

## (26) 地質調査情報に基づく透水亀裂の判別

(株)大林組 正会員 ○ 天野 悟

(株)大林組 白旗秀紀

### Discrimination of Conductive Fractures Based on the Information from Geological Investigations

Satoru AMANO, Obayashi Corporation

Hideki SHIRAHATA, Obayashi Corporation

#### Abstract

Since fluid flow in fractured rock is completely dominated by the occurrence of conductive fractures when rock has low matrix permeability, it will be important to extract only conductive fractures in studying the flow behavior in fractured rock.

A private underground research laboratory has been constructed in Kamioka mine, where extensive discontinuity sampling by means of borehole television system were carried out. The discontinuity sampling by borehole television system has covered 2,381 discontinuities in all and made it possible to classify these discontinuities into 5 types according to the color and aperture as follows ; open fracture, closed fracture, gneissic structure, color mineral vein, and quartz vein.

The results of clustering analysis for each type of discontinuities have indicated that the representative orientations estimated from clustering analysis do not conflict with the orientations inferred from tectonic history and mineralization in Kamioka mine. This fact has also confirmed the usefulness of discontinuity sampling by borehole television system. The representative orientation of open fractures estimated from clustering analysis will be compared with the results of field hydrological experiments to be executed, together with considering the current state of in-situ stress.

#### 1. はじめに

亀裂性岩盤内の水の流れは、亀裂をその浸透経路としているが、中でもとりわけ、開口している透水性の高い亀裂を主たる浸透経路としている。このため、このような水の流れに貢献する透水亀裂を判別することは、亀裂性岩盤内での地下水挙動を予測する上で重要となる。

神岡鉱山栃洞鉱内に開設した岩盤試験場において、ボアホールテレビによる孔内不連続面調査を実施し、観察された全ての不連続面を開口度およびその種類によって分類し、その分類された各々の不連続面のタイプごとに卓越方位解析を行った。この解析によって得られたそれぞれの不連続面の卓越方位は、神岡鉱山栃洞鉱における地質構造および現在考えられている鉱化作用の歴史から推測されるものと矛盾しないことがわかった。

ここでは、ボアホールテレビによる不連続面調査、開口度およびその種類による不連続面の分類、および卓越方位解析を通して行った透水亀裂の判別方法について報告する。

## 2. 調査の概要

### 2. 1 調査地点の地質概要

地下岩盤試験場が開設された神岡鉱山栃洞鉱床は、複雑な褶曲構造をなす飛騨変成岩類中に介在する石灰岩を主に交代したスカルン鉱床である。図-1<sup>1)</sup>は岩盤試験場のある栃洞鉱レベル0<sup>m</sup>での鉱床分布および地質構造の概略を示したものであるが、この図に示すように栃洞鉱床の形態は、石灰岩の引き摺り褶曲に支配されており、北東より南西へ約40°の落しを持っており2つの向斜構造に支配された一大複合向斜構造をなすことが解明されている。

岩盤試験場付近は、伊西岩と呼ばれる混成岩が広く分布し、この中に片麻岩、スカルン、石灰岩、アブライト質岩が存在する。伊西岩は、斜長石、微斜長石を主とし粗粒の透輝石を含む亜優黒質から優白質の花崗岩質岩であり、片麻状構造に乏しい。片麻岩は、主に片麻状構造のよく発達した黒雲母片麻岩、角閃石片麻岩より構成されている。スカルンは、灰鉄輝石を主要鉱物とするスカルン鉱物の塊の中に、閃亜鉛鉱、方鉛鉱などが鉱染状に存在するものであり、当鉱山で“空地鉱”と呼ばれるものに相当する。石灰岩は、白色から灰色の細粒・晶質石灰岩であり、スカルンの周辺部に小規模に認められる。アブライト質岩は、アルカリ長石、石英、斜長石からなる細粒・優白質な岩石で、走向東-西、傾斜北40°の岩脈状を成して上記岩石類を切って分布している。地質構造的には岩盤試験場内には断層が見られないが、試験場周辺には、北西-南東系、東-西系、および南-北系の断層が発達している。

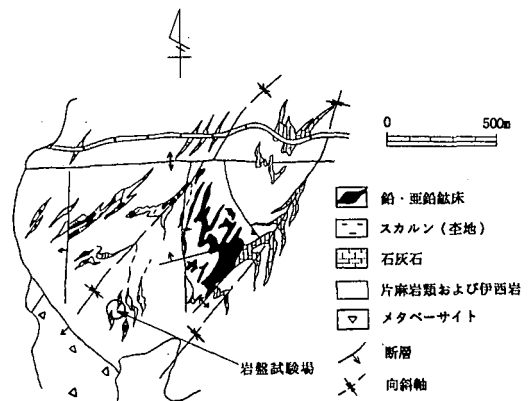


図-1：栃洞鉱床分布図（0m準）

### 2. 2 不連続面の調査手法

岩盤試験場付近の不連続面の性状を観察するために、坑道壁面を利用したスキャンライン法による調査と合わせて、ボアホールテレビによる孔内不連続面調査<sup>2)</sup>を実施した。坑道壁面で観察される不連続面は、掘削に伴う応力変化の影響を受けてその開口幅が変化している可能性があり、また、発破によって生じた人工亀裂との区別が難しく、岩盤内に存在する不連続面の性状を正確に評価できない場合がある。したがって、今回は、ボアホールテレビで得られた孔壁展開画像から抽出されたものだけを不連続面のデータとして扱った。

図-2はボーリング孔の配置平面図を示したものであるが、不連続面の方向とボーリング孔の方向の関係から生じるサンプリングの偏りを除くために、できる限り様々な方向にボーリング孔を配置した。

今回、母集団として扱う不連続面のデータは、対象岩盤中のボーリング孔24本、総延長312mの調査から得られたものである。

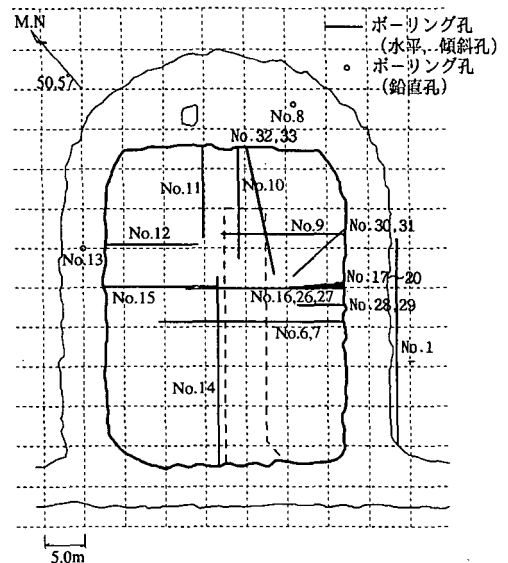


図-2：ボーリング孔配置図

### 3. 不連続面の分類と卓越方向解析

#### 3. 1 不連続面の分類

ポアホールテレビによって観察されたすべての不連続面を、その開口度と種類から、試験場付近の地質状況を参考にしながら、次の5種類に分類した。

- ①開口亀裂：展開画像上で開口性が認められ、開口幅が0.5mm以上（展開画像上の分解能）の不連続面
- ②密着亀裂：展開画像上で密着性がよく、形状・連続性が不明瞭な不連続面
- ③片麻状構造：片麻岩類に特有なしま構造で、有色鉱物の配列による不連続面（岩相境界を含む）
- ④有色鉱物脈：鉱化以前に存在した亀裂に鉱化作用によって有色鉱液が填充したと考えられる鉱物脈
- ⑤石英脈：画像上観察されるすべての白色鉱物脈

#### 3. 2 卓越方位解析

不連続面の卓越方位解析は、Mahtabら<sup>3)</sup>の提案した判定基準を用いて行った。この判定基準は卓越方位周辺の方位分布の集中度はPoissonプロセスによって表現されるランダムな方位分布よりも有意的に高いという仮定に基づいている。この判定基準を用いて分けられた不連続面群のおおのについて、Fisher分布を用いた場合の卓越方向とその卓越方向からの分散の程度を示すFisher定数Kをもとめた。<sup>4)</sup>

図-3(1)~(5)は卓越方位解析の結果を不連続面の種類ごとに下半球シュミット網（等面積投影）に示したものであり、これらの各不連続面群の統計量は表-1に示すとおりである。

### 4. 透水亀裂の判別

#### 4. 1 卓越方位解析結果と地質構造

図-3(1)~(5)の卓越方位解析の結果と栃洞鉱の地質構造との比較から次のことがいえる。

片麻状構造の卓越方位群1の卓越方位は、北東より南西へ約40°の落としを持つ栃洞鉱床の形態すなわち褶曲のパターンをよく表現しており、褶曲の向斜軸の方向と片麻状構造の卓越方位は一致している。

開口亀裂と有色鉱物脈の卓越方位はほぼ一致しており、これらの不連続面は褶曲軸の方向とほぼ直角をなす形で発達している。有色鉱物脈が鉱化以前に存在した亀裂に鉱化に伴って鉱液が填充したものであると考えれば、この卓越方位を持つ亀裂群は、鉱化以前の飛驒片麻岩類の母岩の片麻岩化の後に発生したものであり、この内のいくつかの亀裂が鉱液の填充によって有色鉱物脈になったものと推定される。

石英脈は、褶曲の軸方向と褶曲軸にほぼ直交する方向の両方の卓越方位を持っている。これは、鉱化以前の片麻岩化に伴うしま構造の白色鉱物の配列と鉱化時に生じた白色鉱物脈との区別がポアホールテレビの展開画像上でできなかったため、展開画像上で観察されるすべての白色鉱物脈を石英脈として分類したためと思われる。

このように、栃洞鉱全体から見れば小さな領域にすぎない岩盤試験場で実施したポアホールテレビによる不連続面調査結果およびその卓越方位解析から得られた各々の不連続面の卓越方位は、栃洞鉱における地質構造および現在考えられている鉱化の歴史と矛盾していない。

亀裂性岩盤中の水の流れは、開口している亀裂に大きく支配される。したがって、ポアホールテレビで観察された開口亀裂が水の流れに大きく貢献し、また、水の流れの主方向もその開口亀裂の卓越方向に大きく影響されるものと予測される。

#### 4. 2 岩盤内初期応力との関係

図-4は、岩盤試験場で実施された初期応力測定結果を下半球ウルフ網に示したものである。<sup>5)</sup>主応力方

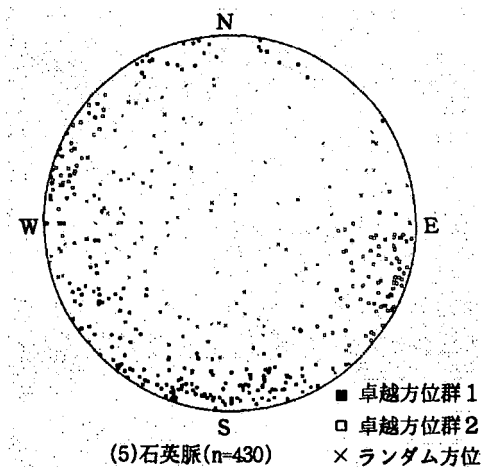
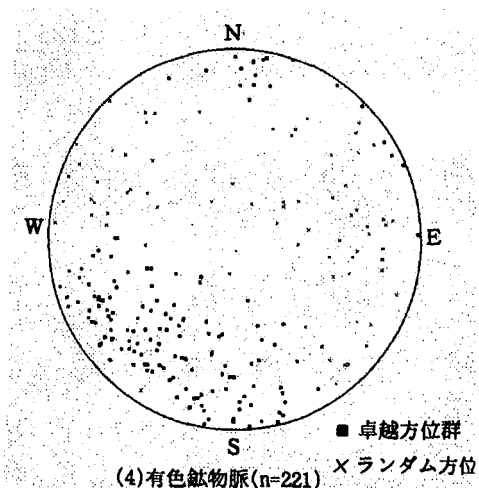
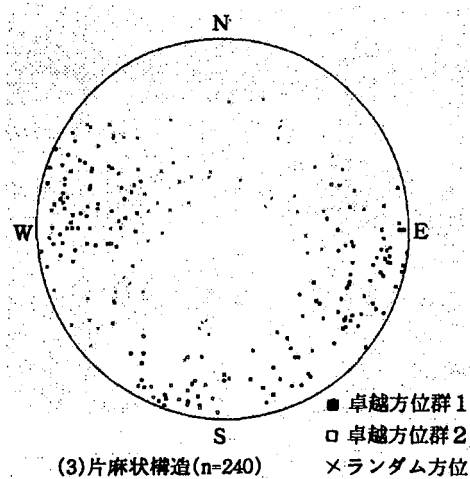
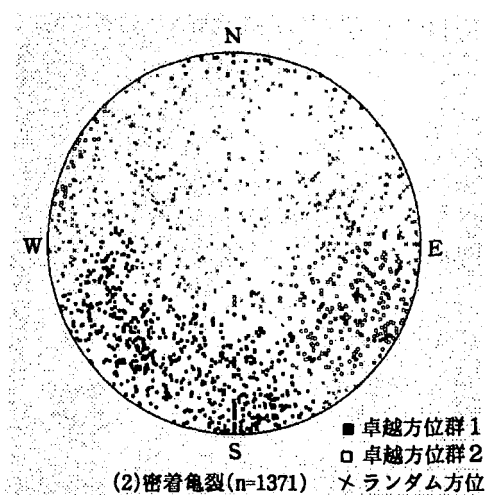
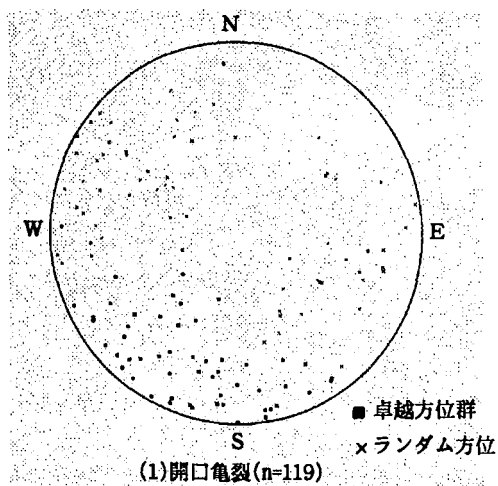


表-1：不連続面群の統計量

| 不連続面の種類   | 卓越法線方位/傾斜 | Fisher定数 | 不連続面数 |
|-----------|-----------|----------|-------|
| (1) 開口亀裂  | 207/21    | 8.3      | 119   |
| (2) 密着亀裂  | 204/26    | 7.1      | 1371  |
|           | 121/26    | 16.4     |       |
| (3) 片麻状構造 | 124/21    | 3.6      | 240   |
|           | 203/14    | 26.6     |       |
| (4) 有色鉱物脈 | 203/26    | 5.8      | 221   |
| (5) 石英脈   | 204/11    | 8.6      | 430   |
|           | 111/12    | 15.8     |       |

図-3：卓越方位分布下半球シュミット網投影図

向は岩盤試験場の地形をよく反映しているとともに、鉛直方向直応力成分はほぼ土被り圧に対応している。亀裂の発生する方向とその時の主応力状態とは深く関係するが、初期応力測定で得られた現在の応力場から発生しやすいと想定される亀裂の方向と、先にもとめた開口亀裂あるいは密着亀裂の卓越方位とは一致していない。これは、これらの亀裂が生じたときの応力場から現在の応力場への変化を示すものと思われる。

亀裂岩盤中の水の流れは、現在の最小主応力方向に直交する方向の亀裂の中で生じやすいと報告されることが多いが、<sup>6)</sup> 当岩盤試験場で測定された主応力方向と、開口亀裂の卓越方向とは異っており、水の流れと主応力方向との関係については、今後実施される原位置透水試験の結果から検討を加える予定である。

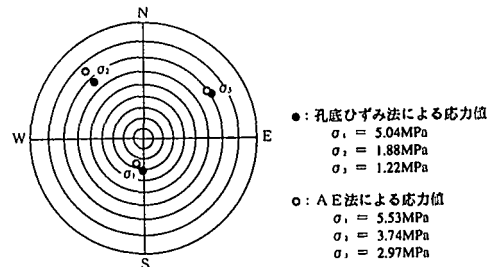


図- 4: 岩盤内初期応力測定結果

## 5. おわりに

岩盤試験場において、ボアホール不連続面調査を実施し観測された不連続面に対して卓越方位解析を行った。この結果から、透水亀裂となるであろう開口亀裂を観察されたすべての不連続面から判別した。これらの結果は、初期応力との関係も含めて、今後実施される原位置透水試験の結果と比較検討される。

なお、ボアホールテレビによる不連続面調査および卓越方位解析を、今回は、岩盤試験場の中での透水亀裂の判別に対して適用したが、このような調査をより広域的に実施し解析することによって、一般的な地質構造の調査あるいは鉱液の通路となった亀裂さらには鉱化時の応力場を検討する上でも有用な情報を得ることができるものと思われる。

謝辞：神岡鉱業株式会社の町田稔氏には、神岡鉱山の地質構造および鉱化の歴史について貴重な資料を提供していただくとともに、本報告の内容について有益な討議をしていただいた。ここに感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 土屋義弘、吉中勇吉、二村英吾：神岡鉱山栃洞鉱床群の最近の探鉱について、鉱山地質、29、pp.131 - 145、1979
- 2) 亀和田俊一、遠藤努、西垣好彦、杉江剛史：ボーリング孔壁画像処理手法とその解析について、応用地質、34巻、pp.49 - 57、1994
- 3) Mahtab, M.A. and Yegulalp, T.M, A rejection criterion for definition of clusters in orientation data, In Issues in Rock Mechanics, Proceedings of the 22nd Symposium on Rock Mechanics, Berkeley, 116 - 123, 1982
- 4) Priest, S.D., Discontinuity Analysis for Rock Engineering, Chapman & Hall, 1993
- 5) 玉井昭雄、三上哲司、秋好賢治：トンネル掘削による不連続性岩盤の三次元的力学挙動の研究、第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、pp.605 - 610、1994
- 6) F.H.Cornet and R.Jones, Field evidences on the orientation of forced water flow with respect to the regional principal stress directions, NARMS, 61 - 69, 1994