亀裂情報データベースシステムの構築とその適用

野口 義文**, 岩崎 浩**, 小池 克明***, 金子勝比古***

Construction of Fracture Database System and its Application to Rock Mass Characterization

Yoshifumi NOGUCHI**, Hiroshi IWASAKI**

Katsuaki KOIKE*** and Katsuhiko KANEKO***

Abstract : The mechanical and hydrological properties in a rock mass are strongly affected by the innumerable geological discontinuities on several scales including joints, faults, fissures. Calling such discontinuities fractures together, the fracture investigations are one of the most important means for the rock mass characterization. In general, only the directions (strike and dip) of fractures are considered in the engineering analysis of rock mass, although each fractures have their own mineralogical and geometrical properties, e.g., the degree of alteration, the geometrical shapes appearing on the rock surface, the roughness of fracture surface, the kinds of filling materials and so on. It is considered that those various qualities of fractures are closely associated with the heterogeneity and anisotropy of the mechanical and hydrological characteristics of rock mass. Therefore, each fracture must be investigated in detail from the viewpoint of mineralogy and engineering geology, and such vast quantity of investigation data must be systematically stored as a datafile and efficiently analyzed using a computer.

For this purpose, we have constructed a "Fracture Database System" which consists of the field investigation data for each fractures and retrieval system for multi-dimensional characteristics of fractures from the datafile. The system is applied to the results of about two thousands fracture measurements for 16 items in the two drifts of the Kamaishi mine associated with the granitic massif. By application of this database system, following results are obtained :

- (1) Though the lithology of the study area consists of a granodiorite called Kurihashi massif and a diorite called Ganidake massif, the fracture properties related to the mechanical condition for the fracture development, e.g., the direction, the geometrical shape, and the roughness of fracture surface are similar to each massif. On the other hand, the degree and color of alteration around fractures, the kind of materials with which the chink in fracture is filled are different from the two massifs according to their lithology.
- (2) The fractures whose width of alteration and width of filling materials are relatively large are developing at the rock mass in the drift sections with large amount of seepage. In addition, the appearance frequency of chlorite as a filling material tends to be higher than calcite in those sections.

Key Words : Fracture, Database system, Fracture investigation, Granite, Rock mass characterization, Kamaishi mine

* Geoinform-91 (つくば) で一部講演

** 日鉄鉱業(株)資源開発部 Mineral Exploration and Research Department, Nittetsu Mining Co. Ltd., Marunouchi 2-3-2, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan.

*** 熊本大学工学部材料開発工学科 Department of Materials Science and Resource Engineering, Faculty of Engineering, Kumamoto Univ., 2-39-1, Kurokami, Kumamoto 860, Japan

1. 緒 言

岩盤中には普遍的に裂カや断裂、節理などの不連続面(以下では、これらを亀裂あるいは亀裂群と総称する)が多数存在しており、これらが岩盤の力学的、水理学的性質に大きな影響を及ぼすことは周知のとおりである。このため、坑道壁面やボーリングコアあるいはボーリング孔の壁面などを利用して亀裂の調査が行われ、それをもとに亀裂

の分布状態に対する確率モデル化が試みられている（例えば、Priest and Hudson, 1981）。また、亀裂の分布特性を考慮して岩盤の力学的性質（例えば、金子ほか, 1987）や水理学的性質を明らかにする方法も研究されている（例えば、Oda *et al.*, 1987）。このような亀裂分布のモデルでは、亀裂群は同等の性質を有する面の集まりと仮定され、特にその数と方位が重視されている。しかしながら、亀裂群は場所によって出現頻度および方位が異なるとともに、生成時期、変質の程度、変質の幅、形状、透水性などの性質がそれぞれに異なる多様な亀裂の集合体である。この亀裂群の多様性は、地下空洞の建設に際して経験される岩盤物性の不均質性と密接に関係しているものと考えられる。したがって、このような亀裂の性質を把握し、岩盤評価に適用するためには、各亀裂について地質学、鉱物学、水理学、力学などの様々な観点から詳細な調査を行うとともに、それにより得られる多項目にわたる膨大な量のデータに対して系統的かつ効率的なデータ処理を行う分析手法が不可欠になる。最近、土質工学の分野で行われている地盤情報のデータベース化の試み（例えば、風間ほか, 1989）は、上記の問題の解決策として極めて有力な手法であると考えられる。すなわち、岩盤の亀裂情報についてもこのデータベースを用いた手法を応用すれば、岩盤亀裂の多様性を考慮した詳細な岩盤評価が可能になるものと期待される。

上記のような観点に立って、著者らは、亀裂情報のデータベースシステムの構築を試みた。すなわち、坑道壁面およびボーリング孔の壁面を対象に詳細な亀裂調査を行い、調査結果をデータファイル化するとともに、必要な情報、および複数の項目間の関係をパーソナルコンピュータ上で容易に検索、表示できるデータベースシステムを構築した。

本論文では、亀裂情報データベースの内容と検索プログラムの基本構造についてまず述べる。次に、岩手県釜石鉱山北部に位置する花崗岩体で実施した坑道壁面における亀裂調査の結果に、本システムを適用した例を紹介する。本システムにより亀裂群の種々の特徴を抽出し、特に岩盤の透水性と他の亀裂属性との関係に若干の検討を加え、岩盤物性の評価における本亀裂情報データベースの有用性を検証する。

2. 亀裂情報データベースシステムの構築

2.1 亀裂の調査項目とデータファイル化

通常、岩盤工学的な亀裂調査は坑道の壁面やボーリングコアの観察、あるいはボアホールテレビを用いてのボーリング孔壁面の観察によって行われ、亀裂の密度や方位分布が調査の主な対象となる場合が多く、種々のサイトにおける大量の亀裂データを系統的に収集した例は少ない。これに対して本研究では、亀裂の鉱物学的、水理学的、力学的

な属性の空間的分布の把握を目的とし、第1表に示すような多様な調査項目を定め、さらに個々の調査項目には ISRM 指針（岩の力学連合会, 1985）などを参考に第2表のような調査基準を設けた。なお、坑道とボーリング孔では観察される亀裂の規模と調査手法が異なることから、調査項目のうち亀裂の位置、亀裂の角度、条線の有無とその角度、亀裂のパターンの基準については第3表に示すように若干の違いがある。ここで、ボーリングの方向は一定ではないので、亀裂の3次元分布の把握のために、孔口の平面直角座標系X系における（X, Y）座標と標高および錐進方位をボーリング孔毎に記録している。なお、坑道においては亀裂からの湧水の程度および走査線（スキャンライン）との交差の状況（Priest and Hudson, 1981）も加えた。

上記の調査基準を用いて、各調査項目をコード化、あるいは数値化することによって亀裂情報のデータファイルを構築した。データファイルの構造を第1図に示す。図は坑道壁面における亀裂の場合である。ここで、第1表に示した調査項目は、亀裂の位置、走向、傾斜などのように数値で表される数値型項目と、端の形状、粗さ、変質の程度、充填鉱物の種類などのように亀裂の性質を記述した非数値型項目に分類できる（第4表）。数値型項目はそのまま数値型変数に変換できるが、非数値型項目については文字型変数になるような変換を行う必要がある。例えば、「変質の程度」については、第2表に示した判断にしたがって6つの記号でコード化した。入力プログラムはBASIC言語で作成し、データ入力をパーソナルコンピュータ上で行えるようにした。

第1表 亀裂の調査項目

坑道壁面	ボーリングコア およびボーリング孔壁面
位置 番号 走向 傾斜 開口の有無 開口幅 パターン 端の形状 粗さ 変質 条線の方向 条線のブランチ 条線の向き 変質の程度 変質の色 変質幅 充填鉱物1 充填鉱物2 充填鉱物3 充填鉱物の幅 湧水量 スキャンラインとの交差角 半トレース長 備考	位置 ボアホールTVによる亀裂の位置 番号 走向 傾斜 ボアホールTVによる走向 ボアホールTVによる傾斜 角度 開口の有無 開口幅 ボアホールTVによる開口幅 パターン 端の形状 粗さ 変質 条線の角度 条線の向き 変質の程度 変質の色 変質幅 充填鉱物1 充填鉱物2 充填鉱物3 充填鉱物の幅 備考

第2表(1) 亀裂の調査基準

1. 亀裂の位置 出現位置の内最も基準点に近い位置までの距離Lを基準点から測定 (mで記載)		2. 亀裂の角度 クリノメータで走向傾斜を測定		3. 開口の有無 0: 開口亀裂 C: 閉鎖亀裂 開口幅は最大値 (cmで記載)		4. 亀裂のパターン 4つの基本グループをそれぞれ4つのサブパターンに分類 添字はそれぞれ次のことを意味する m: 枝状亀裂を伴わない i: 短い枝状亀裂を伴う j: 長い枝状亀裂を伴う d: 断続している		5. 亀裂の端形状 各端について下記の記号で記載 X: 亀裂の端が調査範囲外で不明 R: 亀裂の端が調査範囲内で消滅 D: 亀裂の端が他の亀裂と交差		7. 変位 亀裂によって移動した量を測定 (cmで記載)		8. 条線の有無 有無を記載し、クリノメータで方向・プランジを測定		11. 変質幅 亀裂両側の合計を測定 (cmで記載) 変質帯中で変質部が連続する場合は亀裂間の距離の半分とし+を付す		12. 充填鉱物・岩石 各鉱物・岩石を下記の記号で記載 CHL: 緑泥石 WCL: 白色粘土 CAL: 方解石 QZ: 石英 ST: 東沸石 L: 濁沸石 EP: 緑閃石 PRE: プレートウ石		13. 充填鉱物の幅 幅が変動するときは最大値 (cmで記載)	

第 2 表(2) 亀裂の調査基準

14.湧水の程度 4段階に分類し、下記の記号で記載 I :乾燥している TR:水がにじんでいる(湿っている) D :適水がある L :流水がある D の場合、1 分当りの滴数 L の場合、1 分当りのリットル数を追加して記載
15.スキャンラインとの交差 交差角、半トレース長を測定 それぞれ、角度、長さ (m) を記載
16.備考 該当事項を下記の記号で記載 Z :充填鉱物に累帯構造がある S :セン断が認められる Z&S:上記の双方が認められる

第 1 図 坑道における亀裂情報データファイルの構造

第 3 表 坑道壁面とコアにおける調査基準の違い

調査項目	コアにおける調査基準の相違点
亀裂の位置 亀裂の角度 条線の有無とその角度 亀裂のパターン 湧水量 スキャンラインとの交差	コア中心線と亀裂の交点までの孔口からの距離 錐進方向と亀裂との交差角をコア側壁から測定 亀裂面の楕円の長軸と条線がなす角を同長軸から 錐進方向に向かって反時計回りに測定 坑道の「枝状亀裂」がコアでは「毛状亀裂」 坑道のみで計測 坑道のみで計測

第 4 表 数値型項目と文字型項目による分類

数値型項目	文字型項目
位置 走向 傾斜 開口幅 変位 条線 方向 条線 プランジ 変質幅 充填鉱物の幅 スキャンラインとの交差角 半トレース長	開口の有無 パターン 端の形状 粗さ 条線の向き 変質の程度 変質の色 充填鉱物 1 充填鉱物 2 充填鉱物 3 湧水の程度 備考

2. 2 検索プログラム

検索プログラムの基本構造は、各変数間の対応関係を明らかにするものである。すなわち、亀裂の項目(属性)が一定の条件(例えば充填鉱物の幅が 10mm 以上)を満足する組だけを取り出すという「選択」の集合演算の後に、共通する組を取り出すという「積」の集合演算を行う。

各変数の組合せは、次の 3 つに大別される。

- ①文字型変数と文字型変数
- ②文字型変数と数値型変数
- ③数値型変数と数値型変数

①に対しては、調査項目 A の記号 a かつ調査項目 B の記号 b を有する亀裂が何本あるかを検索する。②、③に対

しては、まず数値型変数の上限値と下限値を対話的に与えて任意の刻み幅で分割し、データをいずれかの階級に振り分ける。次に、②の場合は、調査項目 A の記号 a を有し、かつ調査項目 B の n 番目の階級に当てはまる亀裂の本数を検索し、③の場合は、調査項目 A の m 番目の階級かつ調査項目 B の n 番目の階級に当てはまる亀裂の本数を検索する。

検索プログラムのフローチャートを第2図に示す。まず、坑道の亀裂データについては坑道別にデータを選択できるようにし、ボーリング孔については孔別のデータを読み込めるようにした。次に、入力したデータに対してある条件を与え、その条件に適合する亀裂のみを選定した。こうして用意されたデータに対して2つの検索項目を設定する。例えば、それぞれの項目が $1 \sim I$ 、 $1 \sim J$ (I, J は整数) までの階級をもつならば、個々の亀裂データは $I \times J$ 個のいずれかの領域に入る。以上の方法により、予め1つ以上の条件で選択した亀裂に2つの検索項目を与えて属性間の対応を検索できるようにした。また、検索結果は、ディスプレイ上に表形式で出力させるとともに、要求に応じてシ

ーケンシャルファイル形式でフロッピーディスクもしくはハードディスク上に出力させる。特に、後者は表計算ソフト「Lotus 1-2-3」の入力ファイル書式と一致させているため、これにより「Lotus 1-2-3」をポストプロセッサとして使用することが可能になり、グラフ表示や統計計算などが汎用的に、かつ容易に行えるようになった。また、検索結果の3次元投影図など、特定目的の表示のプログラムはBASIC言語で作成した。

3. 花崗岩体における亀裂調査

3.1 調査地域の概要

ここで例とした釜石鉱山は岩手県釜石市の西端に位置し、高温交代型銅鉄鉱床を稼行対象としている。同鉱床は白亜紀初期に貫入した花崗閃緑岩、閃緑岩、玢岩などからなる蟹岳岩体とその周辺に分布する石灰石、スレートなどからなる中・古生層との間で生じた鉱化作用がもたらしたものとされており、一般に、鉄鉱体は蟹岳岩体に近接したざくろ石スカルン中に、銅鉱体はその西方の石灰岩に接した灰鉄輝石スカルン中に胚胎している。釜石鉱山周辺の地質概略図を第3図に示す。

本研究の調査地域は、釜石鉱山が採掘のために展開している上記の鉱床群から約1.5km北方に位置する栗橋岩体および蟹岳岩体である。栗橋岩体は、北上山地の花崗岩体中で最大の分布を示す遠野岩体の東に接して、概ね15km×14kmの範囲に分布しており、蟹岳岩体とは南端部で接している。坑道に現れている栗橋岩体の岩質は主に中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩である。一方、蟹岳岩体は少量の黒雲母と

第2図 検索プログラムのフローチャート

第3図 釜石鉱山の位置と付近の地質概略図

北村 (1990) による岩手県の地質図を部分的に簡略化した。

第4図 調査地域の地質概略図と調査坑道の位置

多量の角閃石を含む中粒の閃緑岩である。岩体の貫入の時期はK-Ar法による年代測定結果から栗橋岩体で120～122 Ma, 蟹岳岩体で119 Maとされており(河野・植田, 1965), 両岩体に大きな隔たりはない。しかし, 蟹岳岩体に接する栗橋花崗閃緑岩中の周縁部でスカルンおよび鉾石が捕獲されているのが観察されることから, 栗橋花崗閃緑岩の貫入は釜石鉾山の鉾化作用をもたらした蟹岳岩体の貫入以降のものとされている(日鉄鉾業, 1981)。

亀裂調査は栗橋岩体がその南西端で幅50～400m, 長さ約2.5kmほど岩脈状に延びている部分, および蟹岳岩体の西端部に掘削された2本の探鉾坑道(NW坑道・NE坑道)で実施された。同地域は, 標高約580m, 地表下約260～300mであり, 第4図に示すように栗橋花崗閃緑岩, 蟹岳閃緑岩そしてざくろ石スカルンという3つの岩種から成っている。NW坑道の大部分は栗橋花崗閃緑岩中に掘削され, 同様にNE坑道は蟹岳閃緑岩中に掘削されている。坑道の寸法はいずれも高さ2.5m, 幅3.0mである。坑道に現れている岩盤は, ざくろ石スカルンの部分を除いて, ほとんどが新鮮であるが, 亀裂およびその周辺には, 流体の浸入に起因すると考えられる充填鉾物の挟在や局所的な変質部も認められる。

第5図 栗橋花崗閃緑岩中に掘削されたNW坑道における壁面のスケッチ例

3. 2 原位置亀裂調査

亀裂調査に当たって、基本的には坑道を横切る規模（長さが概ね 3 m 以上）の連続が認められるものを対象にしたが、それと交差するものや湧水を伴うものも調査した。それらの亀裂に対して 2.1 で述べた調査項目および調査基準を適用した。調査延長は、第 4 図に示した距離の基準点から、NW 坑道 709.8m、NE 坑道 853.9m（NW 坑道と重なる 13m を除く）の計 1563.7m である。なお、前述の距離の基準点は、平面直角座標系 X 系において $X = -75278.1\text{m}$ 、 $Y = +72991.5\text{m}$ に位置する。

調査に際しては距離の基準点から坑道を 100m 毎に分割し、坑道天盤と側壁に 1 m 毎に印をつけて各区間の調査を行い、1/100 のスケールで岩種の境界や亀裂の位置および形状、変質部分、湧水位置などに注目して壁面をスケッチした。第 5 図にスケッチ例を示す。図は、中央に坑道の天盤、その両側に側壁を描いた展開図である。図の上側の数字は基準点からの距離、図中の数字⑧などはデータファイル上の亀裂の番号を表している。調査対象となった亀裂の総数は、NW 坑道で 898 個、NE 坑道で 861 個、計 1759 個である。第 5 表には 2.1 で述べた種々の調査項目についての記載率を示した。ここで記載率とは、調査した亀裂の総数に対して、それぞれの調査項目が記録されている割合である。例えば、亀裂の位置や番号、走向・傾斜などは当然全亀裂について記載される。また、変質の程度や湧水量の程度などについては該当項目の有無を含めて記録しているため 100% となり、条線に関する項目の記載は条線が認められた亀裂に限られる。

また、当地域では、多数の調査用ボーリングが実施され、ボーリングコア観察とボアホールテレビによるボーリング孔壁面の観察が行われている。これらのデータに対しても

同様なデータファイルを作成しているが、以下では、紙面の都合上坑道データのみを解析の対象とし、ボーリング孔データに対する解析結果については別の機会に発表する。

4. 亀裂情報データベースを用いた湧水亀裂の特徴の抽出

4. 1 検索の目的

最近、各種の産業廃棄物を地下空間に処分することが話題になっている。また、既に鉱山の採掘跡空洞やズリ堆積場が安定型の産業廃棄物あるいは一般廃棄物の処分場として活用されている例もある。今後も、廃棄物の量とその処分に要する用地の確保という問題を併せて考えれば、ますます地下への処分が注目されてくるものと予想される。このような地下への廃棄物処分においては、特に廃棄物の成分と地下水との相互作用が問題となる。すなわち、地下水の流動を介して有害物質が移動し、人間の生活環境へ到達してしまうことが懸念され、有害物質の移動の経路や岩盤への拡散・吸着などを含めた水理地質学的な研究が盛んになされている。特に、亀裂系岩盤においては、地下水の経路として亀裂の存在が大きな役割を有することは周知であるが、どのような亀裂が地下水の流動に直接関係しているかは未だ明らかにされていない。しかしながら、少なくとも坑道において湧水が観察されるような亀裂は、地下水を流動させやすいもののひとつであると考えられる。したがって、湧水亀裂が有する地質学的な特徴を把握することは、地下水が流動しやすい部分を明らかにし、有害物質の移動経路を事前に把握する上で極めて重要である。すなわち、湧水亀裂の特徴を明らかにできれば、有害物質の移動を防ぐための対策を講じる上で非常に有用な情報が得られるものと考えられる。

4. 2 岩種の違いによる亀裂属性の特徴抽出

前述のように調査地域の岩盤は主として栗橋花崗閃緑岩と蟹岳閃緑岩の 2 つに分類される。そこで、まず、この岩種の違いによる亀裂属性の特徴の抽出を試みた。栗橋花崗閃緑岩と蟹岳閃緑岩の各岩種における亀裂の坑道軸方向の長さに対する出現頻度は、それぞれ 1.3 (本/m)、1.1 (本/m) である。また、シュミットネットに各岩種における亀裂の極をプロットすると第 6 図となり、いずれも走向 $N60^{\circ} \sim 80^{\circ} E$ 、傾斜 $80^{\circ} \sim 85^{\circ} N$ を有する比較的急傾斜の亀裂が特に卓越している。これらのことから亀裂の頻度、走向・傾斜に関しては岩種間に大きな差はないと言える。また、第 4 図に示したような位置に数条のランプロファイアが観察されるが、それらの走向は $N78^{\circ} \sim 90^{\circ} E$ 、傾斜が $80^{\circ} \sim 90^{\circ} N$ であり、亀裂群の卓越方向とほぼ一致しており、野口ほか (1991) が指摘するように、これらのランプロファイアは岩種が異なる坑道間で連続するものと推定され

第 5 表 両坑道での亀裂調査における各亀裂属性の記載率

調査項目	記載率(%)	調査項目	記載率(%)
位置	100	条線のプランジ	13
番 号	100	条線の向き	5
走 向	100	変質の程度	100
傾 斜	100	変質の色	70
開口の有無	100	変質ハローの幅	69
開口幅	21	充填鉱物 1	99
パターン	100	充填鉱物 2	67
端の形状	100	充填鉱物 3	19
粗 さ	100	充填鉱物の幅	98
変 位	27	湧水量	100
条線の方法	13	備 考	13

第6図 岩種別に比較した亀裂の極の分布。

ただし、シュミットネット下半球投影。小円を用いたパラメータは5%，コンター最小値は10%，コンター間隔は10%である。

る。

亀裂の出現頻度や方位分布とともにパターン、粗さなどの亀裂の幾何学的形状は、岩盤の力学的性質や亀裂生成時の外力など、主として亀裂の力学的な成因を反映している情報であると思われる。そこで、両岩種の亀裂について、亀裂のパターン、粗さを検索し、全亀裂数に対して各分類に属するものが占める割合を比較した。第7図(a)より明らかなように、両岩種で亀裂のパターンの構成比率に大きな差はなく、いずれも直線的な亀裂であることを示すPタイプが圧倒的に多い。また、第7図(b)に示した粗さの構成も両岩種で同様な比率であり、比較的スムーズなGタイプとMGタイプに8割程度の亀裂が含まれる。

以上の結果より、この地域は、岩種は異なるが、亀裂が生成した力学的な環境は同一であったことが示唆される。

4.3 亀裂の鉱物学的属性

亀裂中に流体が浸入する場合、母岩の岩種が異なれば、流体と母岩の反応の結果生じる変質鉱物や充填鉱物の構成が異なると予想される。そこで、次に、亀裂の変質と充填鉱物などの亀裂の鉱物学的属性について検索を行った。

6つに分類した変質の程度の構成割合を、両岩種で比較すると第7図(c)となる。図より、栗橋花崗閃緑岩では全亀裂の85%程度が何らかの変質を受けているのに対し、蟹岳閃緑岩では未変質の亀裂が45%を占めているという違いが明らかである。

第7図(d)は変質の色を検索した結果である。栗橋花崗閃緑岩ではピンク化66%，白色化27%であり、この両者で変質の色の90%を越え、他の色は極めて少ない。それに対し、蟹岳閃緑岩では緑色化、白色化がそれぞれ37%，30%と比較的多いものの、他の色についてもピンク化15%，茶色化12%，灰色化6%であり、ある程度以上の比率が認められる。すなわち、変質の程度とともに変質の色についても蟹岳閃緑岩と栗橋花崗閃緑岩の差は明瞭である。なお、X線回折分析によれば各変質部とも様々な鉱物を含有するが、ピンク化変質部ではセリサイト、白色化変質部ではスメクタイトが卓越していた。また、茶色化変質部は鉄の酸化物あるいは水酸化物の存在によるものと見られ、緑色化変質部では緑泥石が特徴的であった。

さらに、第7図(e)では充填鉱物の種類について検索した。図より、方解石が多いのは両者に共通しているが、その他では栗橋花崗閃緑岩は緑泥石が多く、蟹岳閃緑岩は東沸石と緑泥石の割合が高いという特徴がある。これらの結果は、岩種の相違が変質や充填鉱物の相違として反映されていることを示唆している。

4.4 亀裂の湧水の程度と他の属性との関係

栗橋花崗閃緑岩と蟹岳閃緑岩では亀裂の幾何学的形状の特徴に大きな差はないことを4.2で明らかにした。また、4.3では両岩種は鉱物学的に異なった特徴の亀裂を有することを述べた。これらの相違と前述のような地下水流動につい

(a) 亀裂のパターン

(b) 亀裂の粗さ

(c) 変質の程度

(d) 変質の色

(e) 充填鉱物の種類

第7図 各岩種におけるいくつかの亀裂属性の分類項目の構成

ての観点に立って、ここで改めて湧水の程度といくつかの亀裂属性との関係を岩種別に検討する。

まず、亀裂の走向と湧水の程度との関係を検索した。第8図は走向を10°刻みで区切り、走向別に亀裂の湧水の程度を抽出した結果である。図より、栗橋花崗閃緑岩ではデータ数が少ない南北に近い亀裂を除いて、ほぼ全方向に何等かの程度の湧水亀裂が分布する。この傾向は、蟹岳閃緑岩でも同様であり、亀裂の走向と湧水の程度との相関は低いと言える。なお、地表下約260～300mに位置する本調査地域では、いわゆるシーティングジョイントがみられず、傾斜が80°以上の亀裂がほとんどである。そのため、亀裂の傾斜と湧水の程度とでは明瞭な傾向は認められなかった。次に、変質の程度と湧水の程度との関係を示すと第9図のようである。栗橋花崗閃緑岩では変質の程度がいずれであっても湧水が認められない亀裂の割合が最も高く、湧水しているものの割合もほぼ同じである。また、蟹岳閃緑岩でも変質の程度に拘らず湧水亀裂が分布し、湧水の程度と変質の程度との間の相関は低いと考えられる。これは、変質が亀裂生成時の流体との反応によってもたらされたものであり、亀裂内を現在流動している地下水によるものではないことを示唆している。第10図は充填鉱物の種類と湧水の程

度との関係である。ここでは第7図(e)で構成割合が高かった方解石と緑泥石を検索項目として選択した。栗橋花崗閃緑岩では緑泥石、蟹岳閃緑岩では方解石が顕著であるが、

凡例：□ I ■ TR ■ D ■ L

第8図 湧水の程度と走向との関係

凡例：□ I ■ TR ■ D ■ L

第9図 湧水の程度と変質の程度との関係

凡例：□ CAL ■ CHL

第10図 湧水の程度と充填鉱物の種類との関係

両岩種とも湧水の程度が高くなると緑泥石の出現割合が高くなる傾向が認められる。

4.5 湧水亀裂の空間的分布に関する考察

湧水の程度を亀裂の位置と関連付けて検討する。第11図は20m区間内に存在する亀裂を対象とし、それらの湧水の程度ごとの比率を示したものである。前述のように、亀裂の位置は基準点からの距離で表している。また、同図にはランプロファイアーの位置も矢印で記入したが、栗橋花崗閃緑岩の310～375mと蟹岳閃緑岩の345～415mには数条の脈が現れている。図より、20m区間内の全亀裂数は両坑道ともに周期的な変動を示していることがわかる。栗橋花崗閃緑岩では、基準点から225～245m、305～325m付近で亀裂密度が高まるとともに“D”や“L”で示される湧水の程度が高い亀裂が認められるようになる。このような亀裂は、蟹岳閃緑岩では210～290m、330～370m付近に多く認められ、その位置の亀裂密度も栗橋花崗閃緑岩と同様に高まる。このような栗橋花崗閃緑岩と蟹岳閃緑岩における湧水の程度が高い位置を最短距離で結ぶ方向は東北東－西南西である。これは図に示したランプロファイアーが両坑道間で連続すると見られる方向と概ね一致しており、この地域における卓越する亀裂の走向に近い。また、広域的にみれば空中写真判読によるリニアメントの卓越方向（小池ほか、1990）とも一致し、両岩種で湧水の程度が高い部分の連続

第11図 亀裂の位置と湧水の程度との関係

第12図 亀裂の位置と変質幅の平均値との関係

が推定される。

さらに、20m区間内の変質幅の平均値の変動は第12図のようである。図には第11図で明らかにした湧水の程度が高い区間を網目模様で示している。前述のように変質の程度と湧水の程度との相関は低いものと推定された。しかしながら、栗橋花崗閃緑岩の305～345m、蟹岳閃緑岩の310～390mの区間では湧水の程度が高く、そこでは変質幅と充填孔物の幅の平均値も大きくなる傾向にある（第13図）。充填鉱物の幅は水理的開口幅に関連し、これと変質幅は亀裂の大きさに関係すると考えられ、これらの量が大きい亀裂ほど連続性が良いものと推察される。したがって、そのような亀裂が地下水の経路に相当する可能性が高くなっているものと思われる。

第14図は充填鉱物のうち方解石と緑泥石を選択して亀裂の位置との関係を調べたものである。同図でも第12図、第13図と同様に、湧水の程度が高い区間を網目模様で表している。充填鉱物として栗橋花崗閃緑岩では緑泥石、蟹岳閃緑岩では方解石の割合が高かったが、湧水の程度が高い区間では両岩種で緑泥石の存在が顕著になっている。

森田ほか（1991）によれば、上記の区間での湧水の水質は HCO_3^- 型で、地表水のそれと類似している。また、この区間では第4図に示したようにランプロファイアーの連続性が推定される。このような傾向は、変質幅、充填鉱物の種類およびその幅などの地下水の流動に関連すると思わ

れる亀裂属性がこの区間で類似していることと調和し、湧水の程度が高い部分の連続を支持するものであろう。これ

らのことから、変質幅や充填鉱物の幅が比較的大きく、緑泥石を含む亀裂群が存在するところに地下水を通しやすいゾーンがあるものと推測される。

5. 結 言

岩盤の亀裂の多様性とその特徴を把握することを目的として、岩盤における亀裂情報のデータベースシステムを開発するとともに、本システムを岩盤の特性評価に適用した例を示した。

まず、従来までの亀裂調査に関する指針などを参考にして、亀裂情報の調査項目を選定し、これに基づいて亀裂情報データベースシステムを構築した。本システムの構築により、膨大な亀裂データに対して、種々の属性間の対応関係を容易に分析することが可能になった。

次に、本システムを岩手県釜石鉱山の北部に位置する花崗岩体で行った亀裂調査の結果に適用した例を示し、調査地域における岩種、および透水性と亀裂のいくつかの属性との関係に若干の検討を加えた。具体的には、亀裂の成因のうち主として力学的な環境を反映していると思われる亀裂属性、すなわち、亀裂の卓越方向、出現頻度、亀裂のパターン、粗さなどは、岩種が異なっても同様な傾向が認められることを示した。一方、変質の程度、変質の色、および充填鉱物の構成などについては、岩種に起因すると考えられる差異が認められた。この傾向は、変質は現在亀裂中を流動している地下水ではなく、亀裂生成時の流体によってもたらされたことを示唆している。さらに、亀裂の湧水程度と他の亀裂属性との関係から、湧水が顕著である岩盤領域は、比較的大きな変質幅と充填鉱物の幅を有し、緑泥石を含むような変質部が連続するゾーンに対応していることを明らかにした。

ここでは、主として岩盤における地下水流動の問題を検討対象としたが、岩盤の強度・変形性などの力学的性質についても上記のような種々の亀裂属性が大きな影響を及ぼしていることは容易に想像できる。本研究で開発した亀裂情報データベースシステムはこれら岩盤の諸物性と亀裂との関わりを効率的に検索するのに有用であり、それらの関係を種々の観点から検討する上での一助となるものと期待される。

謝 辞

本研究で用いたデータは、動力炉・核燃料開発事業団が釜石鉱山で実施している『花崗岩における原位置試験』の成果の一部である。貴重なデータを御提供頂いた同事業団に対し、ここに記して深く謝意を表する。

第13図 亀裂の位置と充填鉱物の幅の平均値との関係

第14図 亀裂の位置と充填鉱物の種類との関係

文 献

- 岩の力学連合会 (1985) 岩盤不連続面の定量的記載法, ISRM 指針 Vol. 3 (日本語訳).
- 金子勝比古・村田健司・柴 拓海・大見美智人 (1987) 花崗岩の弾性率とその評価 岩盤の変形性の評価法に関する基礎的研究 (第2報). 日本鉱業会誌, 103, 9-15.
- 北村 信 監修 (1990) 岩手県の地図 (博物館版).
- 河野義礼・植田良夫 (1965) 本邦産花崗岩 K-Ar dating (II) 北上山地の花崗岩類. 岩鉱, 53, 143-154.
- 風間秀彦・岩崎公俊・堀井克己 (1989) 地盤情報データベースの現状と問題. 土と基礎, 37, 11-16.
- 小池克明・伊藤博之・大見美智人・野口義文 (1990) 花崗岩体内部の不連続性に関する2, 3の考察. 平成3年度資源・素材学会春季大会講演要旨集, 311-312.
- 森田誠也・嶋田 純・長 久 (1991) 深部結晶質岩中の地下水の化学的特性とその挙動 (その1). 応用地質, 32, 155-166.
- 日鉄鉱業 (1981) 釜石鉱山の地質鉱床と探査の展開. 日本鉱山地質学会30周年記念日本の鉱床探査 1, 71-112.
- 野口義文・飯島章夫・中村直昭・小池克明・金子勝比古 (1991) 岩盤亀裂群の計測とモデリング. 資源・素材学会誌, 107, 428-433.
- Oda, M., Hatsuyama, Y. and Onishi, Y. (1987) Numerical experiments on permeability tensor and its application to jointed rock mass at Stripa mine, Sweden. *Jour. Geophys. Res.* 92, B8, 8037-8048.
- Priest, S. D. and Hudson, J. A. (1981) Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. *Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 18, 183-197.

要 旨： 亀裂情報データベースシステムの構築とその適用：野口義文・岩崎 浩・小池克明・金子勝比古

岩盤中には普遍的に裂カや断裂、節理などの不連続面（ここでは、亀裂あるいは亀裂群と呼ぶ）が多数存在しており、これらが岩盤物性に大きな影響を及ぼしている。亀裂群は場所によって出現頻度および方位、生成時期、変質の程度や幅、形状などの性質がそれぞれに異なる多様な亀裂の集合体であり、この多様性が岩盤物性の不均質性に密接に関係していると考えられる。このような亀裂の性質を把握し、岩盤評価に適用するためには、各亀裂について詳細な調査を行うとともに、それにより得られる膨大な量のデータを系統的かつ効率的に処理しなければならない。このような観点に立って、まず、亀裂の調査項目を選定し、これに基づいて亀裂情報データベースシステムを構築した。次に、本データベースシステムを釜石鉱山の北部に位置する花崗岩体中に掘削された坑道壁面で行った亀裂調査の結果に適用し、湧水が顕著である亀裂群を有する岩盤領域は、比較的大きな変質幅と充填鉱物の幅を有し、緑泥石を含むような変質部が連続するゾーンに対応していることなどを明らかにした。

キーワード： 亀裂、データベースシステム、亀裂調査、花崗岩、岩盤評価、釜石鉱山

(1992年10月19日受付, 1993年5月20日受理)