

栃木県足尾・茨城県日立地区における断層裂罅と水理について

渡 辺 和 衛*

Contribution to the Crack Water Hydrology in the
Fields of Ashio Mine and Hitachi Mine

By

Kazue Watanabe

Abstract

When liquid solution (hot or cool) and fumarole gas pass through soft Alluvial, Pleistocene, and Tertiary sediments, they make their way by permeating or percolating, and often disturb, move or dissolve the wall rocks. But in volcanic rocks and igneous rocks or hard consolidated sediments, they mainly take their courses through cavities and cracks, and their velocity or other kinetic potentials are intensely influenced by the forms of cracks.

On the other hand, hydrothermal solutions penetrate into the wall rocks, because of their high pressure and temperature, and disintegrate all of the contact boundary. In such a case, the porosity of the country rocks becomes the leading factor. Investigators have treated these problems, but these are a very much difficult subject. Therefore, the writer first intends to treat the kinetic phenomena between rock cavity and water flow in the fields of Ashio mine and Hitachi mine. The results are as follows:

1. In the Ashio mine, all the faults and cracks in the rhyolitic complex are filled with ore bodies or bonanza, and the amount of squeezed or crack-water in the rhyolite is less than that of Renkeiji adit in the Paleozoic chert and basal breccia zone, mainly due to rock plasticity, crevices, and depth.

2. In the Hitachi mine, most faults and fissures have no ore bodies, but some fault clay and main shearing faults emit less radioactivity than their secondary tension crack fault. In such a metamorphosed Paleozoic schist zone composed of the mother rock of ore deposits in the adit, crack-water is small in quantity, but it forms mostly "pipe flow" or "sheet flow" with the pressure of 3~17 kg/cm², and its "pipe flow" course is parallel or diagonal to the bedding plane of these schistose rocks.

要 旨

足尾および日立の両鉱山を実例として、断層裂罅が地下において、どのような形態を示し、どのような通水性をもつかについて検討したものである。足尾の場合は裂罅充填鉱床が主体なので、主として鉱液の通路としての裂罅形態を明らかにし、特に渋川沢の表流水が連慶寺坑道内にどのように漏水するかを実測した結果、400 m³/day程度であった。これは古生層における漏水状況で、流紋岩体内の漏水状況は別に実測して示してあるが、案外に少量であった。日立の場合は、断層と附近の岩石の放射能強度との関係を、主要なものについて測定した。その結果、2種類の強度分布を示すことがわかった。日立は古生層の変成岩地帯であるが、地表水も足尾に較べて水

量が少なく、日立全坑内で10,000 m³/dayの排水であった。ここでは試錐孔から得る地下水を主として取り扱い、地質構造との関係を示した。

1. 緒 言

本調査の目的は、断層および裂罅を通る流体または気体の動的状態に関する基礎調査である。この目的のためにはまず断層裂罅の形態を精細に検討し、それを通る流体の挙動について数量的に取り扱えばよいわけである。特に上昇下降を問わず、重力または上昇圧力によって動く流体、または気体と通過する場を提供する壁岩の摩擦係数との関係を導き出せばよい。しかしこれははなはだ困難な問題であるので、早急に完成は無理で、まず第1段階として形態と通水性について、この報文では取り扱った。

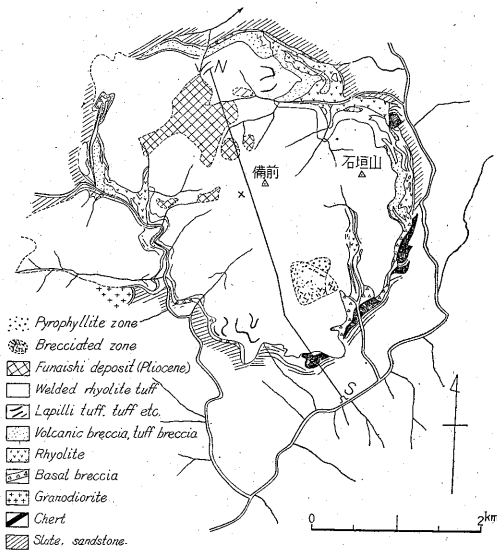
* 地質部

本調査を実施するにあたって、古河鉱業足尾鉱業所の地質課長草薙忠明氏ほか課員の方々に大変御世話になり、また日本鉱業日立鉱業所探鉱課長島田衛氏ほか同課および探鉱課の方々から多大の御支援をいただいたことに対して、深謝の意を表する次第である。

2. 足尾鉱山地域の裂罅水理

2.1 足尾鉱山地域の断層裂罅と水理

足尾鉱山は古い開山の歴史を有する鉱山であるので、現在まで坑道の総延長1,200 km に達しようとしている。そして裂罅を充填して鉱床が発達しているのので、探鉱は必ず裂罅の発見と追跡とを主体にしている。このため小さな断層といえども精細に掘鑿され、300分の1の坑内図ができています。第1図に足尾流紋岩複合体と古生層の分布状態を示し、第2図にそのN-S方向の断面図を示す。これらの図によって流紋岩体内の断層と古生層中の断層の2つに分けて記述するのがよいと思う。



第1図 足尾流紋岩および古生層

層の分布状態を示し、第2図にそのN-S方向の断面図を示す。これらの図によって流紋岩体内の断層と古生層中の断層の2つに分けて記述するのがよいと思う。

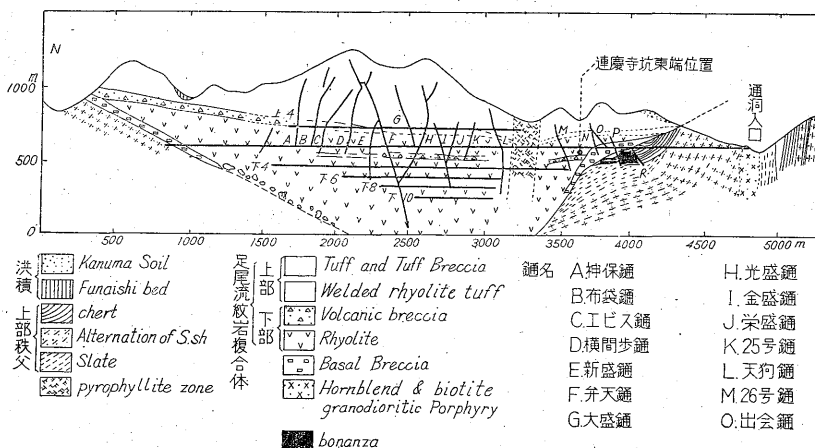
2.2 足尾古生層中の断層の特色

足尾においては、足尾流紋岩複合体の南部の基盤である古生層中のチャートを交代して、いわゆる河鹿鉱床が発達し、その採掘のために調査が行届いており、明瞭にこの断層形態を把握することができる。

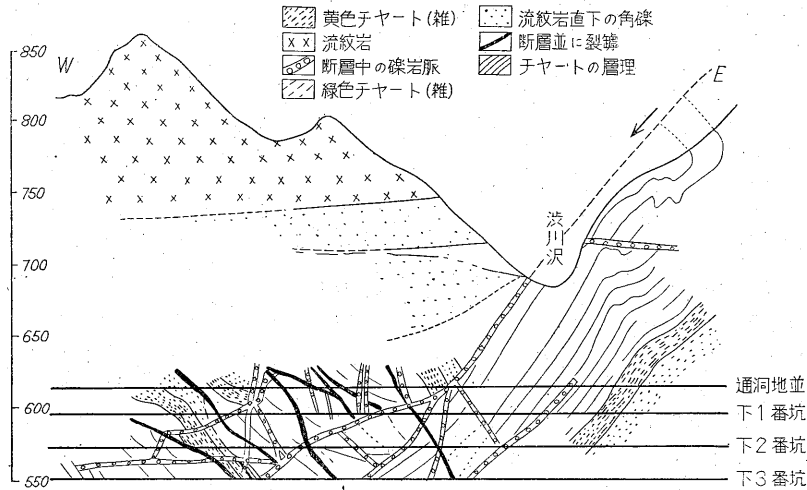
(1) 連慶寺断層およびその支脈

この断層については坑内外において1/1200の測量が実施され、特に重要な点については1/300の坑内測量が実施されている。第3図にその東西方向の断面図を示す。この断層はほぼNEの方向の横臥褶曲の脊斜軸部に起つた断層で、落差は約300 m に達しているが、水平方向の変位は僅か5 m 位である。NW側のブロックは多くの断層裂罅によってさらに寸断され、丁度刺身を並べたような配列状態を示している。在来の調査によつても古生層のチャート卓越地域の地層は、褶曲の反復常なく、ときには一見単斜構造とみられるほどの激しい褶曲構造を呈するので、その地質構造を鮮明にすることは、適当な鍵層でもない限り、はなはだ困難なのであるが、このように階段状に寸断された結果、同一の地層が繰り返して露われていると解釈すればよい場合もあるであろう。

さて連慶寺主脈といわれるこの断層も、後に流紋岩質礫岩脈(豆持脈)によって充填されているので、実見することが困難である。またこの断層の生成機構に関しては暫定的の結論しかいえない。現在までの調査結果では、次のように考えられる。流紋岩噴出以前に、古生層は大きな褶曲構造を有し、一部にはこれに断層を伴っていたであろうと推定される。そしてこれらの断層裂罅と流紋岩噴出後まもなく生成した裂罅とが重複して、複雑性を



第2図 足尾地区の裂罅充填鉱床および断層裂罅系統断面図



第3図 荒川沢附近断面(東一西)
(草薙忠明: 鉱山地質, Vol. 13, No. 6 による)

おびたのであつて、この両種の裂罅はやゝ方向が異なると推察される。足尾鉱山の草薙忠明氏が古生層中の断層には古い褶曲の一翼に複成していた、小波状褶曲の行詰りに生じた衝上断層が多いというのも、その意味である。なおこの連慶寺地帯の断層裂罅ないし岩脈は、方向のうえで3種の系統に分類できる。

1. 走向 N10°W~N15°E 傾斜 E30~75°
2. " N40 ~ 60°E " ES30~85°
3. " N40 ~ 85°W " NE または SW

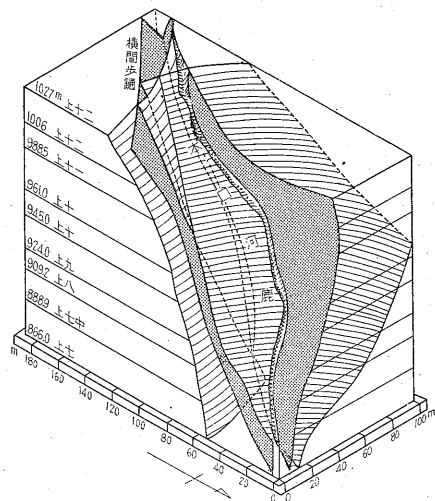
これらはいずれも連慶寺主脈と交叉し、あるいはこれから派生している。3の系統のものに特に多く豆持脈が侵入している。その理由として1, 2が一对の剪断脈としたとき、3はその張力裂罅の方向に相当し、この開口の大きい部分に多く侵入したと解釈している。この点については筆者として一概には賛成しかねる点もある。

(2) 連慶寺主脈以外の古生層中の断層

個々のものについては調査する余裕がなかつたが、概観すると流紋岩体の東半周に主として発達していて、北に行くに従つて方向が漸次 ENE から NE, それから NNE の方向に変位している。

2.3 足尾流紋岩複合体内の断層裂罅

足尾流紋岩複合体内の断層裂罅は、ほとんど全部裂罅充填鉱床になつていて、上下盤とも鉱体と癒着し、間隙性はほとんどない。しかし裂罅、すなわち鉱体であるから、その全体の形態についてはあますところなく掘鑿されていて、確実に把握することができている(第2図参照)。この図では細かいものは全部省略してある。この裂罅調査の目的の一つに裂罅を通ずる流体、または気体の動的状態の考察という一項目があるので、鉱化作用に



第4図 本口河鹿附近横間歩断層の交截状況
(足尾鉱業所草薙忠明原因による)

ついて一言触れておく必要がある。

流紋岩体中の富鉱体の多くは、この岩体の破碎帯に限られて生成している。河鹿は多く鉱脈と鉱脈の落合線を中心として形成される。その一つの実例として第4図に本口河鹿を示す。このなかで本山の鉱脈中最大の横間歩断層と、その他のものとの交截状態が示されているので、断層形態の方からも、有益な示唆を与えられる。そしてこれらの破碎帯がどんな構造的要素に支配されて生成したかを考察することによつて、河鹿鉱床の生成機構も解釈できるわけである。次に展張裂罅に生じた例として、新盛鉱上にある中西弁天河鹿があり、その主脈は走向 N46°E, 傾斜 68°NW, その北側に別に N72°E, 83°NW

の脈があり、両脈ともに黄鉄鉱・黄銅鉱を僅かに含有するが、鉍化作用は劣勢であり、そして母岩の細片や粘土を主体としている。両脈は鏡肌が著しく、その条線によって水平に近い向きを行った剪断脈と考えられる。この場合は両者の間に挟まれた N20°W、傾斜 50°NE が張力裂隙であると考えられる。要するに一對をなす主剪断脈の走向は、大略 N45°E と N75°W、すなわち 45° 脈と 105° 脈とに大別されることで、これは古生層中のとやま方向が異なるが、2に近似のものである。古生層の3のようなものは小規模なもの以外はみあたらない。この流紋岩体中では断層によって破碎された角礫岩帯、特に断層の交叉によって生じた所には、充分な鉍化作用が行われている。換言すれば割れ目が密集すればするほど富鉍部ができることになる。これに反していわゆる豆持脈と称する脈が貫入した所では、鉍化がさまたげられ

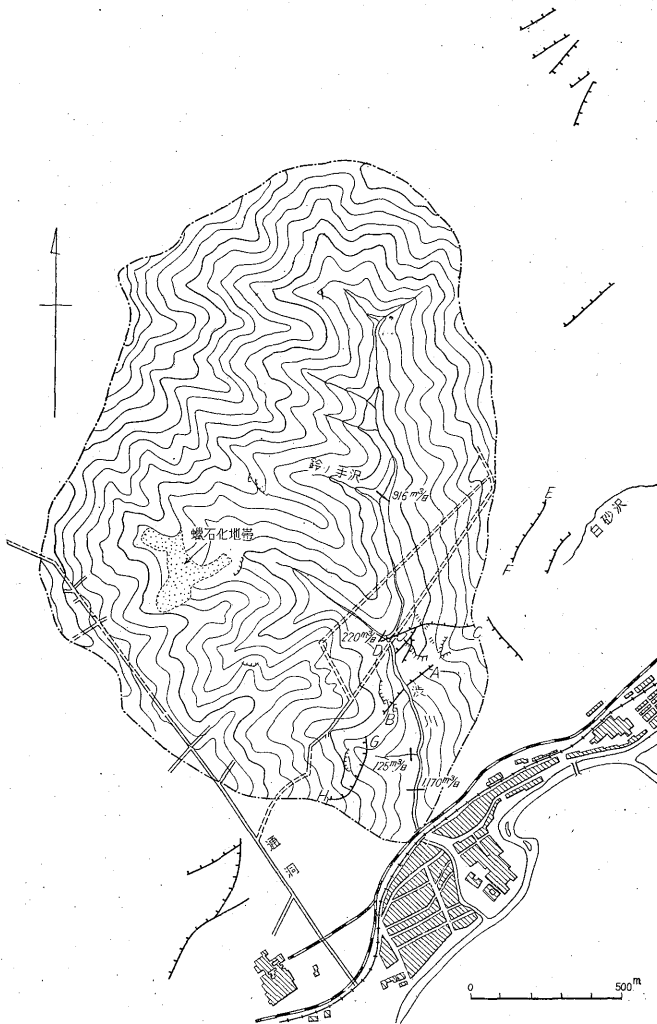
て、むしろ鉍化液がせきとめられたような現象を呈している。この豆持脈は流紋岩主体の噴出後の剪断運動に続いて高压の残漿が上昇進入し、古生層岩石の破片を捕獲し、また固化しかけた流紋岩角礫をも捕獲しつつ、圧碎や摩擦を伴ない、空隙に富んだ破碎帯に貫入したと考えられる。これはおそらく比較的地下浅い所で 600°C 位で岩漿の分別結晶化が急激に進行し、ガス圧が最大になったときの産物のようである。それに続いて熱水性の鉍液の進入があつたと考えている。

以上でこの地区の断層裂隙についての記述を終えるが、横間歩鐘について、2, 3 附加することにする。すなわち主剪断脈と考えられるこの横間歩鐘は延長 2,000 m に達し、鉍化作用を受ける前に何回か横間を行つている。それが同一方向ばかりでなく反対方向にも行つている。この運動によって粘土の生成や母岩の破片による充

填が起つて空隙の生成が著しくない。実際にこの鐘を採掘してみると、粘土脈と鉍化脈とが縄をなつたように交叉していることがわかつた。

2.4 足尾古生層地域の断層裂隙と水理

本調査の主要な目標である断層裂隙の通水通気性の解明のために、この地域の古生層中での最適地を選定すると、まず渋川沢とその直下を通過する連慶寺坑道である。第5図として地形図上に渋川沢の流域、河水流量測定断面、地表の断層露頭を示し、地下の連慶寺坑を地表に投影して示してある。本地域は渡良瀬川の upstream で山崩災害のはなはだしいところで、上部の凝灰岩および凝灰角礫岩層が崩壊して河床に厚く堆積して、表流水測定は困難と推測されたが、幸い3カ所砂防堰堤があり、かなり正しい流量を測定できた。最上流鈴ノ手沢口の測定では 916 m³/day、天狗沢は僅か 30 m³/day、連慶寺沢は 125 m³/day、最下流ダムでは 1,170 m³/day であつた。したがって鈴ノ手沢前本流から最下流ダムまでの全漏水量は測定値のみからすれば 90 m³/day となる。しかし天狗沢の漏水を考慮に入れると約 85 m³/day 位の漏水(消失)と考えねばならない。いま第1表としてこの結果を比流量で示す。これで見ると火山岩地帯の比流量は、測定期は丁度湯水期にあつてはいたが、1,000 m³/day/km² で、古生層中では 630 m³/day/km² となつている。渡良瀬川本流のこの時期における比流量は、約 800 m³/day/km² であるから、この上流部における



第5図 足尾銅山地域連慶寺断層と渋川沢との関係、渋川沢水の漏水状態

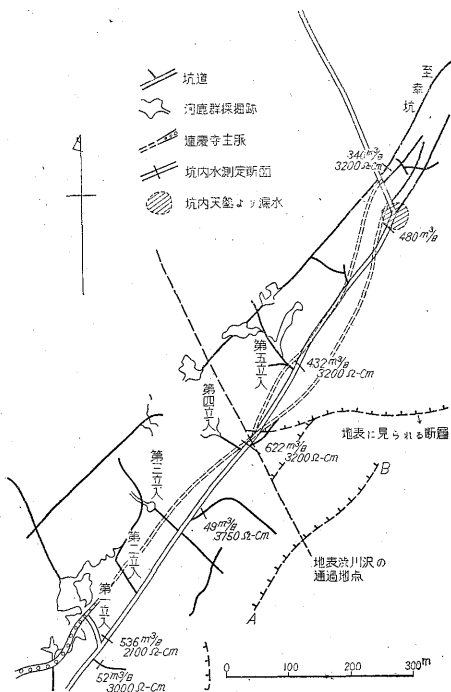
第 1 表

地 点	面 積 (km ²)	比 流 量 (m ³ /day/km ²)
全 域	2.52	510
鈴ノ手沢前	0.91	1,000
天 狗 沢	0.76	30
連 慶 寺 沢	0.198	630

1,000 m³/day/km² の値は大体正しいと思われる。

天狗沢の寡少流水は最近の鉦山側の研究結果では、この上流附近は火道と判定されていて Pyrophyllite 化作用が激しく行われた所であるので、吸水性が大きい結果であると思われる。さて地表でこれだけの流水があつて、これと平行して別に一部が地下に浸透して、不規則ながら一つの地下水面を形成しているとみられる。しかし表土下1m ではもはや基盤岩となつてしまうので、上記の比流量は主体的に表現すれば大体1気圧のもとで面積1km²、厚さ1m 体積中に含まれる水のうち、自由水となつて流出する部分についての値であると考えることができる。

さてこのような地表流の下に坑道を掘進した場合、どのような漏水状況を呈するか、特に断層が存在した場合どうなるかという点を取り扱つてみる。第6図によつて連慶寺坑道の延び、および坑道内の状況を示しておいた。



第 6 図 沢川沢と連慶寺断層との地下 80m における関係 (裂隙と漏水について)

地表の沢川沢が通過するのは、本坑の第4立入傍で地上河床まで80mの垂直距離である。そして地質状況を概観するため第2図に坑東端の位置を示しておいた。第3図は東西断面でこれによつても地質状況はよく示されている。以上の地質状況のみから漏水系路を予想すれば、チャートと、その上の流紋岩との間にある基底角礫層との間の不整合面がもつとも問題となる。

第 2 表

位 置	1m 当り流量 (m ³ /day)	比 流 量 (m ³ /day/km ²)
幸 立 入	0.4	150
天 井 漏 水	2.0	370
第 5-4 立 入	0.13	80
第 4-3 立 入	0.25	200
第 4-1 立 入	0.22	120
第 1 立 入 傍	1.20	590
平 均	0.70	250
丹 那 東 西 口	10.3	904
丹 那 大 出 水 地	37.0	3370

次に坑内における出水状況をみるために坑内流量測定を実施した。この結果から1m 当りの浸出水量を算定してみると第2表の通りである。幸坑入口から第5立入までの間の天井漏水地点では、2.0 m³/day であるが、このなかに幸坑入口から屈曲点までの間で、旧坑の水が排出しているので、これを除くと1 m³/day 位となる(漏水地点の長さ20m)。第5-4立入間では幾分低くなつて0.13 m³/day である。この区間は第6図に示す通り、連慶寺主脈が坑内に露われているが、これからの漏水はほとんどない。第4-3立入間ではもつとも問題となる地区で、南東の探鉱坑道から流出する水は、比抵抗も他のが3,200 Ω-cm 以下であるのに、3,750 Ω-cm あつてこの坑内では一番よごれていない水である。1m 当りでは0.25 m³/day であり大きな値ではないが、水質の点と地表沢川沢との位置的関係からいって、漏水の徴が濃厚である。第4-1立入間は1m 当り0.22 m³/day、第1立入傍の反対側から流れる水で比抵抗は一番低くて2,000 Ω-cm で1m 当り流量はかなり大きく、1.2 m³/day となつている。

第5図をみるとこの坑道の伸先には半円周状の断層があることがわかる。第2表の左側の数値は実測値であるが、地表水の漏水したと思われるのは第4立入から第1立入までの間がおもなものである。第2表の右側の比流量は、参考までに示したものである。その考え方というのは次のようである。

いま地表面との距離(坑道の天井から地表までの直距離)を第1因子とし、また坑道掘進によつて坑内を1気

圧、すなわち地表の圧と同じにしたとき(むずかしくいえばポテンシャルを0としたとき)、どの位の水が両側の壁から浸出するかということを、すなわち浸出力を第2の因子とし(盤圧はこのような堅い地盤では、おむね幅が狭く、坑道にかゝり、しかも天井よりも両壁面へかゝり潜在可塑性となつて残留するに至るので、いま仮りに10m幅をこの地帯として考える)、さらに坑道の長さを第3の因子として1km²で1m厚さの地盤内から自由水となつて流出する水量を、坑内比流量と名付けてこれを第2表の右側に示した。したがつて第2表左側の数字と、右側の数字とは必ずしも平行関係にはなっていない。渋川沢の水は上流では12,000Ω-cmで、天狗沢の濁水が混じてからは5,000Ω-cmに下降する。この坑内では坑内流自身も1m当り0.13m³/dayの割で、下盤側に漏水しているの、上述の計算値はいずれもこの漏水量を除いて坑内へのnetの増加量をもつて計算したものである。以上のような状態であるから、渋川沢からの直接の影響の現われているのは、第4立入から南西側である。したがつて屈曲点における天井漏水の原因は、第5図に示したように白砂沢の西方の山頂近くにある屈曲した断層によるものと思われる。しかし山頂附近のことで、特別の供給水源もないようであるから、この坑内までの約330mの間で地層から供給されたしほり水程度のものと思われる。いまこれに関してきわめて大胆な計算を実施してみる。この断層の長さ200m、実際の断層面の幅は小さいであろうが、破碎帯を水理の方から考えて10mとし、坑内では5m幅で現われているとする。垂直差は260mであるからその体積は0.00013km³である。幸立入で求めた比流量は150m³/day/km²であるから、これを1km³に戻せば150,000m³/dayである。これから0.00013km³のときの値を求めると20.5m³/dayとなる。実際にもこの程度の漏水である。

以上の計算は偶然にも実際と一致したが、まだ不分明なところがあるので今後の研究を必要とする。いずれにしてもこの古生層地帯は坑道が比較的浅い所にあり、平均深度130m位である。このような所は地表の影響を受けやすく、それに加えて断層裂隙が沢を横断して存在しているので、このような水分の多い坑道となつたものであろう。同じ断層といつても、円形または半円形のような断層が、もつとも漏水を起しているようで、地下水面がそこで漏斗状に下降しているのである。第5図のA~B, C~D, E~F, G~Hの各断層が坑内へ漏水現象を起す主役を演じているようである。

2.5 足尾流紋岩複合体内の断層裂隙水理

(1) 通洞地並の各断層裂隙と水理

最北の神保鍾の奥から流出する水量は、95m³/dayで

あつて、1m当り水量は0.095m³/dayとなる。これはこの水準より350m高い地表から坑内へ延びてくる(第2図参照)厚さ約40mの基底角礫岩層の末端から浸出する水で、比抵抗も7,600Ω-cmであつて連慶寺坑とは断然異なつた高い値を示している。これを前回と同じく比流量を算定してみると(この場合は直上の地表までの距離でなく、この湧水に関係する基底角礫岩層の体積を求める。)90m³/day/km²位となる。これは連慶寺坑の第5-4立入間の値に近似している。連慶寺坑の場合も基底角礫岩層の下を通過していると考えられる。

第3表

位 置	1m当り流量 (m ³ /day)	比 流 量 (m ³ /day/km ²)
通洞神保鍾	0.095	90
布袋立坑	0.15	37
横間歩鍾	0.53	30
横間歩一光盛	0.35	50
25号鍾	0.022	7
上3神保鍾	0.30	200
下4坑道	0	0
平 均	0.21	59

次に布袋鍾坑道では1m当り流量0.15m³/day、比流量は37m³/day/km²、水比抵抗値は3,200Ω-cmである。

流紋岩体内の裂隙のうち最大の横間歩坑道では、これが通洞と合流する直前の流量が490m³/dayである。しかし水の比抵抗値が6,000Ω-cmであるので、これははなはだ地表水に近い性質のものである。従来は同質な流紋岩体と考えられていたが、最近の鉦山側の調査では、上4坑道以上の水準は主として凝灰岩・凝灰角礫岩・熔結凝灰岩の互層で、むしろ水平に成層がよく発達している。したがつて横間歩坑道へでる水のなかには、この上位から浸入した水がかなり多く加わっているとみなければならぬ。この1m当り流量は、0.53m³/day、比流量は30m³/day/km²である。横間歩鍾から光盛鍾間では900m³/dayの流量で、1m当り流量は0.3m³/dayとなり、比流量は43m³/day/km²となる。水の比抵抗値は1,550Ω-cmと急激に下降している。

その南の25号鍾坑道は流量もつとも少なく、僅か15m³/dayであつて、比流量も7m³/day/km²、水比抵抗値も1,500Ω-cmという低い値である。これは天狗沢火道に近づくためと思われる。第3表に以上の結果をまとめてあるが、思つたより流出量は少ないものである。これと丹那隧道掘進の際の出水状況とを比較して、雲泥の差があることがわかる。

(2) 上4坑道における裂隙水理

上4坑道の神保鑛奥から流出する水量は、 $360 \text{ m}^3/\text{day}$ で水比抵抗も $8,000 \Omega\text{-cm}$ に達する、もつとも地表水に近い水である。これは1m 当り流量は $0.3 \text{ m}^3/\text{day}$ となる。この水は通洞地並の神保鑛の水が、基底角礫岩層から浸出してくるのに対して、その上層の火山角礫岩層を浸透してくる水である。これも通洞地並の場合と同様にして比流量を計算すると $200 \text{ m}^3/\text{day}/\text{km}^2$ となつて相当大きな値である。

(3) 下4坑道

こゝは全然流出している水はなかつた。

2.6 足尾地区内における裂隙水理の總括

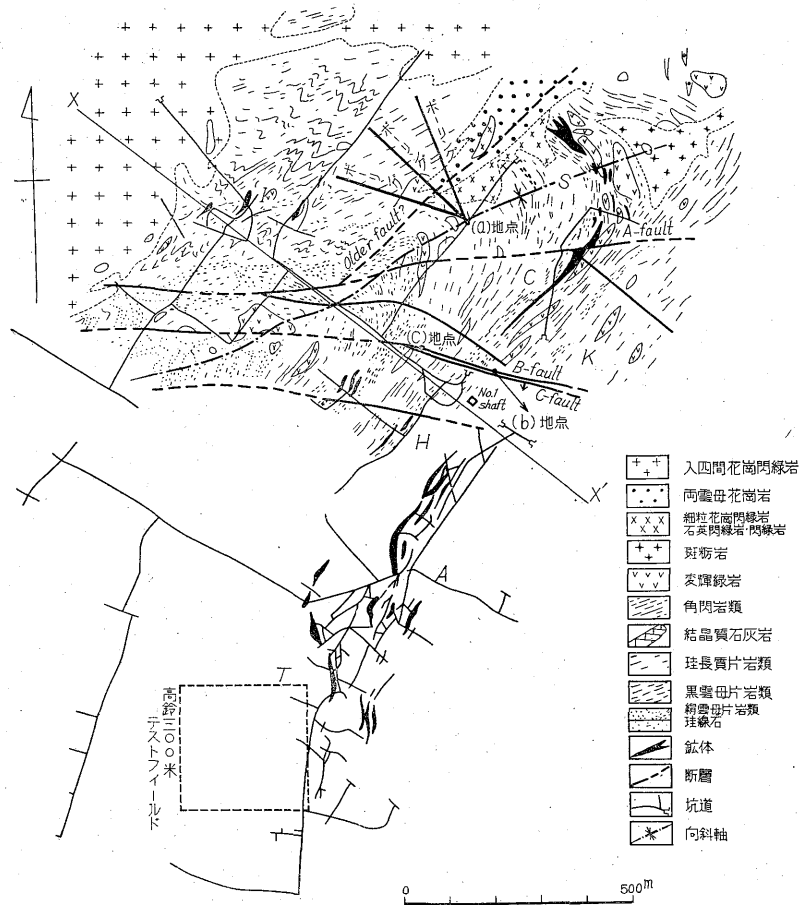
足尾地区においては、古生層にせよ噴出岩層にせよ、その水理は、1) 地表からの深さ、2) 岩石固有の附加水分 (大略 $0.1\sim 0.3\%$)、3) 歪のあり方 (潜在可塑性)、断層裂隙の形態と構造、4) 岩石のもつ物理的特性、5) 地表からの水の供給の有無、6) 坑内の湿度と温度等の幾多の因子が複合して生じている現象であるので、簡単にこ

れを規定することは困難である。そこで今回は坑内の長さ流出水量という見方と、地表までの垂直距離に多少圧力の考を入れる見方との、2つの方面から山体内の水の状態を取り扱つた。

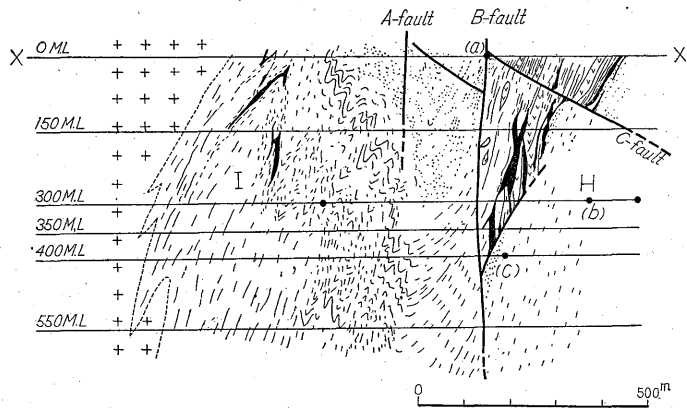
前者は実測値であるから信頼されるが、後者は新しい表現で、その可否についてもかなり疑問の点もあるが、一応併記しておいた。次に簡単に総括すると、

1. 連慶寺主脈に対する泖川沢の水理的関係は、確かに認められるが、その影響は第4立入から第1立入までが主体であつて、第5立入から幸坑入口までの異常漏水は東方の屈曲した断層によつてもたらされたものである。泖川沢からの漏水量は、1m 当り $0.96 \text{ m}^3/\text{day}$ で、全量では $415 \text{ m}^3/\text{day}$ と計算される。たゞし坑床からさらに下盤に漏水するものも含めた計算値である。この測定時期は3月初めの湯水期であつた。

2. 足尾流紋岩複合体内では上位の火山角礫岩層が最大の透水率を示し、1m 当り $0.6 \text{ m}^3/\text{day}$ 程度の湧水能



第7図 日立鉱床の地質と断層裂隙系統 (0m 地並における)
(島田衛: 鉱山地質, Vol. 15, No. 16による)



第8図 日立鉱床東部地質断面と断層裂罅系統 (a) (b) (c): 放射能測定位置を X-X' に投影 (島田衛: 鉱山地質, Vol. 15, No. 16による) (凡例は第7図と同様)

力があるとみられる。これは連慶寺の高い漏水地帯に次ぐものである。どちらも基底角礫岩層と密接な関係がある。

通洞地並では、横間歩および横間歩—光盛間がほぼ同じ値であるが、水質の点からみると横間歩坑道の水は地表水の影響を顕著に示しており、地表から漏水しているのではないと思われる。ところが光盛坑道の水比抵抗が低いのは、同じ地表から供給されたとは考え難い。火道に近づくためにハロゲン元素が多くなるからと思われる。

足尾の古生層の透水性と、火山岩層の透水性とを比較すると前者が後者の3倍に達していて、常識と反対の結果を示している。これは地表からの深さが大いに関係してくるためであろう。平均深度が、後者が前者の3倍近くであることも一つの理由であろう。なお断層裂罅の通水性も大いに関係しているとみられる。

3. 日立鉱山地域の裂罅水理

3.1 日立鉱山における断層裂罅と水理

日立鉱床は層状含銅硫化鉄鉱床で、変輝緑岩の剪断帯に生成した鉱体であつて、第7図平面図および第8図 X-X' 方向の断面図によつてその大勢を察することができる。附近の地層は古生層と多くの変成岩および諸種の火成岩から構成されている。成層岩はおもむね NE-SW に走り、一般に南東に傾斜するが、日立鉱床附近では逆に北西に傾斜し、鉱床は大要この層理に平行して胚胎している。

構造上注意すべきことは、この地域が大きな向斜構造をなし、みごとな母岩の線構造が発達し、向斜軸に沿つて火成岩の噴出があることと、ずつと後期にこれらの成層を横断または斜断する大断層が存在することである。A・B・C・Dがそのうち特に注目されるものである。

そのうち今回B断層およびこれの二次断層について主として取り扱つた。これらの断層は、いずれも急角度で鉱体を截り、上下盤の岩石に角礫化および粘土化が生じている。これに伴う火成岩の進入はなく、変質作用はほとんど認められないという。

3.2 各断層の特色と放射能探査

放射能測定が断層発見の一つの手段として、利用するか否かを知るための調査も今回実施した。

この方法を実施した動機は、物理探査部の岩崎章二らが生野・明延鉱山における坑内放射能探査を実施した際、裂罅充填鉱床(主として銅・鉛・亜鉛)に近づけば、放射能が異常に低下する事実を発見されたのと、また別に筆者が熱海温泉調査の際、湯道発見の1方法として現場において多くの試錐コアの放射能を測定し、湯道に近づくほど放射能が低下する事実によるものである。その後岩崎章二の談話によれば、同じ充填鉱床でもモリブデンを含有していると、必ず鉱体の所で放射能が高くなる由である。こゝではまずその憂はないようであつた。使用機械は科研式 U.S. P 1型 survey meter で、同時に鉱山側から Phillip 型 survey meter 3個で同時測定を実施して、その平均値を求めたのである。日立鉱山側では早くから坑内の諸種岩石の放射能が測定してあつた。鉱山側の特別の好意によつて、これをこゝに掲載することができた(第4表参照)。

この表によると、坑内の測定値は坑外よりも低くであることがわかる。その理由としては一つは一般に変質帯は低い測定値を表わし勝ちであり、坑道は特に変質帯を通過していることが多いから、二つには坑内のため宇宙線が遮蔽されるからという考え方があるが、両方が混合して表われているのであろう。この表をみるともつとも塩基性の変輝緑岩が最も低い値を示し、絹雲母片岩・閃緑岩・両雲母花崗岩・巨晶花崗岩の順に放射能が高くなつ

第4表 日立鉱山各種岩石の放射能測定 (坑内における)

岩石名	計数值 (c.p.m.)	備考
角閃片岩	12.0	
絹雲母片岩	17.0	
珪質角閃片岩	13.5	
黒雲母片岩	12.0	
緑泥片岩	11.0	
石英	11.5	
変輝緑岩	10.0	
花崗閃緑岩	23.0	(最小26 最大52)
巨晶花崗岩	36.0	
緑泥角閃片岩	11.5	
緑泥珪質角閃片岩	12.2	
緑泥黒雲母角閃片岩	10.5	
閃緑岩	19.0	
鉍石	13.0	
坑外自然計数	18.3	神戸工業 S.M. 3型

註) 本資料は日立鉱業所の特別の好意によるものである
計数值は同一岩種につき 50 個以上測定されたものの平均値である

ている。本山の坑内で最も注意すべきことは、カリを含んで放射性を有する絹雲母片岩の存在である。測定の際

岩石の種類をよく弁別して放射能強度との関係を、よく検討する必要がある。各坑道については 90 分の 1 の坑内図があるので岩層図と照合して最も適当な場所を選定して測定を実施した。

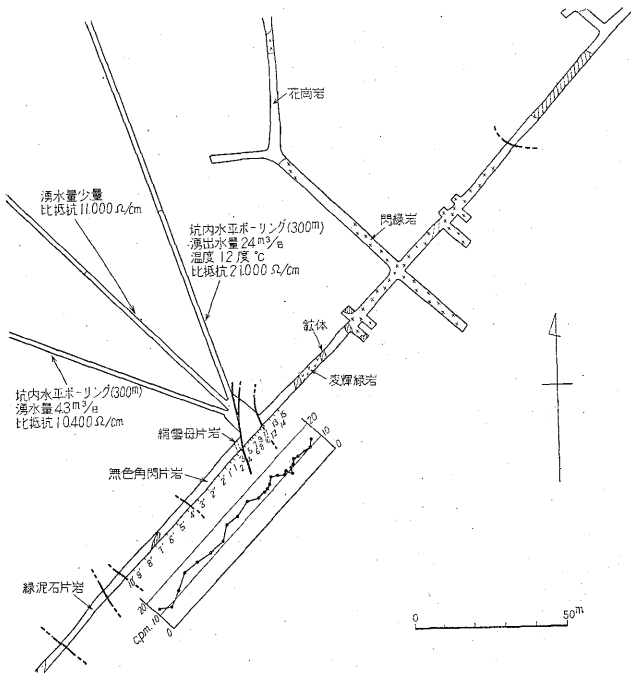
(1) 入四間零 m 前東 (第 9 図) の無名断層

この断層はほぼ南北に走り傾斜東へ約 60° である。主要断層線の傍に絹雲母片岩の露頭があるので、そこだけ放射能がやゝ高くでている。一般的に鉍体に近づくに従って低くなっているが 10', 3', 5, 11, など断層の近くでは幾分高くなっている。これは後述するように二次的な副生断層の特色である。

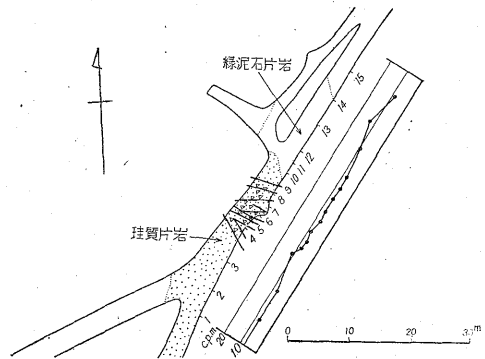
(2) 神峯—300 m 水準の B 断層 (第 10 図)

坑内で B 断層の露頭がみられるのはこの位置である。B 断層はほとんど垂直の断層で、10 m 位の破碎帯を伴っている。そしてこの断層の特色は、上下の落差がほとんどなく、水平に 5 m ずれているだけである。岩質は図に示してあるように、珪質片岩と一括してあるが、いろいろな片岩の混成している所である。岩石固有の放射能としても低い所である。さて測定の結果をみると、全体的に低いが、特に 6 から 13 までが特に低くなっている。そして低い部分の始めと終りに必ず多少高いピークが存在する。これは熱海温泉試錐コアーも同じ傾向がある。これほど大きな断層であるが、この位置では断層面からの浸出水は全くない。落差は低くてもこの断層が活動したときにはかなり激しい沁りがあつたと思われる。

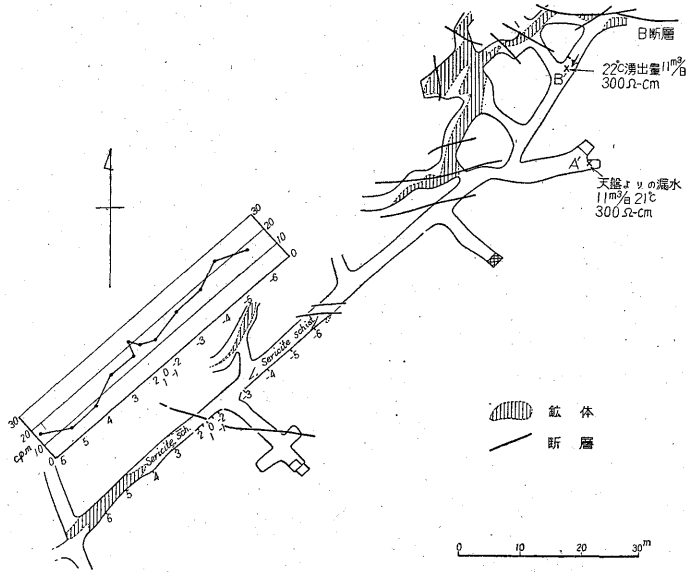
しかし粘土は存在していない。破碎帯の壁岩の角礫化をみるのみである。昔はここを通つて表流水の流下もあつたと思われるが、風化の痕跡もとどめていない。全く新鮮な破断面である。剪断力が大きなものであつたから、揮発性の放射能物質 (Radon 等) が両側へ押しつけられたと考えれば、多少合理的に説明できる。生野・明延の調査結果からも同様な結論が得られている。



第 9 図 日立入四間零 m 水準における断層裂罅と坑内湧水(試錐孔から)状況



第 10 図 日立鉱山神峯地下 300 m 水準の B 断層 (番号は放射能測定位置)



第11図 日立第二本坑地下400m水準B断層の漏水状況と附近断層の放射能探査

(3) 第二本坑-400m 水準断層附近の二次断層 (第11図)

この地区のB断層は、坑道の連絡が悪くて両側から測定できないので、単に漏水状況の調査にとどめ、別にB断層から90m南西のB断層に伴なって、二次的に派生した小断層の放射能を測定した。こゝでは主要断層が絹雲母片岩中を通過しないので、測定には好都合であった。こゝの測定結果で注目すべきことは、断層線の所で大きな放射能のピークがでたことである。

この実例と(1)の実例とを照合してみると、どうも二次生成の断層では放射能が高くなる傾向を示す。以上の結果からみて、B断層のような compressive な主要断層(圧碎化を主体とする)では放射能が両盤へ逃げるためか、中央では低くなつて負のピークを生じ、(1)、(3)のような二次的の派生断層ではむしろ展張性で開口しやすく、上部から粘土や岩石の細片が流入して、Radon その他の放射能性ガスを貯溜しやすい状態にあるためこのような正のピークを示すのであろう。

3.3 日立鉱山各坑道における湧出水

日立の場合は足尾と異なつて、山体内部(坑道の両壁附近でなく)のかなり深い所からボーリングによつて出した水を取り扱つた。日立鉱山の全山排水量は約10,000 m³/dayで、大鉱山としては少ない方である。この時期は地表の川で水の流れているものはほとんどなく、遙か南方の金山沢が多少流れているだけであつた。したがつて地表からの漏水状況を調査する手ずるがなかつた。

(1) 入四間零m坑道における湧水(第9図参照)

この地点では300mの水平ボーリングを3本、60°の

扇形に実施してあつた。右端の方は24 m³/dayで水抵抗21,000 Ω-cm、中央は水量は少なく比抵抗は11,000 Ω-cm、左端は4.3 m³/dayで水比抵抗10,400 Ω-cmで西偏するに従つて水質が悪くなつている。試みに右端のもつともよくでる孔口内の流速を計算してみたら0.03 m/secとなつた。各孔の湧水点は判然としないが、おそらく近い所であろう。第7図の地質図上に投影してみると、両雲母花崗岩侵入の裂線である旧断層をいずれも横断している、この辺ではないかと推定される。大体孔口から100m位の位置である。そしてボーリングの際帯水層に遭遇すると3~7 kg/cm²の圧力を受けるという。これは丹那隧道建設の際の250 kg/cm²とは比較にならない低い値であるが、この水のない地帯でもよくこの位の圧力があるものと異様の感がする。しかし現在ではほとんど圧力はなくなつている。水質の点からみると地表水と全く同じである。

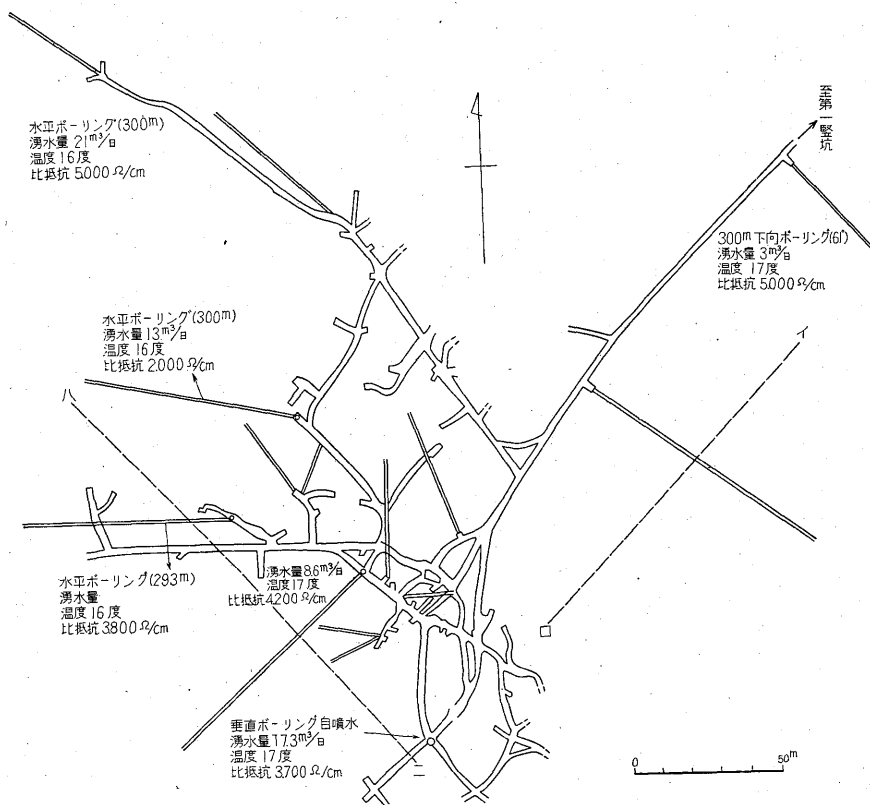
(2) 神峯-300m B断層附近(第10図)

こゝは特に湧水と思われるものがなかつた。第1立坑傍の坑内排水を測定した。

流量は830 m³/dayであるが、-250m水準からの水が加わつているのでこれを除くと400 m³/dayで1m当り、流量は0.25 m³/dayである。水の比抵抗は1,050 Ω-cmで著しく低い。

(3) 高鈴坑-300m水準における湧水状況(第12図)

この地域は比較的水のよくでる地帯で、このうち、300mの水平ボーリングからでるものが確認しただけのもので、合計42 m³/dayでこのうちボーリングの際17 kg/cm²の圧力で掘進できなくなつたボーリングが1



第12図 日立鉾山高鈴地下300m水準における試錐孔からの湧水量

カ所あつた。そのときのこのボーリング孔からの排水は、 $84 \text{ m}^3/\text{day}$ であつた。このボーリング孔も現在は棄れている。おもな湧水地点は84mの所であつたという。これらの湧水の比抵抗をみると、 $2,000 \sim 5,000 \Omega\text{-cm}$ で入四間零mのボーリング孔湧水に比較して大分低くなつている。深くなれば比抵抗値が低くなり、地表に近くに従つて高くなるのは当然のことであるが、このような鉾山の場合は、鉾体から溶出する電解質の増加による低下があるので充分注意する必要がある。なおこのほかこの地区には傾斜ボーリング、垂直ボーリングから湧出する水がある。第1立坑からの 60° の傾斜ボーリングは深度は240m位であるが、自噴性のもので $3 \text{ m}^3/\text{day}$ の水を湧出している。水の比抵抗はこの附近で割合に高い方で $5,000 \Omega\text{-cm}$ 、これより250m南西の垂直ボーリングはもつと自噴力が強く、 $17.3 \text{ m}^3/\text{day}$ で、水比抵抗が $3,700 \Omega\text{-cm}$ である。この圧力の強い水は先に述べた 17 kg/cm^2 の圧力をだしたボーリング孔の水みちと、なんらかの関係がありそうであるが、適確な証拠はみあたかなかつた。むしろこれは第1立坑からの傾斜ボーリングと関係がありそうである。一般にいつてこの水準では北

西側が一番水圧が強く、南東側へ移るにつれて水圧が弱くなるということがいえる。換言すれば向斜軸部に近づくほど水圧が強いともいえる。

(4) 日立第二本坑B断層附近(第11図参照)

この地点は鉾体をB断層が切つている所であつて、やや水温の高い 22°C の水が $22 \text{ m}^3/\text{day}$ (2カ所の合計)湧出している。 -300 m の水準のB断層からは水の湧出はなかつたが、 -400 m に至つてはじめて湧出をみたのである。しかしこの水は比抵抗が $300 \Omega\text{-cm}$ という極端に低いものであり、温度も他の湧水よりも少なくとも 5°C は高いが、これは硫化鉄の酸化熱によるものであろう。したがつてこの湧水は漏水ということになる。しかし出水地点が明らかでないので判断できなかつた。おそらく旧坑のたまり水がこの断層面を通つて排水されるもので、地表と連絡のある水ではないであろう。

以上で日立鉾山の坑内の湧水状況の説明を終るが、いずれも試錐孔からの湧水を取り扱つたので、足尾の例との比較は困難である。しかし全般的にいつて足尾よりは流出量が少ないことは確かである。

4. 結 論

1. 足尾・日立両地区の調査によつて知られた事実は、こゝの流紋岩のような第四紀に噴出したと思われる岩体は、予想に反して坑道掘鑿によつてポテンシャル0になつても流出水が割合に少ない。漏水はおもむね角礫岩層や火山角礫岩層のような水平に近い層に沿つて浸透するものが大部分で、これに次ぐものは、断層裂罅が上部の凝灰岩層に達しているものが湧出する裂隙水である。これらはその水比抵抗値の高いことで割合容易に弁別される。

2. 古生層は従来の経験によつても、掘鑿に際して特殊の変質岩を除いては水が少ないものとされていたが、連慶寺坑道のように断層で切られる場合とか、不整合面があるときにはかなりの漏水がある。足尾の連慶寺坑の漏水量は足尾流紋岩体の約3倍に達している。これは地表からの深さも大いに影響していると考えられる。

3. 日立においてはこの地区が主として変成岩体であるため、珪化変質がすんでいて、絹雲母片岩以外の岩石は風化に対して比較的強靱で、水が存在しうる所は岩質の不均質の場所であるか、開口性の断層の所であつて水路は成層面に平行かまたは直角か方向をとるものが多く sheet flow か pipe flow になつていて、圧力をもつた被圧水である。調査地点がいずれも向斜軸の南東翼であつたが、鉱体に近づけば水比抵抗は低くなり、遠ざかれば高くなる一般的傾向を示している。

4. 断層について放射能測定を実施した結果、主要な圧碎型の断層では放射能物質が両側の壁に押出されているようで、中央に負のピークを示し、これに伴つて生じた展張性の二次断層では放射能物質が保存されて中央で放射能の正のピークを生ずる。

(昭和31年2月調査)