

岩盤割れ目と透水性について

近 藤 信 興*

On Fissures and Percolation of Water in Rock Formations

By

Shinkō Kondō

Abstract

The author makes a theoretical explanation of the underground water in rock formations and applied it to the gallery driven in the famous ore deposits in Japan, especially in the Akenobe, Besshi and Ogoya mines for the purpose of studying rock fissures and water in them. The results obtained from these surveys show the interesting form of water distribution and are able to solve some problems about some other groundwater circulation in rock formations found in the mining area.

要 旨

岩層中の地下水を理論的に説明するのに、割れ目は地下でそのままの状態でないといわれないので、鉱山の坑道を利用して地下水の賦存状態を説明した。調べられた主要鉱山は明延・別子・尾小屋などであつて興味ある地下水の賦存を調べることができた。なおそれを応用して他の岩盤内の水の問題をも説明してある。

1. 緒 言

地下資源と岩盤の単なる割れ目とは、縁が遠くてほとんど関係がないようである。しかし地下水・温泉・天然蒸気が資源として取り扱われる現在では、これらはいずれも割れ目のお蔭ででてくるので、その実、きわめて密接な関係にあるものといふことができる。割れ目の研究を思いついたのは、実は水・蒸気を研究するのに割れ目を調べなければ、地質学的の検討はできないという結論に達したからである。特に地下数 100 m というような深い所の割れ目を調べることに於いてしかりである。

そこで岩盤割れ目を研究するのに、一体どうしたらまとまつた答をだすことができるかということを考えてみると、徒らに山谷を歩いただけではでてこないし、単にボーリングを行つてみても、大局を支配するような大きくて長い割れ目は解くことができない。地下の割れ目は複雑であるといつてしまえばそれまでであるが、水や蒸気を透しうる割れ目ということに限定すると、その範囲が大分狭くなつてくる。不規則なしかも空隙のある岩盤割れ目を直接取り扱つた文献はほとんどなく、割れ目のなかの地下水の理論をたてるにしても、仮定があまりに多

くなつて、まつたくもあまし気味の代物である。しかるにたゞ地下深い所の割れ目をもつとも自由にみることのできる一番よい例は、開発鉱山の坑道内であることに気がついた。地下 1,000 m にも達する坑道内ならば、割れ目の解決に関して、なんらかの糸口がだせるのではないかと考えたからである。割れ目のなかには透水性のもの、不透水性のものがあり、透水性の割れ目は坑道内でみると、必ず地下水が浸透してきているから、見逃がすことがない。したがつて鉱山の坑道内の地下水を調べることによつて、逆に割れ目すなわち透水性、あるいは透蒸気性を研究することができると思つた。

本報告は以上のような考え方から、初めて調査を試みたいわば初陣であるから、ほどよくまとまるかどうか、はなはだ疑問であつたけれども、結果は案外に面白く、しかも予想外の結果を得たので、報告を取りまとめてみた。たゞし岩盤内の割れ目と水に関する報告は、自分個人としては最初のもので、現在までの知識では、その内容が非常に幼稚なことがらに終わつているかも知れない。これは今後大いに発展させて行きたいと思つている。それから後に尾小屋鉱山と大日川貯水池計画に関する係争問題について学術面の説明を試みた。これはいま行つている割れ目の研究結果で説明してゆくと大変都合のよい例であつて、難かしい試験をしなくても済むように感じたのであげてみたのである。これがなんらかの参考となれば幸甚である。

2. 調査研究の概要

初頭に述べたような考え方に基づくと、地下深い所の

* 地質部

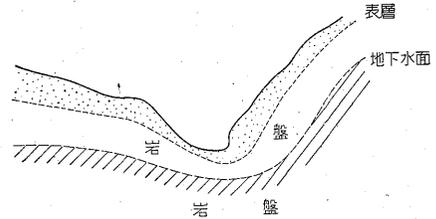
割れ目をみるためには、なるべく深い所の坑道をもつような鉱山を選ぶべきであるから、自然と歴史のあるような大鉱山を選ぶことになる。いままでに調査し得た鉱山は、生野・明延・柵原・中竜・尾小屋・別子の各鉱山等で、この研究については種々とお邪魔をし、かつ現場では坑内技術者の方々に大変お世話になった。また調べ得た結果も千差万別であつたが、大きな取りまとめとしていえることは、水あるいは蒸気を透すような割れ目は地下深い岩盤には、はなはだ少ないということである。つまり多くの鉱山では、大割れ目は非常にまれであつて、地下水もごく少なく、深い坑道内で地下水を求めるのにむしろ苦心を要する位である。もちろん以上の鉱山は、大体金属鉱山であつて、その母岩が割れ目、空隙に富まない岩盤であつたから、このような結論になつたのかも知れない。それがもし常磐炭田のような特殊な鉱床の割れ目を初めからみているのであつたら、それこそ温泉の湧出で長年月苦勞している現状をまざまざと目のあたりみるのであるから、以上のような結果はでなかつたかも知れないし、事情が難かしくて取りまとめもできなかつたかも知れない。実は最近になつて常磐炭田坑道も是非一度見たいと思いつつ、まだその機会を得ないものである。そこで割れ目の研究も最初から複雑なものには飛び込まないで、まず簡単なものからはいつてゆくのが本筋であることを特に感じた。

3. 岩盤の割れ目

地球上にみられる岩石あるいは岩盤は、その種類がきわめて多く、種々雑多である。火成岩・変質岩・古期の堆積岩などは、岩盤には違いないけれども、第三紀・第四紀の堆積岩となると、岩盤と称してよいかどうか問題のものが、これまたしばしば多数にでてくる。例えば現世のまだ固まらない砂・粘土・礫の層は、学術上では岩層とは呼ばれているけれども、岩盤というにはきわめて難色がある。そこで岩盤と岩層でないものとの区別はどうするか、あるいはどの辺までを岩盤と呼んで、それ以外は岩層でないという定義でもあるかというに、確とした定義もない。つまり硬さで岩盤を表わすことがはなはだ困難である。これとまったく同様に岩層に対して、その透水性によつて岩盤であるか否かを定めることもまったく困難である。そこで前置きとして、こゝで取り扱う岩盤の割れ目というのは、その岩層ができあがつて後に、なんらかの変動によつて割れ目、すなわち不規則なしかも連続した空隙を新しく生じたものを一応岩盤の割れ目と考へて、岩層を構成している岩石、鉱物粒子間の有する空隙ではないことをあらかじめお断りしておく。

4. 岩盤中の地下水賦存の推定

地表から比較的浅いところに、岩盤が賦存するところは、平野地ではなくて、山手あるいは奥地に限られる。したがつてその地形は山あり谷ありで起伏ははなはだしく、その断面は、例えば第1図に描いたようなものであるとすることができる。このような地形に対して

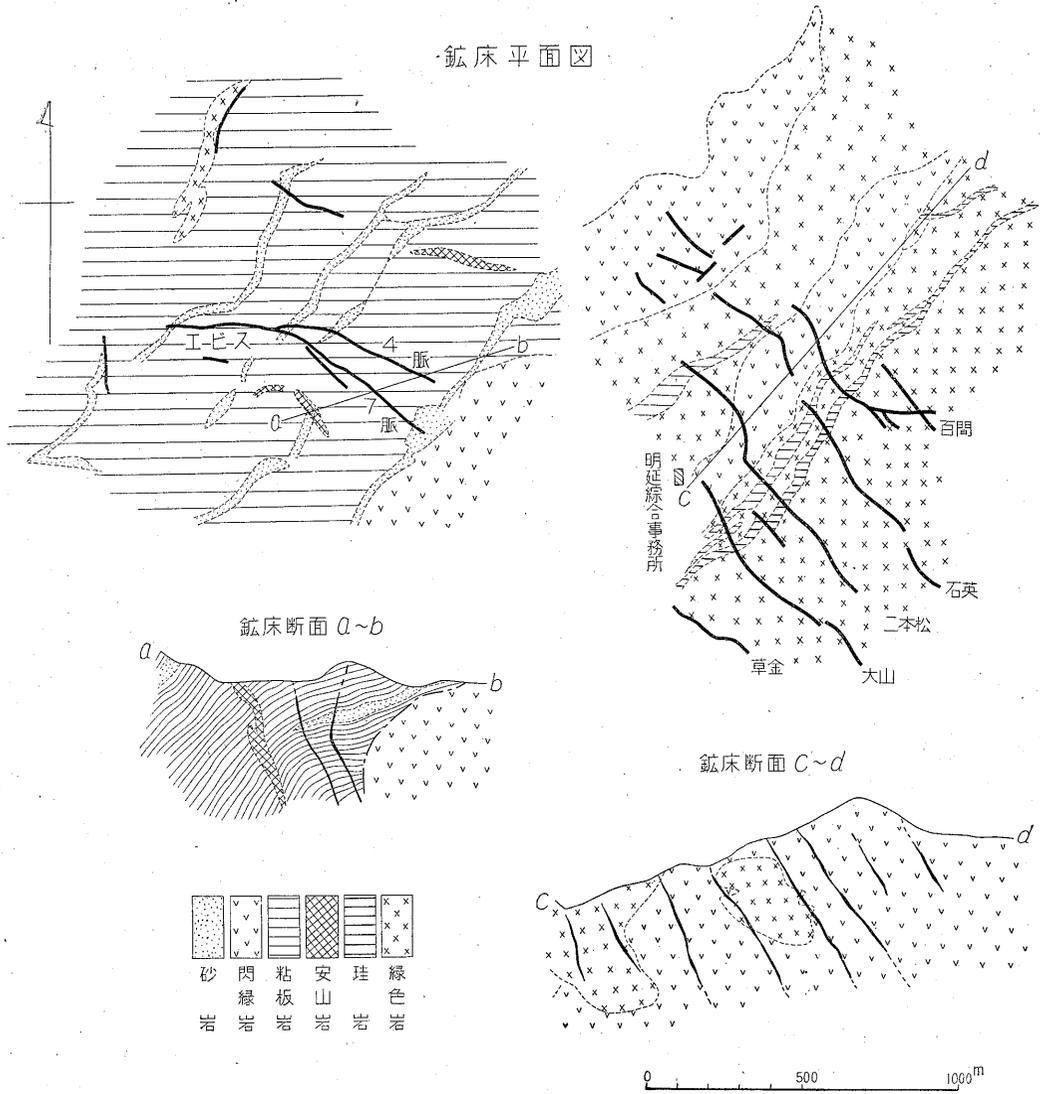


第1図 一般地形の岩盤の地下水賦存推定図

雨が一樣に降つたとすれば、その水の集まりは一部表流となり、また一部は浸透し、表層を通じて地下にもぐり。そして地下あるところで岩盤に突当り、岩盤に割れ目の空隙があると、そこにさらに浸透して、割れ目の続いている限り、水は浸透するであろう。その場合の割れ目のなかの水はいわゆる岩盤割れ目の地下水である。

割れ目のなかにはいつた地下水は、岩盤が石灰岩のようなものだと、鐘乳洞のような大空隙があつて、水はいくらでも縦横に流れるが、こんな例はむしろまれであつて、普通の岩石では割れ目が小さいから、どこまでも流下することができないで、ある位置の空隙の間に溜らざるを得なくなる。溜ると今度は空隙が一杯になつて、水位が段々に上昇する。降つた雨量によることではあるが、雨量が少なければ水位は下の方に、反対に雨量が多ければ、割れ目は一杯となり、遂には溢れる。1個の割れ目についてこのようなことが成り立つならば、多数にわたる一樣均質な割れ目が岩盤にあると仮定するならば、個々の割れ目の水位をある広い面積にわたつて調べると、ある平面水位ができる。これをわれわれは岩盤のなかの地下水面と呼んでいる。そしてこの地下水面もまた砂礫層の有する地下水面と同じように、大体その地形に従がつて地下水面の形もできあがると考へるのが普通で、それを断面に入ると第1図のようになつて、こゝまでは専門家である以上誰でも常識としてすでに知っていることである。

しかし岩盤のなかの割れ目は一樣均質でないのが普通である。狭い範囲内で断層あるいは構造線がある場所に多く集まつて、それ以外の所は岩石が全然塊状をなし、なんらの歪を受けていないことがあるのは、岩層の場合きわめて普通のことであつて、これは岩盤の割れ目が均質でないという充分な証拠である。そうすると地下



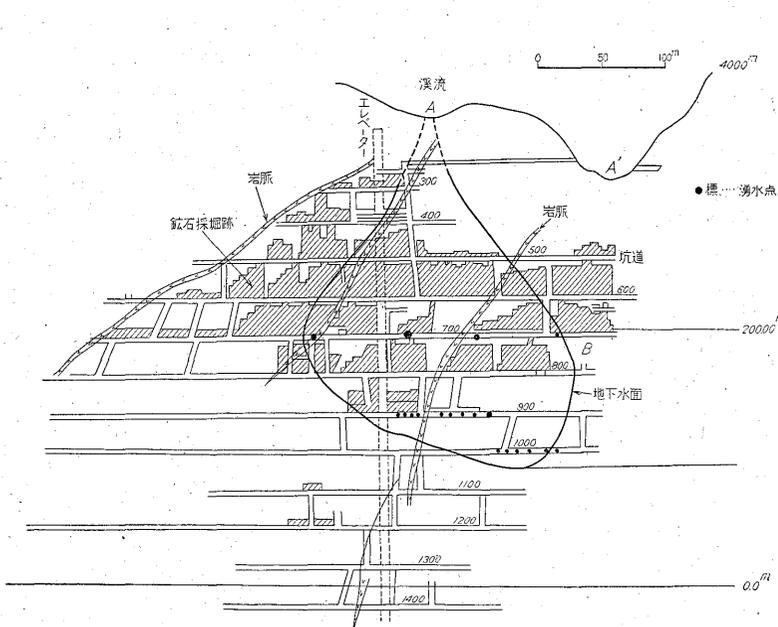
第2図 明延鉾山鉾脈分布図

水の配置も自ら変わってきて、割れ目のあるところには水があつて、地下水面を有するけれども、割れ目のないところには水もなければもちろん水面もなく、まったく乾燥状態であるはずである。このように考えると第1図に書いた地下水面では不均質な岩盤には適用できなくなり、書換えなければならぬ。それではどんな形をしているかという、それは千差万別であるから、実例で説明するよりほかに適当な方法はないであろう。以下2, 3の鉾山坑道内で調べた地下水賦存の実例を紹介してみる。

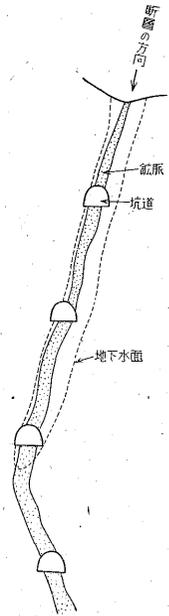
5. 明延鉾山の割れ目と透水性

明延鉾山は兵庫県養父郡南谷村にあつて、周知のよう

にわが国著名鉾山の一つである。鉾床の探査は現在次第に西方に延び、新鉾床の数も相当多数に及んでいる。鉾床型式はみな鉾脈型であつて、母岩の断層に沿つて銅・錫・亜鉛等の鉾石を胚胎する鍾が70°位の傾斜をなして地下深く落しており、その平面略図は第2図のようなものである。ところで鉾脈型の鉾石の採掘は、上下30~50m間隔で採鉾坑道を切るのが普通で、明延では30m間隔にそれがあつて、各坑道に通ずる立坑エレベーターがほぼ中央に設けられている。今回調査ができたのはそのうちの4脈鉾床と7脈鉾床であつて、4脈においてはその坑道が地表から400m下に、また7脈では380m下にも達している。第3図は明延鉾山の4脈について実際に採掘しつゝある坑道縦断面を示してある。したがつてこ



第3図 明延鉱山4脈鉱床坑内縦断面図

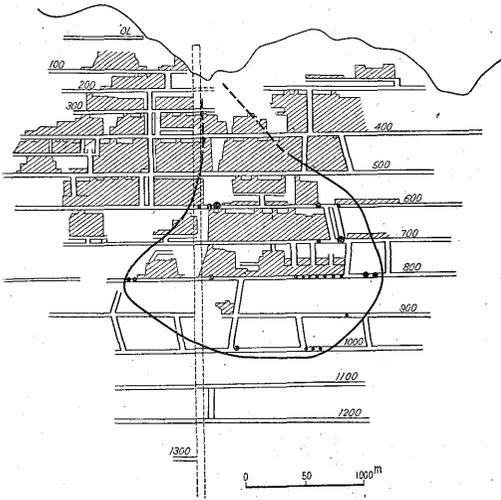


第4図 4脈鉱床横断面図(擴大)

れには鉱脈の拡がりはでていないが、厚さはでていない。第4図には鉱脈の横断面をあげてあるから、これと併せれば4脈鉱床の型態は大體想像することができる。

この鉱床の上部から下部まで坑道内を全部歩いて割れ目を見ると、割れ目は多種多様であるけれども、水を透すような割れ目となると非常に少ない。そして水を透す割れ目は、水が坑道内の水路に湧出しているから、歩いている間に見落しする心配がない。そこで湧水のあるところと、湧水が全然ないところをはつきり区別して、坑内湧水位置を図面にありのままに記入しておき、その湧水量もついでに測定しておく。坑道の湧水箇所には必ずある範囲があつて、その範囲を通り過ぎると乾燥状態となり、よしんば断層空隙がその範囲外に長く延びていても、もはや水は湧出していない。それと同様に下に向かって何段も坑道内をみてゆくと、ある深さまでは水量があるが、下部坑道となると水量が段々減少し、湧水箇所も減ってくる。もつと下の坑道に行くと、水はもはやぼとぼと落ちる程度となり、さらにその下部坑道では遂に乾燥状態となつている。第3図の黒まる印は湧水的位置を表わし、印の大きさは湧水量の大きさを表わすとすると、湧水範囲のほど中心部が湧水量が最も多いことがわかる。いまその湧水範囲を実線でおさえると、丁度囲まれた形が昔名付けられた金着の形をしていることがわかり、なおその金着の頂上を調べてみたら、その真上が地表の溪流であつたことがわかつた。以上が調査によつて得られた資料である。

これに対し解釈を与えてみると、この断層は溪流と交叉して、しかも溪流には常に流水があるために、断層空隙から水が浸透し、その浸透水は断層に沿つて流下し、地下深く浸み透ると同時に、横にもある程度拡がつてゆく。そして一部の水が各段の坑道内にでているものと解することができる。しかしながら断層空隙がいくら続いていても、水はどこまでも深く流下する訳にはいかないし、またむやみに横に拡がることもできない。すなわち岩層と水の間には大きな摩擦抵抗があるから、あるところまでくるともはやそれ以上は流下することができず、静止してしまう限度に達する。その静止した範囲が実線で示されてある金着形だということができる。いいかえると実線はこの漏水についての地下水面であつて、この範囲内では割れ目に地下水が充滿し、こんなところへ坑道を切ると湧水があることになる。いま金着形の頂点をAとし、右側の地下水が流下して拡がつた端をBとすれば、ABはいわゆるこの地下水の導水勾配である。導水勾配ABの傾きは、Aから下につながる割れ目の大きさによつて大體決まるもので、割れ目の大きさが大變大きくて、したがつて漏水量が多いときは、深い所まで水は浸透し、かつ勾配も自然に緩くなり、地下水賦存範囲が段々広くなる。これと反対に割れ目が小さいときは、水は地下深くまで達し得ず、また勾配も垂直に近くなり、溪流の真下だけに水がとどまることになる。それからこの鉱山の4脈の地下水は、溪流Aからきたものであつて、決して隣の溪流A'からきたものでないと



第5図 明延鉱山7脈鉱床縦断面図

いうことができる。もしA' 溪流からもきた水があるとすれば、500番坑道内の右端、すなわちA' 溪流の下部のどこかに地下水が湧出しなければならないのが、全然乾燥状態であるのは、A' 溪流からきていない証拠である。

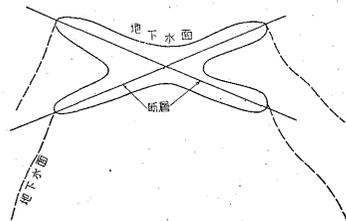
一般に断層は破碎物で充填されていることが多く、実際の空隙は、特殊なものを除いて数mm以上のものは滅多にありえないから、溪流から漏水してできた地下水は、水平方向にはそんなに拡がることはありえないこともわかった。このことは非常に重要なことで、貯水池の水が鉱山の坑道に流下するかどうかなどを吟味する場合にも大変役立つものである。

以上で4脈鉱床に関する限り、地下水の賦存範囲はわかったし、岩盤のなかの地下水とは予想外のものであることもわかった。1個の溪流から発する大きな割れ目についての、地下水の賦存範囲というものも了解することができた。この地下水の賦存の型態は、最も簡単な、しかも解析し易い例であつたと思う。これがよく理解できるならば、複雑なものは単純なもの集まりであるから、複雑な場合も解いてゆくことができるであろう。

次に第2の例として明延鉱床、7脈の地下水分布図を示してみる。第5図は4脈の場合とまったく同様に、坑道縦断面図をとつて、それに湧水位置を記入してみただけである。そうすると4脈とほぼ同様な地下水賦存図が得られた。4脈の場合と違う点は、地質条件や、割れ目の大きさが違った関係上、地下水面で囲まれた金着形が少し変わっているだけである。そうしてみると、4脈と7脈はほぼ平行した鉱脈であるから、地下水脈が2層あることになつて、そのお互の水はおそらく連絡していないことになる。もしお互が連絡しているものなら、両脈

脈を直角に切る立入坑道内にも地下水が湧出しなければならないからである。それがまったく湧出していないのは、相互が連絡していない証拠である。

これから先の説明は、実例がないから仮定になることではあるが、もし4脈と7脈のお互が交叉していたと仮定すると、地下水賦存の図はどうか、その推定あるいは想像図が第6図である。この場合は地下水面の型態が大分複雑になることが了解できる。この想像図も大変重要な地下水賦存図であつて、もしこのような実例ができてきたら、岩盤のなかの地下水は、もうほど推定することができる。自然の岩盤中の水は単純なもの複雑なもの寄せ集めに過ぎないものである。

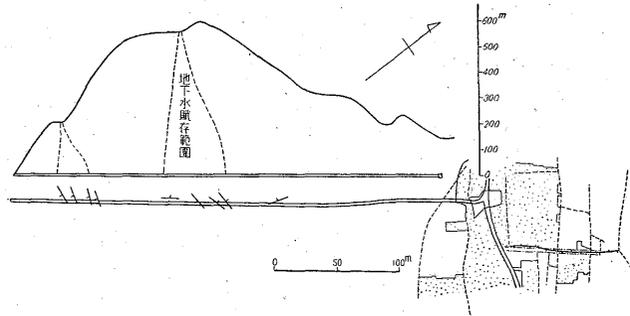


第6図 別個の地下水の交叉によつて生じた地下水面を、ある断面を切つて表わした地下水賦存図

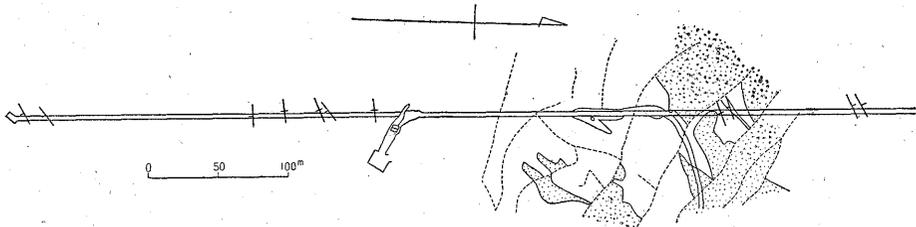
6. 別子鉱山の割れ目と透水性

別子鉱山は愛媛県新居浜市東平^{とうなる}附近にあつて、含銅硫化鉱が層状に結晶片岩地帯の片理にほぼ平行に賦存する鉱床である。その開発はきわめて古く、坑道は地表下すでに1,300mにも達している。坑道の延長は数万mにも達するから、割れ目も多く、いろいろな地下水の分布型態をみるができるだろうと予想し、その期待は大きかつた。しかるに調査の結果はまったく逆で、坑道内は水分がはなはだ少なく、おまけに銅鉱の酸化のため坑内が非常に暑く、係員は四季を問わず裸体で仕事に従事せざるを得ないほどである。したがつて岩盤割れ目の透水性を研究するための資料を得ることは、むしろ困難な位であつた。たゞそのうちで東5号斜坑道(S.L+570m)、金銅探鉱立入坑道(S.L+750m)、西山探鉱立入坑道(S.L+1,100m)に多少の地下水がみられた位である。そして鉱脈が片岩の片理にほぼ平行なるにもかかわらず、地下水は鉱体にも片理にもあまり関係なく賦存していた。

いま前述した三者のうち、二者につき坑道内湧水状況を第7,8図に示してみた。これには湧水地点と割れ目の方向と傾斜が表わしてある。これらは鉱床発見のための探鉱立入坑道であるから、単にこれだけの資料から地下水の賦存状態を説明することは困難であるが、多少無理を押し説明すると、前項末尾に述べた複雑な型態の地



第7図 別子鉱山西山探鉱立入坑道平面図に割れ目の方向と湧出箇所を記入し、断面図に地下水の分布を推定した図



第8図 別子鉱山金銅探鉱立入坑道内における湧水地点とその方向を平面図に表わした図

下水であると想像することができる。そして数箇所づつ水が塊りとなって坑内に湧出しており、その状況を断面に表わすと第7図のようになる。これには立入坑道に直角な方向の坑道がないから、この分布状態を立体的にみるることができないのが残念であるけれども、割れ目の方向等から考えて複雑型の1例と判定されるものである。

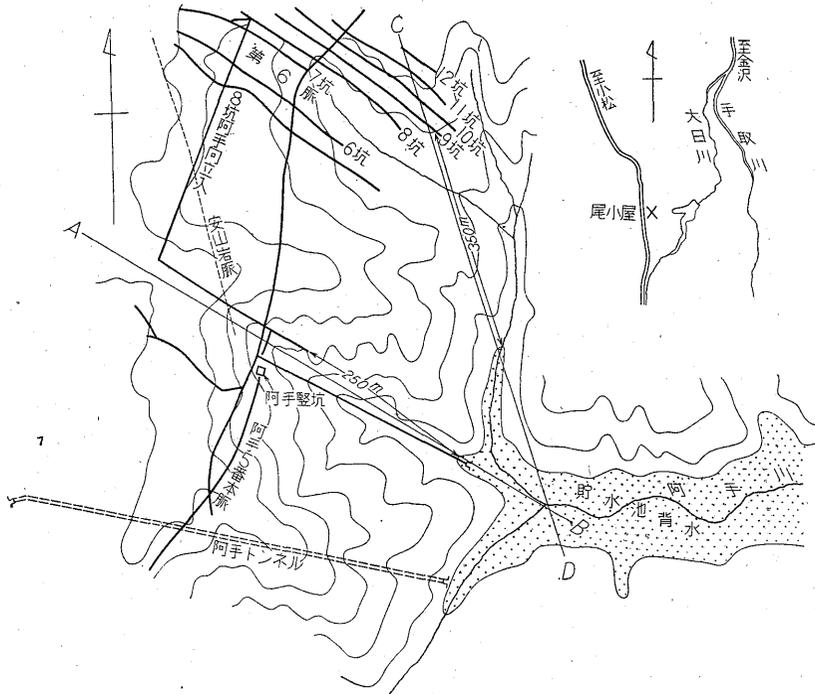
7. 尾小屋鉱山の割れ目と透水性

尾小屋鉱山は石川県能美郡西尾村にあり、銅鉱を胚胎する鉱脈型の鉱床であつて、脈の数もきわめて多い。その母岩は主として第三紀緑色凝灰岩からなり、鉱脈はいずれも西北西の断層に沿っているものが大きくて多い。鉱脈全体を含んだ母岩についてその割れ目をみると、著しい割れ目があつて、地下水が非常に多く充満する部分と、まったく割れ目が古くて岩盤が乾燥状態をなす部分があり、割れ目に関しては非常に不均質な地質であるといふことができる。そしていままで調査した鉱山のうちでは、地下水が豊富な鉱山の1つであるということもわかつた。

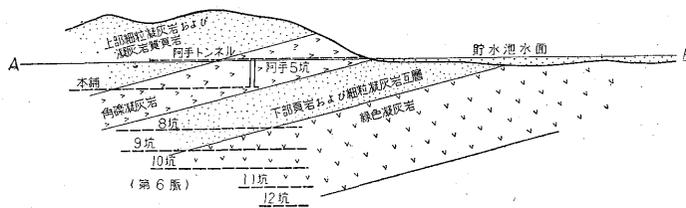
いまから数年前に石川県では、尾小屋鉱山の東隣にあたる大目川沿いの阿手部落から下流約400mの地点に、ダムを築造して貯水池を計画したことがある。阿手川は大目川の支流で貯水後は背水が尾小屋鉱山に近づくという結果になり、その関係を平面図で表わすと、第9図のようなものとなる。尾小屋鉱山では背水が近づく、その漏水が必ず同鉱山の坑道に現われてきて、たゞさえ坑

内水に難渋しているうに、さらに漏水が加わつては堪えきれないから計画を中止するよう要望した。これに関する詳しい事情はもちろんわれわれにはわからないけれども、貯水池計画と、貯水池移転の要望とで係争問題となり、貯水池完成後にはたして池の漏水が鉱山坑道に影響するかどうかを調査するように、われわれにも依頼があつたことがある。この問題は貯水池ダム地点の移転ということですので既に解決し、いまはなんらの跡形もないことになつた。しかし、その後岩盤割れ目の研究も多少とも進んだので、かりに、この貯水池を予定のように完成し、満水させたとした場合、漏水がたして坑道に影響するかどうかを検討し、考え方をはつきりさせておくのも、将来この種のことがらぎ起きた際の参考のために、あながち無意味ではないと思つてあえて説明を試みることにした。

貯水池が満水しても、漏水が起らないのならば、もはや問題はないのであるから、条件は漏水するという場合を検討しなければ解決しない。また漏水しても鉱山の坑道に流出しないで、関係のない方角へ漏水するものなら、これももはや問題にはならないであろう。そこで坑道向けの漏水が迎る経路を検討する必要がある。そして貯水前の湧水と貯水池ができた後の湧水が、どんなに影響してくるかを吟味しなければならぬであろう。最初に貯水池背水に、最も近い坑道をあげてみると、阿手5番本脈立坑下部の坑道と、第6脈鉱床の東押し下部坑道とであつて、この両者間の漏水の有無がわかれば解決する。いま貯水池から阿手5番立坑に向けて横断面を取



第9図 尾小屋鉦山鉦床の一部と貯水池背水の関係を表わした平面見取図

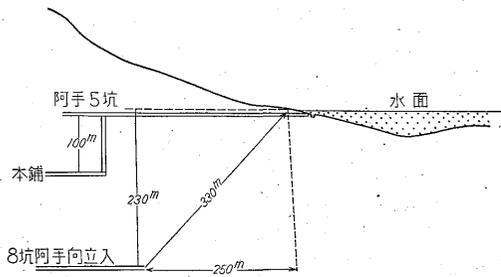


第10図 尾小屋鉦山の一部と貯水池附近との地質断面図 (第6脈坑道は透視)

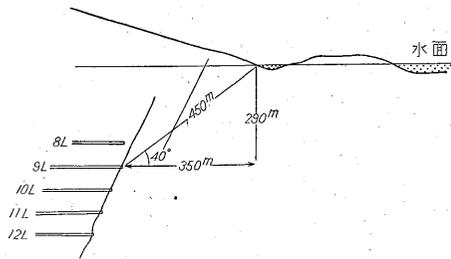
り、その地質を記入してみると第10図が得られる。すなわち地質は緑色凝灰岩の上に、緩い傾斜で頁岩・砂岩・凝灰岩の互層が覆っているのがわかる。頁岩・砂岩・凝灰岩等のような、岩層の層面のvari目には著しい空隙があつて、大概の場合には地下水が豊富なのが普通であるが、尾小屋の地質の場合は、これらが密着して、まったく空隙がなく、水は全然ないことが坑道内でよくわかつた。もしこれに大きな空隙でもあつて、地下水があつたら、それこそ貯水池の水が浸透してくるおそれが多分にあるから、大きな影響を与えることになる。それがなかつたのは誠に幸というべきで、漏水に関する第一の難関は突破することができたことになる。

頁岩・砂岩・凝灰岩の各層面上を流れる地下水がないとすると、断層かまたは破碎帯のようなものが別にあつて、水がそれを流下する可能性の検討が第二の問題となる。ふたたび貯水池から阿手立坑向けの断面 A—B、貯

水池から第6脈鉦床向けの断面 C—D を取つて、それに実距離を附記すると、第11、12図のようになる。A—B 断面では貯水池から立坑までの水平距離が 250 m、垂直距離が 230 m であるから、貯水池から漏ると考えられる水の導水勾配は 45° よりも緩い勾配である。同様にして C—D 断面についても実測すると、第6脈の9坑に至る水平距離は 350 m、垂直距離は 290 m であるから、その勾配は同様に 45° よりもかなり緩くなつてゐる。貯水池から 50° 位の勾配で坑道まで地下水が流下するかどうかは、割れ目の長さや大きさに決ることであるから、これらが調査できない限りは、漏るか漏らないかはいつまでたつても、水掛け論に終わつてしまつて決らないかも知れない。また事実そんな調査はできない相談であるから、これは永久のなぞとするか、それならば薬水でも流す実験をしてみる以外には解決しないであろう。その実験もはたして成果が得られるかどうかはなほ



第 11 図 尾小屋鉾山阿手 5 番下部坑道と貯水池背水の関係図



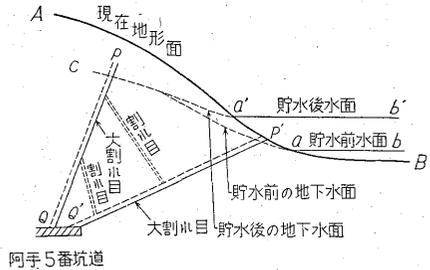
第 12 図 尾小屋鉾山第 6 脈採掘坑道と貯水池背水の関係図

だ疑問である。しかしこれについては決定的とはいえないまでも、割れ目の透水性という見地から事実を使って説明すると、およその見当はつけることができる。いまからそれを説明してみる。

ここで最も大切なことは、貯水池と坑道との間に多数の割れ目はあるとしても、その割れ目が地下水で充満しているか、そうでなくて地下水は全然なく、空隙だけであるかの2つの問題であつて、両者の場合をまず検討しなければならない。阿手5番立坑下部は立入りができないからわからないが、立坑下部と第6脈8坑とが、立入坑道によつて連絡されていることが古い記録によつてわかつており、しかもその立入坑道にははいれないほどの湧水があることから、その地下水は遙かに立坑下部の位置より上にあることが事実である。それからこの立坑上部の阿手本脈坑道も崩壊で立入りできないからわからないが、その代りに尾小屋から阿手部落に通ずる阿手トンネルのなかをみると、多数の湧水箇所と多量の湧水のあることから、阿手トンネルの標高、すなわち阿手本脈坑道の標高よりも遙かに高い所に、地下水面はあることが了解できる。なおまた第6脈の6, 7, 8, 9坑、いずれも坑内では、大小の湧水のある事実から考えると、貯水池と第6脈坑道との間の地域における地下水面は、貯水池完成後の満水面より高いことがはつきりして、その下部の割れ目には地下水が充満しているといえる。それを証明する事実の一つとして貯水池側に行つたボーリングの結果では、試錐孔から水が自噴したことからいえる訳である。したがつて貯水池と鉾山の坑道と

の間の地下の割れ目が空隙だけで、水がないという理由は成り立たない。ゆゑに割れ目という割れ目には必ず地下水が充満している場合だけを吟味すればよいことになる。

地下水が充満している場合の漏水を検討するために、ふたたび断面 A—B をとり、貯水池背水と坑道との間を拡大して表わした図を第13図とし、その図面上で貯水池ができる前の阿手川の水面を ab 、貯水して後の水面を $a'b'$ とする。一方貯水前の池と坑道との間の地下水水面を ca とすれば、 c は a より高い位置にあり、阿



第 13 図 A—B 断面拡大図

手5番本脈坑道および立坑下坑道を掘鑿中は、割れ目から常に水がでていたはずで、それは現在もでていることから立証されるであろう。そして地下水面の変化のない限り、永久に坑道内に湧水が続くはずである。そういうところにダムを作つて貯水し、貯水面を $a'b'$ まで掲げたとすると、地下水面の変化は ac から $a'c$ に変化し、貯水池ができたために起る影響は、地下水の水位が ac から $a'c$ にあがつただけの違いとなる。したがつて ac から $a'c$ に地下水面が上つたために起る坑道への湧水の影響を検討すればよいことになる。その場合もし大きな割れ目、例えば PQ のような割れ目が図の位置、すなわち急傾斜で存在すれば、 P 位置は貯水池ができなくても、地下水面にはなんらの変化のないところであるから、この辺の水が廻るとなれば坑道の湧水にはなんらの影響がないことになる。もし大きな割れ目、例えば $P'Q'$ のような割れ目が緩い勾配で図の位置に存在すれば、貯水前と後では水深が増しただけ水圧が増すから、坑道内の湧水に影響があることになる。しかし $P'Q'$ に繋がる他の割れ目が $P'Q'$ の上部にあれば、必ずしも湧水に影響があることにはならない。その場合は上部の割れ目の大きさと、 $P'Q'$ の割れ目の大きさと、それらの位置によつて決まることである。阿手トンネル内でも明らかのように、断層・破碎帯および割れ目は相当多数あるとするのが妥当であるから、 PQ と $P'Q'$ とは他の割れ目で繋つていると考えるのが当然である。そして地下の坑道に対する P 点と P' 点からの水圧は、 P の方が遙かに

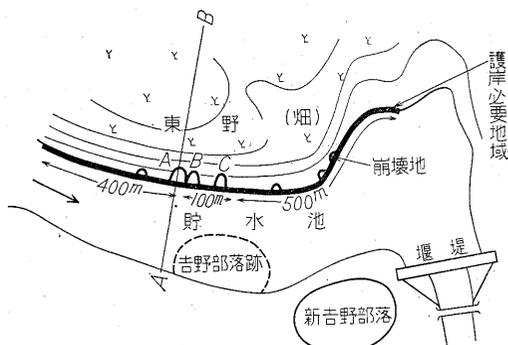
大きいから、坑内湧水の水源は貯水池からの漏水ではなくて、坑道上部の山水すなわち雨水の浸透水が水源であるとするのが妥当である。いいかえると貯水池の水は静止して坑内へは廻らぬことになる。

最後の問題として、第13図の地下水面 $a'c$ の c の位置が湧水のため段々に降下して、貯水池の満水面から下にさがることがありはしないかとの疑問である。 c が a' よりさがることがあれば、圧力勾配により貯水池から坑道へ水が流入する可能性を生ずるからである。しかし地下水面は一朝一夕でできるものでなくて、長年月の水の蓄積によつて超緩慢な水の流動でできあがるものであるから、たとえ少々の渇水期が続いた位では非常な変化は起きないと同時に、豪雨があつてもさよりに増加するものでもないということが出来る。たゞ新しく坑道を c の直下に掘つて水を抜いてしまう場合は別である。また地下水面 ca' が下がるようなことがあれば、阿手トンネル内は乾燥状態となるだろうし、調査した試錐孔の自噴も止るはずであるから、なんらかの徴候は充分認めることが出来る。また渇水のために地下水面が異常降下するようになると、貯水池だけが満水するはずもなく、そのときは背水附近の水も底をついているであろうから、地下水面降下の心配はあり得ないし、貯水池の水と坑道の湧水は関係がないことになる。

以上大変長々と書きだしたので了解し難いと思われるから、これを要約すると、坑道の上部に地下水が充分残つていて、高い地下水面を作っているような地域の近傍に貯水池を作つて、多少の水面を揚げたところで、坑道が貯水池の直下でない限り、貯水池の水が廻ることはなく、坑道上部だけの水が廻るのであつて、それが湧水として坑内に現われる。そして坑道上部の地下水が全部排除され、地下水面が遙かに降下してでなければ、貯水池から水は廻り得ないし、今後既存の坑道の上部に新規坑道を掘らない限り、地下水面の降下はあり得ないから、貯水池の漏水が旧坑に廻ることはあり得ないということが出来る。

8. 神通川貯水池の築造と崩壊地 (附記)

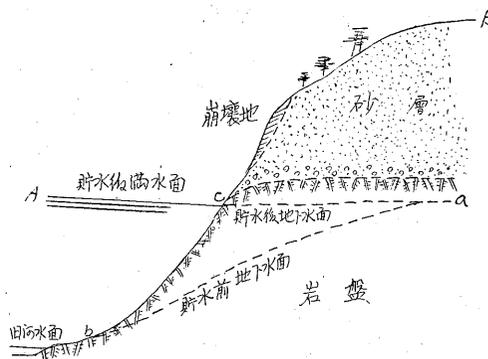
岩盤割れ目と透水性に直接関係はないが、電源開発に伴ない、近頃貯水池が多数できつつある。ダムを作つて貯水すると、貯水池沿岸に崩壊地ができ、やがてその崩壊はひいては沿岸上部の田畑、民家まで流失してしまうかも知れないおそれから、水面に沿つて護岸の必要云々の問題が起きることがある。たまたま神通川第一貯水池築造の例がそれであつて、大分話題を提供したことがあるけれども、岩盤の透水性ということがよく理解できるなら、かゝる問題も起きないはずのように思われる。こ



第14図 神通川第一貯水池崩壊地附近見取図

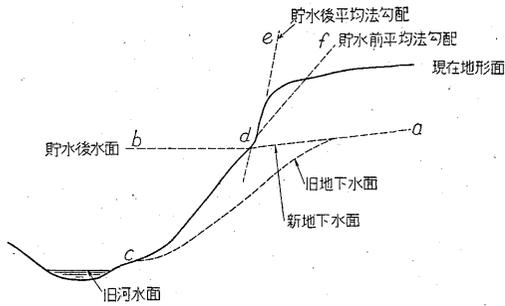
こで崩壊地云々の問題を特に取り上げ、詳しく説明する積りはないけれども、崩壊の原因をどういふ点にもつていつたらよいか、岩盤の透水性と関連して、その主旨だけを述べ、参考までにしたい。

神通川貯水池沿岸の崩壊地は、第14図に示したような地形のところ貯水したところ、約7カ所に小さな崩壊地ができた。それがために長さ約1,000mにわたり、コンクリート護岸の必要性が検討されたものである。貯水池を横断して断面を取り、その見取図を描くと第15



第15図 神通川第一貯水池地質横断面

図のようであつて、それに貯水前と貯水後の水面を記入し、併せて断面に地質を入れると、岩盤上には砂礫層が乗っているから、雨水の浸透したものはすべて砂層を通して岩盤に達し、岩盤の割れ目にさらに浸透して割れ目を充滿する。割れ目が一杯になれば、砂と岩盤の境を勾配に従がつて水は流下し、どこかで湧出する。その地下水面をかりに ab とすれば、貯水前の地下水面は ab で表わされるが、貯水後は ac となる。すなわち貯水池ができたために起きる変化は、 ab が ac になつただけで、貯水池の築造ということが原因で起きた影響は、僅かな面積において地下水面を上昇させたということだけである。



第16図 貯水後平均法勾配

それであるからいま第16図の河岸の断面において、^{のり}法勾配を cde とすれば、貯水前の地山の崩壊は河岸全体、すなわち cde について考える必要があつたけれども、貯水後には環境が変わつたのだから、崩壊については水中の部分 cd と大気中の de との2つに別けて考える必要がある。そして cd が水中にはいつたがために de の地盤の支持力に影響を与えるかどうかを検討すればよいのである。

崩壊はすべて地山の硬軟に関係があり、貯水後の水中にある部分 cd が硬質ならば、影響はまずないとみなしてさしつかえなく、もし軟かいと浸蝕によつて貯水前後の cd の地形が違つてくることがあるから、いままでの自然勾配、すなわち安定勾配が破れることもある。すなわち大気中の法勾配ではもたなくなるから崩壊を起す。たゞしその崩壊は元の安定勾配までいつて終止するはず

である。

なお貯水池に貯水するだけでは、沿岸の崩壊に影響はないとみなすべきであるが、貯水の波動、あるいは流動がある場合には、多少影響することがある。

以上のことがらから考えると、神通川の場合等は条件が非常に良いから、安定角まで崩れてしまえば、もはやそれでおしまいであつて、今後も微小な崩壊はあるかも知れないが、これが将来大崩壊の原因となることはないであろうし、それはむしろ杞憂というべきであるという結論になる。

9. 結 尾

科学技術でものを解いてゆく場合に数学的にそれを表わさなければ納得できないという人が多い。上述の説明においても数学で解かねばならぬことをことさらに数学が使われていない。地質学的にものをみるように義務づけられているわれわれにはどうしても数字で解く方向へ行かない傾向があり、これはわれわれの大きな欠点かも知れない。しかし将来は段々にその方向へ向けることは、当然加味しなければならぬと思つている。それから主題は岩盤割れ目と透水性であつたのに、書いているうちに少し脇道に入り過ぎた傾きがある。本編ではこの種の研究をどんな方向へ持つてゆくつもりかを、多少とも分つて頂ければ筆者は満足である。

(昭和30年4月～32年3月調査)