した（**図－3**）．卓越方向は，最大の連結率を示す方向を第 1 成分，2 番目に大きい連結率を示す方向を第 2 成分として検出した．その結果，メッシュ内の主な亀裂の方向をよく反映していることがわかった．

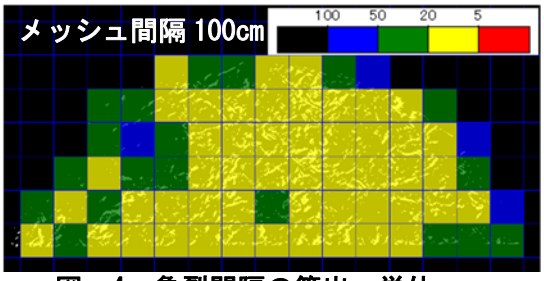


図－3　亀裂卓越方向の検出

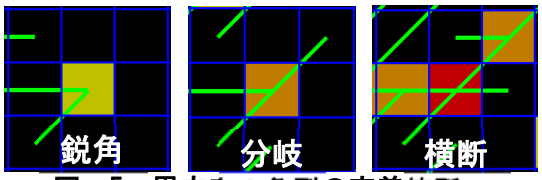
３．亀裂の間隔の算出結果

亀裂の間隔は，卓越方向第 1 成分に対して直角となる向きに亀裂を数え，メッシュ間隔を亀裂数で割って算出する．**図－2 右**を例として算出方法を説明する．この画像は幅 20 ピクセルで，中央付近を横に走査すると亀裂を 4 本横断する．このとき，亀裂間隔は（メッシュ間隔）／（亀裂数）＝20/4＝5 と算出できる．

この方法により**図－1** の切羽を解析すると，亀裂間隔は主に 5～20cm であり，左上でやや広い結果となった（**図－4**）．これは地質技術者による切羽観察結果とほぼ一致した．本方法は，メッシュごとに亀裂間隔を算出できるため，目視による切羽観察法に比べて，より詳細かつ定量的な結果を得ることができた．



図－4　亀裂間隔の算出　単位：cm



図－5　異方向の亀裂の交差箇所

４．剥離予想箇所の検出結果

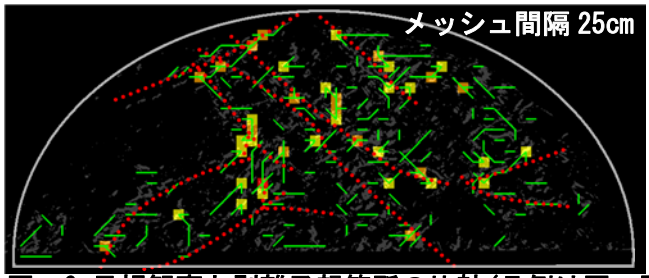
異なる方向をもつ亀裂が集中している箇所では，切羽から岩片が剥離しやすい．そのため，異方向の亀裂の集中箇所を検出することは，掘削作業の安全のために重要である．

本稿では，異方向の亀裂の集中箇所を以下の手順で検出した．まず，メッシュごとに連結率を算出し，最大値の 1/10 未満の値となるメッシュを棄却する．つぎに，隣接するメッシュ間で亀裂卓越方向を比較し，類似方向を示すメッシュ同士を連結する．そして，この連結線の交わるメッシュを異方向の亀裂の交差箇所とする（**図－5**）．一方，亀裂の集中する箇所は，亀裂間隔の小さいメッシュである．よって，この 2 つの条件を合わせたメッシュ，すなわち異方向の亀裂の交差箇所であり，かつ亀裂間隔の小さいメッシュが，切羽から剥離の発生しやすい「剥離予想箇所」として検出される．

目視により抽出した要注意亀裂の位置（**図－1 左**）と，前述の手法により検出した剥離予想箇所とを比較した結果を**図－6** に示す．この図によると，剥落予想箇所は要注意亀裂に近い位置に多く認められた．

５．おわりに

本解析法は，地質技術者と同様の判断を個人差なく実施できるため，切羽観察を補助するための有力な道具の一つになると考えている．今後は，既開発の風化変質判定システムとあわせ，切羽観察帳票の完全自動化に向けて，適用試験を進めていく所存である．



図－6 目視観察と剥離予想箇所の比較（凡例は図－5）

参考文献

１） 宮嶋ら：支保パターン選定に寄与する地山評価技術の開発と適用実績，トンネル工学研究発表会講演集, Vol.25,pp.1-9,2015

２） 戸邉ら：岩盤の亀裂分布の画像処理解析法，土木学会第 71 回年次学術講演集, III-170,2016