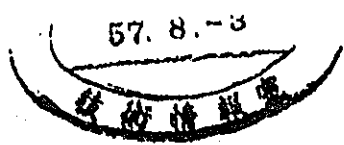


配布限定

し、14

本資料はH30年11月30日付けで登録区分
変更する。
〔技術情報グループ〕

地下水データ収集調査報告書 (昭和54年度)



昭和54年10月

住鋳コンサルタント株式会社

SJ199 79-24 地下水データ収集調査報告書(昭和五十四年度)住鋳コンサルタント株式会社

地下水データ収集調査報告書

SJ 199 79-24

昭和54年10月31日

住銀コンサルタント株式会社

正 誤 表

頁	行	正	誤
1.	概要欄	下から4行目 約 $0,13m^3/min$	約 $0,13m^3/mn$
2.	目次	下から8行目 乾湿状況	乾湿状況
3.	2	下から11行目 産出する	産生する
4.	8	下から3行目 珉岩・花崗岩	岩・花崗岩
5.	9	上から8行目 地下水が	地下水は
6.	29	下から8行目 金砂新	新
7.	29	下から9行目 第4-3-1表	第4-3-1
8.	67	下から8行目 $1900m/年$	$1900m/年$
9.	69	上から15行目 沈理トンネル	液理トンネル

この資料は動力炉・核燃料開発事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。
したがって、その取扱いには充分注意を払って下さい。
なお、この資料の供覧、複製、転載、引用には事業団の承認が必要です。



地下水データ収集調査報告書

水環 199 79-24

昭和54年10月31日

住鉱コンサルタント株式会社

正 誤 表

頁	行	正	誤
1.	概要欄	下から4行目 約0,13m ³ /min	約0,13m ³ /mm
2.	目次	下から8行目 乾湿状況	乾湿状況
3.	2	下から11行目 産出する	産生する
4.	8	下から3行目 珧岩・花崗岩	岩・花崗岩
5.	9	上から8行目 地下水が	地下水は
6.	2 9	下から8行目 金砂新	新
7.	2 9	下から9行目 第4-3-1表	第4-3-1
8.	6 7	下から8行目 1900mm/年	1900m/年
9.	6 9	上から15行目 沈理トンネル	波理トンネル



配布限定

Σ SJ 199 79 - 24
昭和54年10月

地下水データ収集調査報告書 (昭和54年度)

東京都港区新橋4丁目24-8
住鉦コンサルタント株式会社

取締役 前橋仁治

資源開発部長 関口護
技術士

概要

1. 調査地域の地質、坑内、水文条件

当調査は堅硬緻密な岩盤の地下深部につくられた坑道、採掘場に対する地下水の挙動を明らかにするもので、愛媛県東部のS鉦山地域において行われた。

地質は古生代の三波川系変成岩帯で、岩石は緑色片岩、黒色片岩と石英片岩を主とする互層で、岩層の走向は地域の西から東にかけて、 $N50^{\circ}W$ 、 $E-W$ 、 $N60^{\circ}E$ と変化し、傾斜は南へ $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$ を示す。

鉦床は緑色片岩を母岩として層理に整合的に胚胎された層状含銅硫化鉄鉦床(いわゆるキースラーガー)である。緑色片岩の上下盤には黒色片岩がある。緑色片岩体の広がり、地下深くなるにつれ大きく、通洞レベル下約600m(山頂からは約1,000m)では水平巾750m、厚みで570mを示している。

地形は約1,000m~1,400mの山に囲まれた典型的山間地で、山容は急峻、植生は杉を主として雑木が密生している。

通洞口および坑外設備の標高は約560mで、最も深いレベルは通洞より下約1,400m(海面下850m)である。

地域の集水面積は約10 km^2 、年間降水量は1,900mm、湧水量は0.62 $m^3/sec/km^2$ である。

2. 調査結果

坑内地下水量は本年5月の測定で、約0.13 m^3/min であるが、これは地表近くにある採掘跡の影響を受けての結果で、単なる坑道だけであれば、極めて少なくなるものとみられる。

地下水流路は、採掘跡や切上り等を除けば岩石の片理、節理、断層が主なものである。

降雨の地下水量への影響は、通洞下400m(山頂下900m)までは認められるが、それ

以下では恒常的な流量であった。

岩石の透水性については黒色片岩が高く、緑色片岩は一般的には低い。緑色片岩中から黒色片岩に着くまで掘さくした試錐孔の殆んどに地下水がまわっていた。

坑道は開さくされてから300年～100年を経たものであるが、山嶺から1,000m以上の岩盤かぶりのあるところでも、その量は最少ではあるが、滲透している。その滲透経路の多くは黒色片岩と見られる。

地下空洞構造物に対する地震波の影響については、堅硬緻密な岩盤体の地下空洞の場合は、軟質地盤上の構造物とは全く異なり、地震による致命的災害はこれまで無かった。建設に当って、地域的に地震帯を避け、安定した岩石地区を選び、相当の深さのところ掘さくし、確実な施工を行うならば、直接的災害の恐れは先ずないと思われる。

目 次

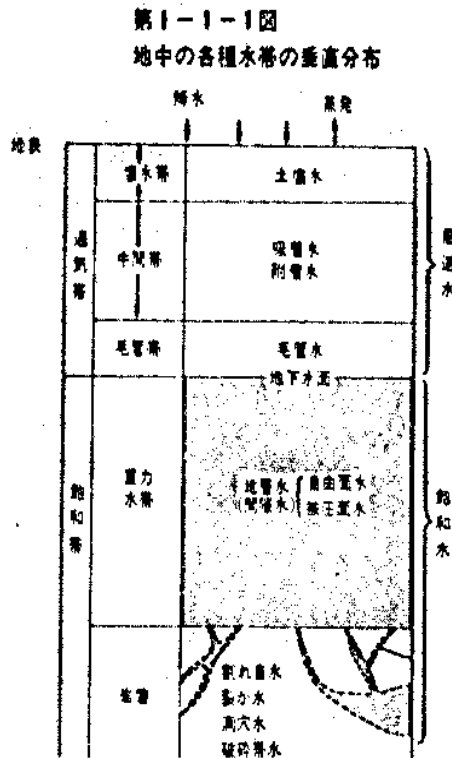
1. 地下水の一般的概要	1
1-1 地下水の定義	1
1-2 地下水の種類	3
1-3 地層水の種類	3
1-4 岩罅水の問題点	6
1-5 地下水の流動	7
1-6 山間部地下水の特徴	9
2. 現状調査実施地域の選定	11
3. 調査地域およびS鉱山の概要	13
4. 調査地域の地質と鉱床	23
4-1 地質と地質構造	23
4-2 岩石の性質と特性	26
4-3 S鉱山の鉱床と坑内地質	29
5. S鉱山坑内における地下水の挙動および湧水状況の調査	35
5-1 実施方法と調査項目	35
(1) 坑道湧水点地質調査	35
(2) 坑内通気条件と坑道の乾湿状況の調査	36
(3) 坑内排水量の測定と排水流路調査	36
5-2 調査結果の集約	37
5-3 調査結果の解析	58
6. 調査地域の気象・水文資料	63
7. 調査地域における地下水データの総合的考察	67
8. 地下空洞構造物に対する地震波の影響について	69
9. 結 論	85

1. 地下水の一般的概要

1-1 地下水 (Ground Water) の定義

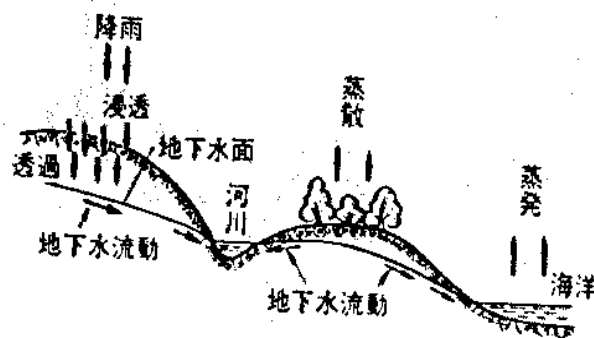
地球は気圏、水圏、岩圏の三圏に分けられるので、地球の水はその所在している圏によって夫々気圏水、水圏水、岩圏水と区別される。しかし、これらの三者は互いに交換し、転移するがこの現象を水の循環または水文的循環という。また水は循環の途上で、気中、地表あるいは地中で三態の変化を起こす。その地中にある水をすべて地下水とは云わない。地中にある水でも、その水の賦存状態や場所、動き、起源等によって種々の名称がつけられている。地中の水を垂直分布から見ると、第1-1-1図のとおり地表から土壌水帯、吸着水・付着水帯、毛管水帯の順序で区別されているが、これらは間隙や割れ目が一部は水で、一部は空気によって占められて居るもので、総括して通気帯といわれる。地表から地下への水の補給が多くなり、付着水が量を増すと零になって滴下するようになり、可動水と呼ばれる状態となる。

この水滴が地中を透過して行って、水を透し難い不透水層または基盤岩に達するとそこで貯溜する。そして重力に従って移動するようになるが、これは重力水とも呼ばれ、いわゆる地下水である。この地下水によって、その地層や岩石の間隙、割れ目等が、夫々の条件に合った静水圧のもとで満たされているところが地下水帯または飽和帯と呼ばれる。



換言すれば地下水とは地中の飽和帯に存在し、天水あるいは地表水の補給地帯から入って、重力の作用によって自由に流動し、排水地帯に出てゆくことができる水のことで、天水、地表水とともに互に交換し、転移する（水文の循環として知られる）地球上の循環水の一つである。第1-1-2図では水文的循環を図示した。

第1-1-2図
水文的循環図



地中にある水は、地表から順に通気帯の懸遊水、その下に飽和帯の地下水が賦存しているが、その外の地中の水として分類されているものは次のとおりである。

(1) 初生水 (Juvenile 又は Magmatic Water)

一般的な水文的循環のコースに乗らないところで出来るもので、実質的には岩漿水によって代表されるが、地球内部のマグマから産生する水で、高温、高圧のもとで岩石中に存在する。その他火山活動によるものや、宇宙から飛来するものもこれに入る。

(2) 同生水 (Connate Water)

古い地質時代に地層の中に閉じ込められたまま動かなくなったという点で、化石に符号させて云えば(3)のものと同様に化石水の中に含まれるが、起原的に区別している。堆積岩の堆積時にその地層内に封じ込められた水で、その当時の海水または淡水を起源とするもの。長時間に亘る堆積岩との接触のために変質している。油田または天然ガス田の鹹水などがこれに属する。

(3) 化石水 (Fossil 又は Fixed Water)

この起源は過去の地下水で、当時の帯水層に集積した地下水が地層中に固定され、動けない状態にあり、現在は天水や地表水の自然補給を受けていないものである。地下水の化石と

いう意味であろう。

1-2 地下水の種類

地下水の基本的条件が飽和帯にあることと、水文的循環水の一部であることから、その種類は岩石の性質、地質的構造と岩盤の物理的状态によって分けられることとなる。すなわち水の滲透、流動、貯溜に対する地中条件の相違から地下水の種類が決められる。

岩種から見れば、堆積岩、火成岩や変成岩による違い。風化または地殻変動や鉱化作用による物理、化学的变化度の違い、更には同じ岩石でも生成時代の新旧による影響もあって、賦存のあり方にいろいろの型が起こってくるわけである。普通に行なわれている水文地質的分類を試みれば次のとおりである。

(1) 地層水 (Stratum Water)

主に堆積岩層(地層)の中に包蔵される地下水である。一部の第三紀および第四紀に属する砂層、砂礫層、礫層、あるいは第三紀以降の火山噴出物に賦存する。岩質がいずれも岩石としての固結度の低いもので、その粒状間隙を地下水が満たしているわけで、間隙水とも呼ばれる最も普通の種類である。

(2) 岩罅水 (Fissure Water)

これは堅硬で緻密な、間隙のない岩石内に包蔵されているもので一般には水脈と呼ばれる賦存形態をとる。この水脈は岩石中の層理、節理、あるいは亀裂等を水が充たしているもので、割れ目水とか、裂け目水とも云い、岩罅水の中の代表的なものである。またその外に石灰岩や熔岩などによくある、空洞に貯えられているような水を洞穴水といって、これも岩罅水に含まれる。一般的には火成岩および変成岩中の地下水は、ほとんどが岩罅水である。

堆積岩についても日本では、地層水を包蔵するものは新第三紀の中新統上部層までに限ると云われ、それより古い地層での地下水は岩罅水である。諸外国では地質年代的に古い地層すなわち中生界は勿論のこと、古生界の地層中にも地層水が見られる例が少なくない。しかし、以上は原則的な区分で、実際にはいずれにもとれる場合があるので注意すべきである。たとえば熔岩が火山砂、火山礫などと互層的に重なり合って、いわゆる火山岩層を構成しているところ、あるいは花崗岩が風化して真砂を生じているような部分に包蔵される地下水は地層水と同様に取扱われる。また、岩盤中に互いに連絡する無数の亀裂が発達していて、いわゆる内部連絡間隙に富んでいるようなところは地層水的性格を持つと考えなければならない。

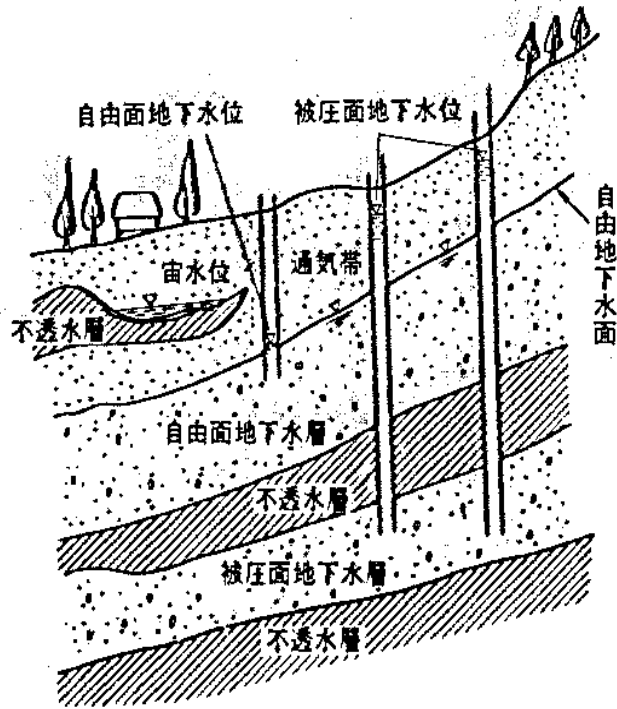
1-3 地層水の種類

普通に吾々が地下水と呼んでいるものは地層水のことであるが、そのあり方から次の2種に

分けられている。1つは自由面地下水、略して自由面水とも呼ばれるもので、その上面が通気帯と直接に接する水面（自由地下水面）を有する地下水である。もう1つの被圧面地下水、略して被圧面水とも云われるものは、通気帯ではなく不透水性の地層（不透水層という）によってその上面を制限されている地下水であって、いわゆる地下水面がない地下水である。しかし被圧面は常に静水圧をうけており、その中に井戸を掘ると、地下水が不透水層を貫通する井戸の中を上昇して、不透水層の下面よりも上方に井水面が現われる。この種の地下水はそれだけの圧力を有するが、これらの井水面を結んだ仮想的な連続面を被圧地下水面、略して被圧水面と名づける。これは云うなれば被圧面水の地下水面と見なすことができる。したがって広義の地下水面には自由地下水面と被圧地下水面との両者が含まれるとするのである。地下水層の状態と地下水面の関係および地下水層の水文地質構造を示す説明図として第1-3-1図および第1-3-2図を次に掲げた。

被圧水層には第1-3-2図のように、地表水をとり入れる補給地帯と、地表へ流出する排水地帯があり、両者を結ぶ切面は被圧水面（断面的には被圧面勾配線）と呼ばれる。

第1-3-1図
地下水層の状態と地下水面の関係



第1-3-2図
地下水層の水文地質構造



1-4 岩罅水の問題点

先にも記したように、これは地層水と違って岩盤そのものが一つの包蔵体として水を満たすのではなくて、岩盤を構成する岩石の中の分離面、或いは空間に水が賦存するという型である。その分離面とは層理、節理、異種岩石の境界面、岩石内の割れ目、相当範囲に亘る亀裂等を意味するが、断層、空洞を含めてその間隙または空間の大きさを基準として普通には次の3種に区別されている。

- (1) 割れ目水、裂罅水
- (2) 洞穴水
- (3) 断層破碎帯水

また、地下水の地中における動き方も、勿論、岩石の分離面の物理的條件の相違から夫々異ってくる。その動き方を各水帯別に見ると、地表面では浸透 (Infiltration)、土壤水帯および通気帯の中間帯では透過 (Percolation) と呼ばれ、毛細管帯や飽和帯に達すると、流動 (Flow) という連続的な運動となる。しかし、これは主に地層水の場合であって、岩罅水の場合で流動空間が大きいような場合になると、その動きは地表水の流れに近く、空洞中の空洞水に到っては地下川とも云うべきものとなる。

岩罅水の場合は岩石自体の地下水の包蔵ではないので、一般的には地下水包蔵量は少ないと云えるが、トンネル掘進の場合にトンネルと貯溜部との通路が出来ると、その地下水が一気に流出してくる可能性、すなわち、所謂地下水突出 (集中湧水) を生起することがあるので注意が必要である。

これらの原因としては断層破碎帯、石灰岩中の洞穴、火山砕屑岩等に溜った地下水によることがよく知られている。

さて、岩石の堅硬緻密さによる不透水の性質は地下水の動きを封じるのであるが、現実的にはその中の分離面すなわち亀裂、割れ目、層理、節理、岩石境界面等は何れなる場合にも存在し、岩盤全体として見るとやはり地下水の浸透は不可避である。日本での実績からは、地下800m~1,000mまでは岩種に別なく浸透する恐れありと考えるべきである。

岩石内の多くの分離面はその岩石が固結するとき、またはその後の地圧、地熱によって生じ、あるいは地殻変動の影響により起こされるものであって、微小ではあれその数は無数と云ってよい。しかし実際の具体的問題として捉える場合には、その地下水量が少なく、地下水処理の対応設備が金額的にも、工事的規模から他の工事と比べて相対的に小さいものであれば、地下水の影響はないと云ってもよいわけであろう。すなわち、現実的な評価として云えば、岩罅水の場合は「地下水の影響はない」という地帯を見出すことが地層水地域よりも容易である。

唯、ここで問題として残るのは、その評価時には地下水が無いとしても、地域によっては、将来の地震、また地下深所を掘きくことに伴う山はね (Rock burst)、あるいは活断

層や地殻変動等によって新しい岩罅の発生の恐れが多分にあるとである。

1-5 地下水の流動

地下水の流動はその賦存している地層や岩石の亀裂等の間隙の大きさによって変わる。毛細管現象の見られるような小さなものから、地表水の流れに近いものまでであるが、この岩石の持つ間隙の容積率は、間隙率または空隙率と呼ばれ、地下水の流動と深い関係にある。この流動の程度、すなわち、透水性によって地層および岩盤は透水層、難透水層、不透水層に分けられる。また、水を含む地層および岩盤全体をまとめて考えるときには、地下水採取の難易を表現するものとして、帯水層、難帯水層、非帯水層が用いられている。地下水の流動の程度を示すことと、帯水層の水文の性質を表わすための主な二つの要素は比産水量と透水係数である。

(1) 比産水量

地層および岩盤を構成する岩石の間隙中に含まれる全水量の内、重力によって抽出される水量と岩石全体の容積との比率であって、数値としては間隙率より小さく、可採水率あるいは有効間隙とも云われるものである。

(2) 透水係数 (Coefficient of permeability)

透水係数とは、ある水頭圧のもとで水を伝達する(あるいは通す)岩石の能力をさすものである。この値に対して最も大きな影響を与える要素は岩石を構成する粒子間の間隙の大きさで、先にあげた間隙率は寧ろ負の関係にある。すなわち、粒子自体の大きさが大きいと間隙率は小さくなるが、透水性はよくなるということである。普通は、地層水におけるような小さな間隙を流動する水は、ダルシー (Darcy) の法則で支配されるとしている。

$$V = \frac{q}{A} = k i$$

V : 流速

q : 流量

A : 断面積

k : 透水係数 (cm/s)

i : 動水水頭

しかし、岩罅水などの場合で、間隙が大きいときはダルシーではなくて、他の法則を考えに入れる要があり、地層水でも間隙率が極めて大きいとか、水頭勾配が大きい場合はこのような考慮が必要となる。

岩石粒子の大きさと透水係数の対比の1例は次の第1-5-1表のとおりである。

シルトや粘土のように 1×10^{-4} 以下の透水係数をもつ地層を難透水層といい、 1×10^{-4} 以下は水を透さない非透水層、この両者を合わせて不透水層と呼ぶ。

第 1 - 5 - 1 表

大いさ %	20		0.42		0.074	0.005	0.001	
土質	礫	粗砂	中砂	細砂	微細砂	シルト	粘土	コロイド
	不透水土							
透水係 数cm/s	3×10^0	3×10^{-1}	9×10^{-3}	2×10^{-2}	3×10^{-3}	4×10^{-4}	3×10^{-8}	
						10^{-6}		10^{-9}
岩質	平均的沖積・洪積層			第三紀層		良い施工のコンクリート 割目をもつ岩盤		

第 1 - 5 - 2 表

物 質	孔隙率(%)	有効孔隙率(%)	透水系数 (gal/ft ² /day)
粘 土	45	3	1
砂	35	25	800
礫	25	22	5000
礫および砂	20	16	2000
砂岩	15	8	700
石灰岩および頁岩	5	2	1
岩・花崗岩	1	0.5	0.1
(Linsley 氏による)			

注：この表の透水係数は USA の単位で、gal/day/ft² である。

さて地層水のようにダルシー法則に従う、上記の場合とは別に、岩罅水のときの亀裂、岩石の分離面等の場合や、これらの岩盤全体の地域的な広がりについての透水性といったものはどう取扱うか、試験方法として適当なものは何かについては、さらに十分な検討が必要である。

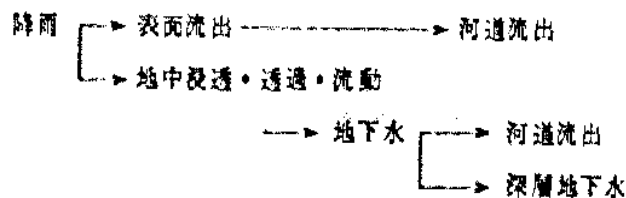
第1-5-2表に土質、岩種別の透水性、帯水性等の要素比較例を示す。

1-6 山間部地下水の特徴

水文学的単位として地下水域 (Ground Water basin) が使われている。一つの大きな帯水層、または幾つか連続した密接な関係にある帯水層を含む範囲のことである。地下水はこの地下水域において補給 (Recharge)、流動 (Flow)、排出 (Discharge) の循環機構を持っていると云うことが出来る範囲である。

平野部および砂丘、丘陵、台地、石灰岩地帯では異った様子を示すが、山間部においては、河川の集水地域がここに云う地下水域とほとんど一致する。

河川流量は降雨後、自然に低減し、ある程度の日数を経ると安定した流量を示すが、この安定した流量の大部分が地下水によって涵養されたものと考えてよい。山間部の水収支を見ると次のようなものとなる。



地質的に見ると日本における山間部は一般的に、薄い表土の下に古い地層や岩石すなわち固結した岩層、岩盤と呼ばれる第三紀層より古い地層や、火成岩、変成岩が山体を形成している。

地形の地下水の挙動への影響については、国鉄トンネルの経験によれば次のようなことが報告されている。湧水は谷の下部で多く、稜線の下では少ない傾向を持つ。一般に谷地形において、谷の方向は、その流域内では最も透水性の大きい水理地質的性質を示すと考えられる。また、トンネル内への恒常湧水量は特殊条件を除けば、一般に湧水比流量 (湧水時流量を流域面積で除した値、すなわち単位面積 1 km^2 あたりの湧水時流量) を測定することによって推定できる。

本章に関する参考文献表を次に付した。

1. 地下水の一般的概要関係参考文献

№	書名	シリーズ外	著者	発行年月	発行所	住所	〒	電話
1	地下水調査法	-	山本花説					
2	最新地下水学(英文から和訳) 調査と実務のガイドライン	UNESCO. GUIDE BOOK	建設水文研究会グループ 編訳	S.52(1977)	山海堂	都内文京区本郷5-5-18	113	
3	改訂 地下水学概論	水シリーズ(3)	村下敏夫	S.50(1975)	昭晃堂	都内新宿区伏見町48	162	269-(1374 3449 8495)
4	地下水学	-	酒井軍治郎	S.41(1966)	朝倉書店	都内新宿区東五軒町55		260-0141(代)
5	応用地下水学	-	"	S.42(1967)	"	"	"	"
6	水資源ハンドブック	-	安芸政一 監修 多田文男		"	"	"	"
7	湧水と地圧	土木ライブラリー(21)	高崎彦治	S.38(1963)	山海堂			
8	トンネルと掘削工法	関東建設学会テキスト	土木学会編	S.34(1959)	土木学会	都内新宿区四谷1丁目		351-5138
9	地盤と地下水に関する公著	研究会資料	日本地質学会第79学術大会	S.47(1972)				
10	地下水	-	君島八郎	S.9(1934)	丸善			
11	水理地質学	-	成田延男	S.30(1955)	朝倉書店			
12	岩の工学的性状と設計・施工への応用	-	土木工学会編	S.49(1974)		都内港区新橋1-13-5	105	502-6266
13	土と基礎、建設工事と地下水	特設記事	土質工学会	S.52(1977)	Vol.25増刊~8回			
14	土木地質学	大学講座土木工学10	宮崎政三、高崎彦治	S.46(1971)	共立出版	都内文京区小日向4-6-19	112	947-2511
15	地下水ハンドブック	-	地下水ハンドブック編集	S.54(1979)	建設年表調査会	都内中央区新川2-20-4	104	552-6951

2. 現状調査実施地域の選定

今次行なわれた現状調査の目的は一般的な意味での、地下深部に人工的に作られた空洞に関する地下水の挙動調査であって、当該研究の最終目的である、高レベル放射性廃棄物を入れるための地下空洞建設適地選定についての直接的意味を持つものではない。

しかし、その最終的な目的のための選定条件に全くかけ離れた地域では、やはり現状調査における一般的意味も失われるものと考えたので最終目的に沿った範囲内の条件を基に地域が選定された。

最も重要視したものは、地質、地質構造、岩相等の立地条件であることは云うをまたない。

最終目的のための条件を列挙すると次の第2-1表のとおりである。

当該調査の実施地域の選定に当たってこの表で云えば第2項～第7項までの各条件について特に留意して検討したわけである。

第 2 - 1 表 最終目的のための立地条件

№	分類	項目	観目 A	観目 B	不適格条件	適格条件
1	用地条件	用地の広さ 地 形 用地取得費	施設用地の 有無、標高、勾配 積土			施設、道路のための用地が経済的に得られる
2	地質条件	地質時代 岩 石 地 熱 帯 不連続性岩層 岩 体	地質系統 岩種、物性 火山帯、温泉帯 断層、節理 破砕帯 岩体の大きさ	岩質 断層、破砕帯、軟弱岩帯、大きい節理 亀裂の多い岩盤、地熱帯 地質構造		亀裂の少なく、堅硬岩帯で同一岩体が大きい ところ 地熱、火山帯でないところ
3	施設条件	地殻変動帯 地 震	活断層、褶曲 陥没、隆起 強さと距離		地殻変動の多い地帯帯、地震発生歴 のあるところに近い地域を避ける	地震と関係の少ないところ
4	水文条件	河川の規模 流量・流速 面水・雨 岩盤の特性	流量、蒸発量 面水量 透水性、貯水量 水質	地表水 地下水	地表を流れる河川が大規模であるか、河 道が複雑であるか、地下水が豊富で、透 水性が高い岩盤地域	地域内に河川が少なく、帯水層が小さく、地 下水が少ないところ
5	気象条件	降雨、雪量			豪雨・雪地帯	降雨量の少ないところ
6	交通条件	交通施設 輸送距離	道路、鉄道、空港 港湾の規模			輸送物送達地に近くて、交通の便のよいと ころ
7	地理条件	都市からの遠近 周辺産業			人口の多い都市や農業地帯に近いところ	人口の少なく辺都なところで山林地帯
8	経済条件	物、労働力 補償規模				経済的に妥当な費用・コストを見込めると ころ
9	社会条件	住民対策				用地・補償等の反対運動の恐れがないところ
10	法規条件	環境対策				諸公団法、その他規則のないところ

3. 調査地域およびS鉱山の概要

(1) 名 称

S金属鉱山株式会社 S鉱山

(2) 所在地

愛媛県伊予三島市金砂町小川山

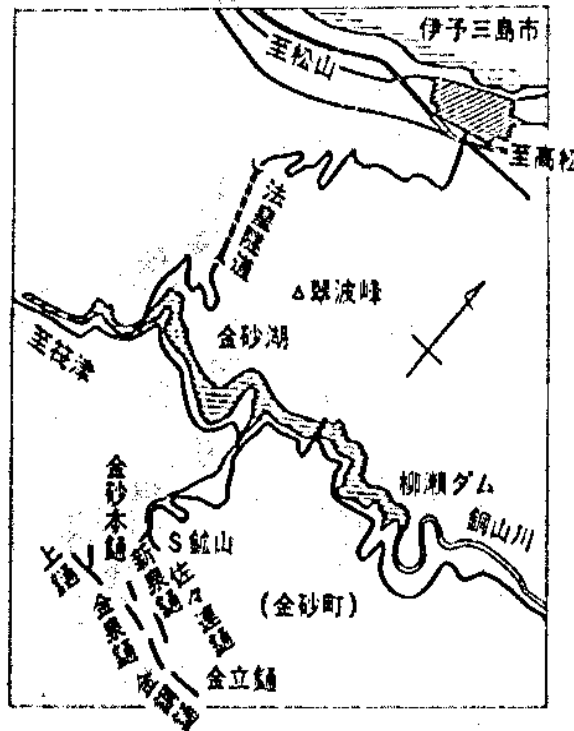
(3) 位 置

東経 133° 33' 北緯 33° 55'

(4) 交 通

四国山脈の中央にあり、国鉄予讃本線伊予三島駅より南へ、県道を法皇トンネル、金砂湖を経て道路距離約18 Km、国鉄バスで約1時間弱。交通略図は次のとおり。

交通略図



(5) 地 形

標高約560m、周囲は約1,000m~1,400mの山に囲まれた典型的山間地。植生は杉を主として雑木、赤松がある。次頁の2.5万分の1地形図参照。

(6) 採行鉱種

黄銅鉱，斑銅鉱，黄鉄鉱，閃亜鉛鉱等の銅，鉄，亜鉛の硫化鉱を主とする。

(7) 採業規模

選鉱粗鉱処理容量 800t/日 2,000t/月

従業員 330~380人

(8) 主要設備

中央立坑600m ……複胴捲 260KW捲

下部立坑600m ……スキップ捲 370KW捲

ケージ捲 220KW捲

コンプレッサー 480KW, 450KW

150KW, 110KW

電気機関車 トローリー 4台

バッテリー 23台

軌条延長 約25,000m

(9) 地 質

三波川系結晶片岩帯に属する変成岩が分布し，日本でも極めて古い岩体である塩基性（緑色）片岩，珪質質（石英）片岩，泥質（黒色）片岩，砂質片岩などで構成される。岩層の走向はN50°W~E, W~N60°Eと変化し，傾斜は南35°~60°

00 鉱 床

鉱体は10鉱体あり，層準としては4層準に区別されている。鉱体の連続部を含めた鉱床面の広がりは，走向延長2,500m，傾斜延長2,400mに達し，試錐による鉱床の確認は海面下850mに及んでいる。点紋緑色片岩層を母岩として層理に整合的に胚胎した層状含銅硫化鉄鉱床（いわゆるキースラーガー）である。鉱体の厚みは平均的には1m前後，最も大きいところでは約10mである。

01 採 鉱 法

採掘鉱石が重力で自走できるかどうかの採鉱場条件を主な基準として採鉱法を選択している。緩傾斜（45°以下）部ではデブスライミング法またはルーム・アンド・ピラー，急傾斜（45°以上）部では充填採鉱法（カント・アンド・フィル），リル採鉱法，およびサブレベルストーピングを採用している。古い時期には上向採掘を行っていた。採鉱場の単位区画は垂直レベル差33m，水平距離1245m~30m程度をとって採掘してゆく。

02 通 気

主要業場である金砂坑下部の排煙と切羽湿度の低減を目的として強制通気を行なっている。坑内通気系統図は別紙第3-1図のとおりである。大切通洞レベルの入気のための新風洞に

125 KWファンを据付け、300斜坑を通じて約3,800 m^3/min の風量を送風する。24L坑道には75 KWファンを置いて加圧し、金砂坑下部に対して、下部立坑を経て2,700 m^3/min の空気を入れている。切羽を回った排気は採掘跡を上昇して各所の坑口から排出される。この通気の入気温度を下げ、最終的には坑内温度の上昇を低減して環境改善を行なうため、新風洞にウォーターカーテンと大型クーラーを設置している。切羽に対しては22 KWローカルファンで末端通気の改善を行なっている。

03 支 保

岩石は堅硬緻密で、岩盤も安定しているところが多く、主要坑道はほとんど無支保である。断層帯および弱線部には必要に応じH鋼による鉄製支保を施している。切羽では採掘の進行により盤圧が増加するので、坑木支保を入れている。

04 排 水

坑内水は露頭付近を主とする地表からの浸透水と、さく岩機や坑内施設で発生する使用水が大部分であって、いわゆる貯溜地下水の湧水はほとんど無い。水質は採掘跡を通ったものは酸性を示すが、浸透水や使用水は一般にアルカリ性なので、坑内排水として纏まったときは、酸性は弱く問題はない。大切通洞以下の12L、18L、24L、30L、33L、36L、39L、42Lに夫々に相応のポンプを設置して排水する。特に6SLおよび12Lには大きな貯水ダムを作り、調節と非常事態に備えている。坑内ポンプ配置は次の第3-2図のとおりである。大切通洞での採掘時の総排水量は平均的には0.4 m^3/min である。

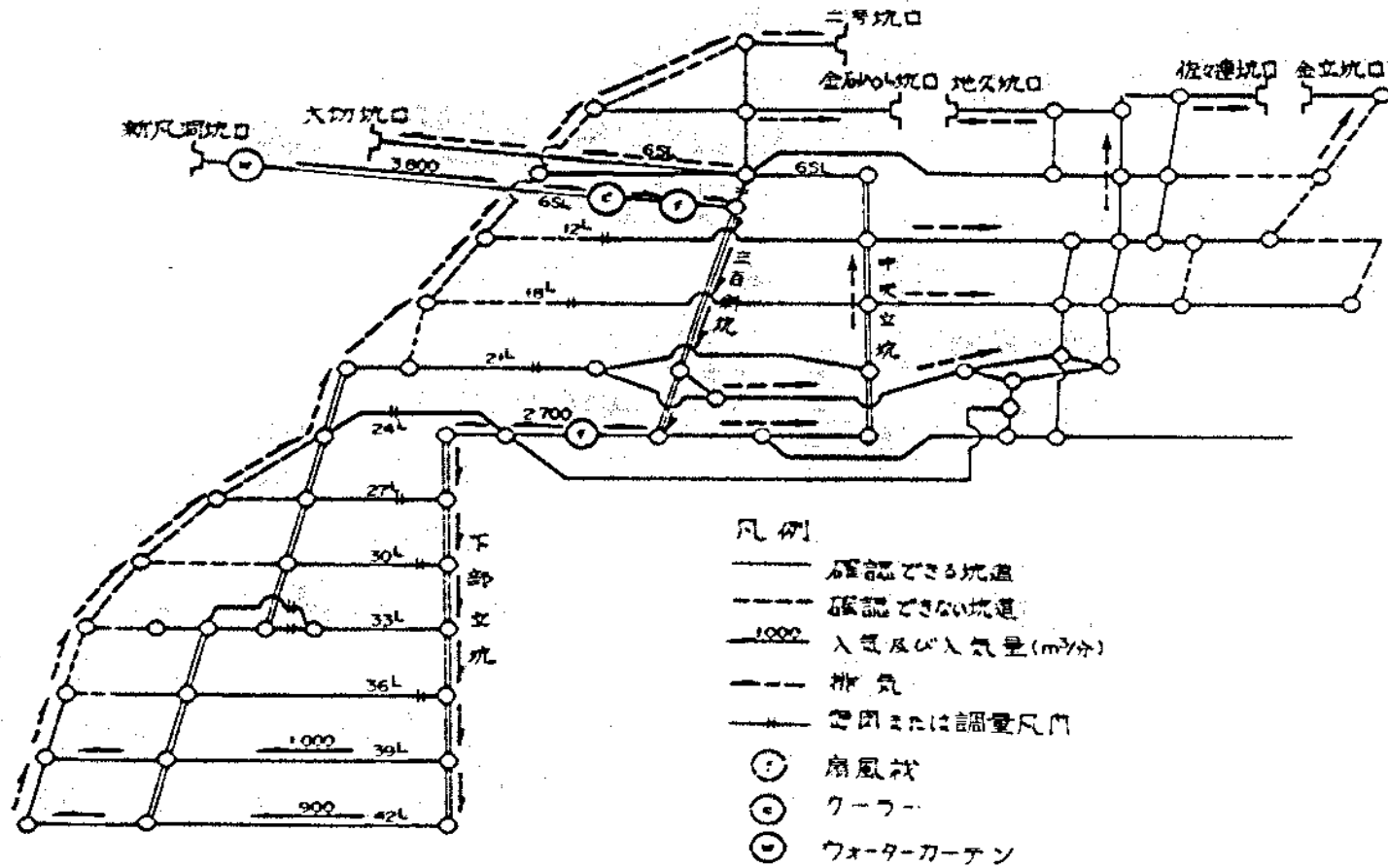
05 沿革と各坑の稼行年次

佐々連坑および金砂坑本坑は元禄年代(1690年代、約300年前)に開坑されたと伝えられる。

各坑、レベル群別の稼行年次は第3-1表のとおりである。また開坑から現在までの経過年数をみると第3-2表のようになる。

06 当該調査実施地域選定上の条件

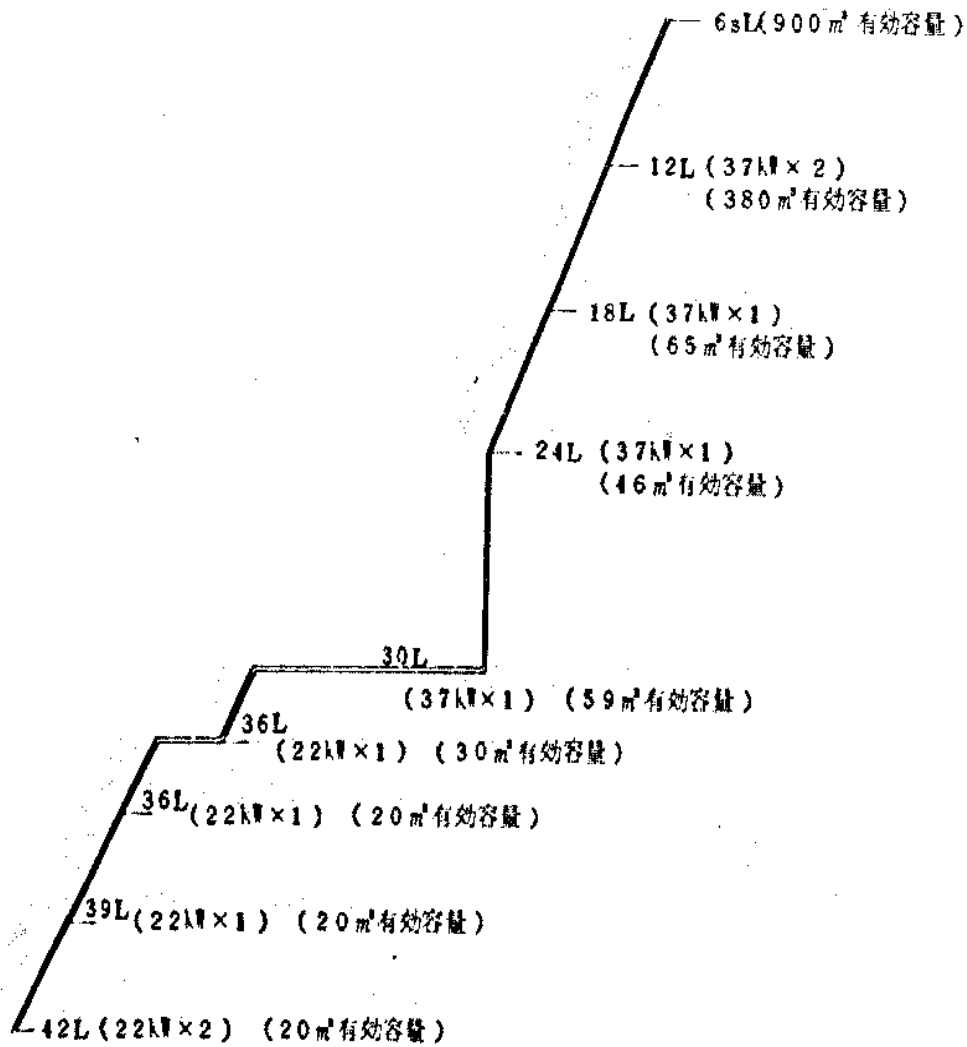
鉾山周辺の住民人口は少なく、農耕地も無きに等しい山林地帯である。しかし交通の便はよく、国鉄駅および港から県道(全区間が舗装)が山許まで通じている。岩石は堅硬緻密、地質構造は火成岩の進入も無く比較的簡単と云える。また地震帯、地熱帯から離れ、降雨も余り多くはない地理的好条件下にある。



第3-1図 坑内通気系統図

第3-2図

坑内排水ポンプ配置図



凡例：(ポンプ能力×台数)(貯水槽容量)

第 3 - 1 表

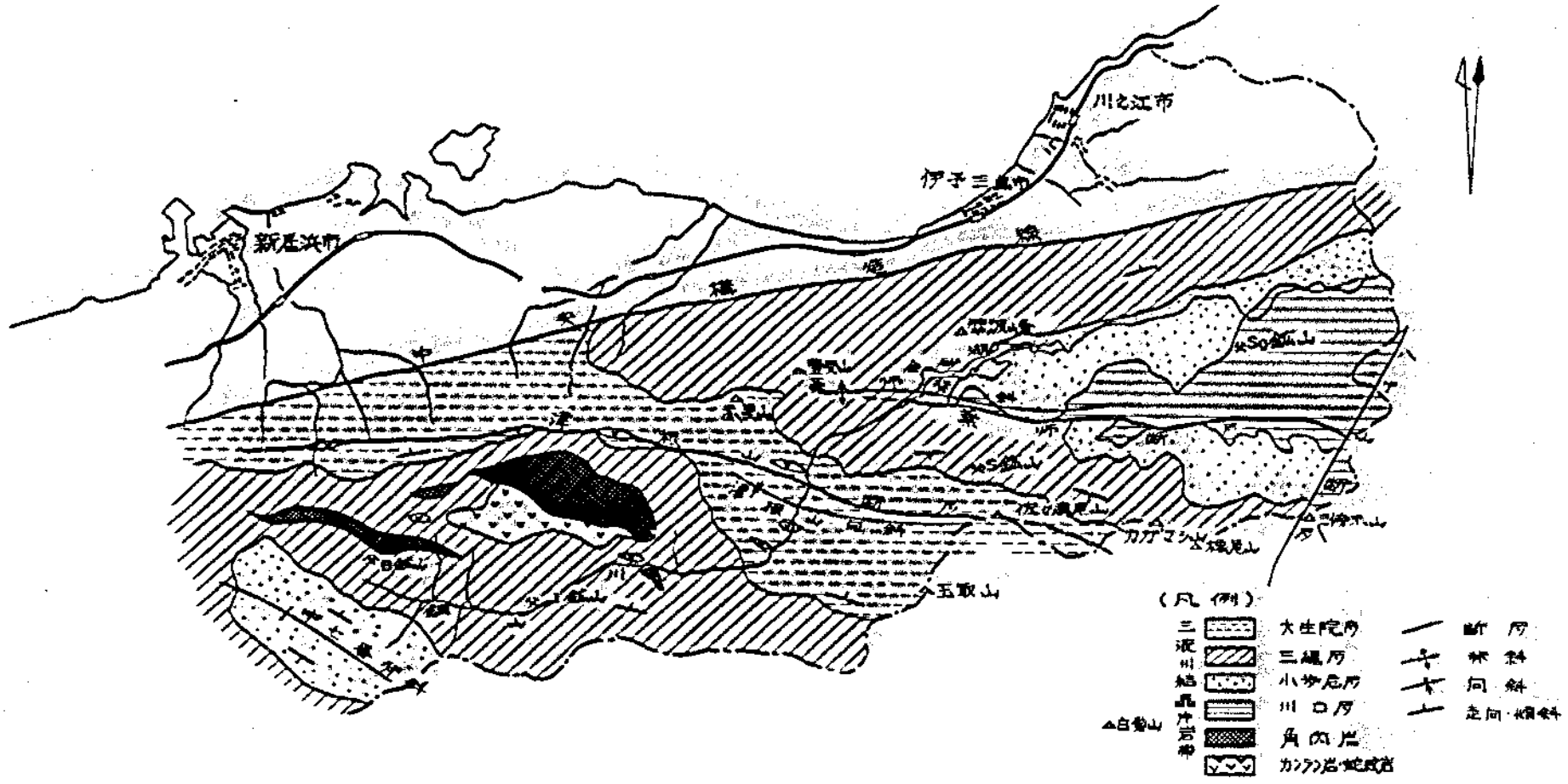
各坑，レベル線行年次表

	金砂上	金砂本	新 泉	金 泉	佐々連	金 立
OL上	1936 ~1976	1690 ~1940	-	-	1690 ~1940	1918 ~1926
OL~6SL	1950 ~1970	1927 ~1945	-	1955 ~1976	1918 ~1940	-
(2L~6SL)	-	-	1961 ~1976	-	-	-
(OL~6L)	-	-	-	-	-	1927 ~1940
6SL~12L	1941 ~1963	1927 ~1963	1953 ~1976	1952 ~1963	1927 ~1940	1927 ~1957
12L~18L	1950 ~1965	1952 ~1967	1964 ~1972	1955 ~1970	-	1941 ~1963
18L~24L	1958 ~1970	1958 ~1967	1961 ~1970	1958 ~1976	-	-
24L~30L	-	1961 ~1972	-	-	-	-
30L~36L	-	1964 ~1976	-	-	-	-
36L~42L	-	1968 ~1979	-	-	-	-
42L~45L	-	1975 ~1979	-	-	-	-

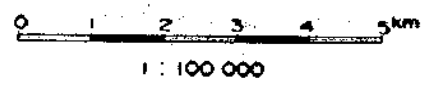
第 3 - 2 表

各坑，レベル開坑後の経年数

	金砂上	金砂本	新泉	金泉	佐々連	金立
OL上	13	300	-	-	300	61
OL~6SL	29	52	-	24	61	-
(2L~6SL)	-	-	18	-	-	-
(OL~6SL)	-	-	-	-	-	52
6SL~12L	38	52	26	27	52	52
12L~18L	29	27	15	24	-	38
18L~24L	21	21	18	21	-	-
24L~30L	-	18	-	-	-	-
30L~36L	-	15	-	-	-	-
36L~42L	-	11	-	-	-	-
42L~45L	-	4	-	-	-	-



第4-1-1圖 S 鉦山地域地質圖



4. 調査地域の地質と鉱床

4-1 地質と地質構造

(1) 地形・地質概要(第4-1-1図参照)

S 鉱山は、高知県との境を東西に走る四国山脈の北側斜面に位置する。地形は比較的急峻で、鉱山のすぐ南側には佐々連尾山(標高1,404m)、カガマシ山(標高1,343m)等が存在し、北側は吉野川支流の銅山川を挟み、豊受山(標高1,248m)、翠波峯(標高892m)の前山を経て瀬戸内平野、瀬戸内海に及ぶ。

四国山脈の北側斜面には、これに源を発する河谷が南北方向に発達し、銅山川に注ぐ。銅山川は当鉱山の西方に位置するB銅山付近に源を発して東流し、土讃線川口駅付近で吉野川に合流する。鉱山の北側約300mには金沙湖(人造湖^{*}で海拔約300m)が存在する。

S 鉱山付近は主として緑色片岩、黒色片岩、石英片岩、砂質片岩からなる三波川結晶片岩からなる。この結晶片岩帯の北縁は、阿波池田～伊予三島～新居浜を連ねて東西に走る中央構造線を境とし、南縁は高知県を東流する吉野川の本流に至る。この間、結晶片岩帯の分布する幅は約24kmに及ぶ。

四国中央部に於ける三波川結晶片岩帯の層序は

吉野川層群	上部層群	— 大生院層	600～1100m
		中部層群	{ 三縄層
	{ 小歩危層		400m
	下部層群	{ 川口層	800～1500m
{ 大歩危層		1500m+	

である。(小島, 1956)

各地層につき簡単に概要を述べると次の通りである。

- 大歩危層は最下位の地層で、砂質片岩を主体とし、主に大歩危峡谷付近に分布するが、S 鉱山付近では地表に現われない。
- 川口層は大歩危層の上位にあり、大歩危脊斜の両翼に分布するが、当鉱山付近では、新宮村(S 鉱山の北東方)付近一帯に露出している。黒色片岩、石英片岩、緑色片岩および砂質片岩の各岩層からなる。当該地層にはSg 鉱山の他、小規模の銅鉱床が分布している。
- 小歩危層は銅山川沿いに奥の院、川口、兼師峠へと連なり、更に兼師脊斜の南翼部に当たる中ノ川、三足付近に分布する。砂質片岩、黒色片岩を主とし、緑色片岩の薄層を挟在する地層である。

※銅山川の柳瀬ダムによってできたもの

○三層層は上部と下部とに分帯されているが、当地域では広く分布する地層であり、緑色片岩、黒色片岩、石英片岩、砂質片岩の各岩層からなる。上部と下部との境付近に点紋帯と無点紋帯の境が存在し(変成分帯は地層の境界とは一致しないが)、上部層へ移行するにつれて変成度が高くなっている。本層は塩基性岩源の緑色片岩層が比較的厚く発達しており、S 鉦山を始めとする数多くの大規模、中規模の鉦山が分布している。

○大生院層は最上位層に当たり、当該地域では四国山脈のカガマシ山から以西、新居浜市大生院にかけて分布している。黒色片岩および砂質変岩を主とし、緑色片岩、石英片岩の薄層を挟んでいる。キースラーガーの存在はなく、蛇紋岩が処々に見られ僅かに小規模の滑石鉦山が存在しているに過ぎない。

(2) 地質構造

前記の中央構造線が北方の川之江市(境目)から新居浜市(山根)を通り、内帯の和泉砂岩と接して存在している。また、地質構造の特徴として古くから云われているS字状の構造が存在しており、北から南へ、薬師脊斜、津根山向斜、中七番脊斜が存在している。これらの褶曲軸は地層の一般走向に平行する。地層の走向、傾斜は、薬師脊斜の北部では中央構造線に沿って走向 $N70^{\circ}E$ 、傾斜 $40^{\circ}\sim70^{\circ}N$ を示し、赤星山付近で反転して、走向 $N70^{\circ}W$ 、傾斜 $40^{\circ}\sim60^{\circ}S$ を示してS鉦山付近を通り、更に樽尾山付近から再び反転して、走向は $N60^{\circ}E\sim EW$ から $N70^{\circ}W$ となり傾斜は $40^{\circ}\sim60^{\circ}N$ を示し、白髪山付近を西に延びる。

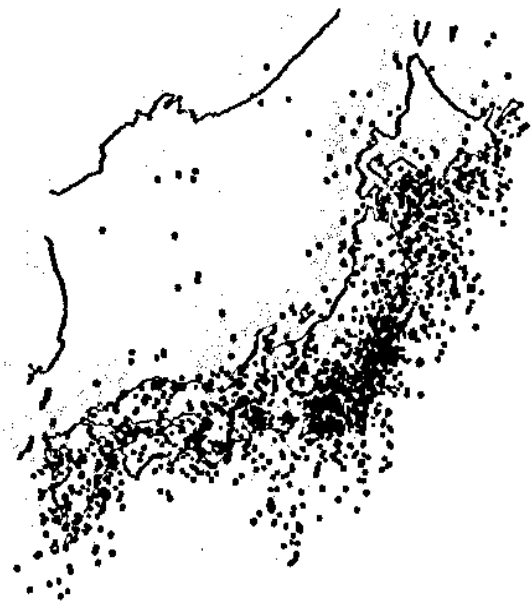
断層は西南日本の内帯と外帯を分ける前記の中央構造線のほか、薬師脊斜の軸部付近を通る薬師新層と津根山向斜軸付近を通る津根山断層が存在する。このほかこれらの2つの断層と斜交する断層として、三待示山~八丁山を結ぶ $NNE\sim SSW$ 方向の八丁山断層が存在する。

最近中央構造線は四国の西部から紀伊半島中部までの区間では明瞭な変位地形を示し、活断層と云われているが、断層線はいくつかが寄り集まって断層系を形成しており、一部~全部分が狭義の中央構造線からはなれて、並走又は斜交する場合がしばしばあって、活断層線は狭義の中央構造線の北側だけに発達しており、その狭義の中央構造線は不活発な活断層~非活断層であると云われている。

また、中央構造線より南側に分布する三波川結晶片岩帯中の前記薬師断層、津根山断層、八丁山断層は古い時代の断層で、その活動性についてはこれ迄に記述された文献例はない。

また当地域の地質の発生状況について見てみると関東以北の東北日本に比較すればかなり少なく、全国的にも少ない地域に属している。また、火山帯からも離れ、火山、地質による地殻変動は考え難い地域である。

震央分布図



注：1900～1950年の期間に起こった3147個の比較的顕著な地震の震央分布
(坪井による)

4-2 岩石の性質と特性

三波川系結晶片岩帯を構成する岩石は、塩基性（苦鉄質）の溶岩・凝灰岩・貫入岩体から変成した塩基性片岩、泥質岩を原岩とする泥質変岩、砂質岩を原岩とする砂質変岩、大部分が石英からなり、チャートないし珪質凝灰岩に由来する珪質変岩、石灰岩を原岩とする石灰質片岩、礫岩に由来する礫質片岩などがある。このほか、貫入岩体として角閃岩・蛇紋岩などがみられる。

◎塩基性片岩の構成鉱物は、緑泥石、緑簾石、白雲母、角閃石、斜長石、藍閃石、方解石、緑閃石、石英、ザクロ石、スティルプノメーレン等からなり緑色片岩で代表される岩石である。

◎泥質片岩の構成鉱物は、石英、白雲母、斜長石、石墨、方解石、緑泥石、ザクロ石等からなり黒色片岩で代表された岩石である。

◎珪質変岩は石英、方解石、斜長石、白雲母、紅簾石、鉄鉱、緑簾石、緑泥石、角閃石等からなる。石英片岩、紅簾石石英片岩等がこれに相当する。

◎砂質片岩は、石英、絹雲母、斜長石等からなり、一般にタービダイト質である。

これらの岩石は変成度によっても、鉱物の種類、多寡、構造、組織などを具にする。当地域に於ては見掛上、上盤側ほど変成度が高く、斜長石（曹長石）の点紋や、黒雲母の含有などが多くなる。

塩基性片岩は溶岩流や岩床などから変成した岩石と凝灰岩からの変成岩から成るが、溶岩流や岩床起源の岩石は一般に均質、塊状を呈し、片理面は存在するが、剥離性に乏しい。一方凝灰岩起源のものは、一般に剥離性があり、不均質な場合が多い。

泥質変岩は一般に片状構造が発達する。絹雲母、石墨に富み、剥離性を有し、しばしば千枚質となる。また發褶曲や沁り面が著しく発達し、脆弱な場合が多い。

砂質片岩は泥質片岩よりも石墨、絹雲母に乏しく、石英、斜長石に富む。一般にグレーワック質で、淘洗の悪い堅硬な砂岩からなり、方状な割れ方を呈する。

珪質片岩は一般に石英に富み、緻密堅硬である。しばしば塩基性片岩と互層状をなし、また互に移化する場合がある。

この他、角閃岩、ソノ微積岩、蛇紋岩の岩体が周辺地域にみられるほか、しばしば泥質片岩中に片状蛇紋岩や滑石片岩が挟在する。

当地域に於ては上盤側にゆくと、泥質片岩中には、ザクロ石や、黒雲母の現われるゾーンがあり、塩基性岩中には、バンベリー石、アルカリ角閃石（藍閃石）の消滅や緑閃石の出現と消滅および角閃石、ザクロ石の出現などの境界線（アイソブリード）があり、いくつかの変成帯に分けられ、鉱物組合せは異なってくる。この様な関係から同種の岩石でも、物理性・工学性に於て下盤側と上盤側とで差異が生じて来る。

風化に対しては、石英片岩や緑色片岩は強く、黒色片岩は弱く、一般に岩石の種類と地形上の特徴に関連性がみられる。即ち地形断面で、侵蝕部の凹地は黒色片岩で、侵蝕に抵抗の強い凸部は石英片岩や、緑色片岩である場合が多く、いわゆるケスタ地形を呈する。参考のため、結晶片岩と他の岩石との硬軟の差異を示す表を次頁に掲げた。

S 鉱山においてこれまで試験した岩石の物理性の結果例をあげれば次表のとおりである。

第 4 - 2 - 2 表

S 鉱山岩石の物性試験結果表

No	産出	岩石名	比重	弾性波速度	一軸圧縮強度	引張強度	ポアソン比	吸水率 (%)
				(M/sec)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)		
1	坑内	点紋緑色片岩	2.98	6,640	-	-	-	0.36
2	"	蛇紋岩	2.68	6,600	c軸 595	-	0.11	0.36
3	"	"	2.62	4,570	" 615	-	0.37	1.08
4	"	石英片岩	2.82	5,540	" 865	-	0.12	0.37
5	"	点紋緑色片岩	2.96	3,380	" 301	-	0.23	1.25
6	"	石英	2.68	5,550	" 431	-	-	0.27
7	"	石英片岩	2.71	3,780	" -	-	-	0.77
8	"	黒色片岩	2.78	3,380	" -	-	-	1.00
9	"	点紋緑色片岩	2.98	3,300	" 578	-	0.12	0.87
10	"	石英片岩	2.81	2,740	" 405	-	-	0.87
11	三浦層	"	2.71	-	" 895	14	-	0.22
12	川口層	"	2.73	-	" 785	77	-	0.13
13	"	"	2.80	-	" 885	27	-	0.20
14	"	緑色片岩	2.97	-	" 1,080	30	-	0.66
15	"	"	2.86	-	" 700	23	-	0.20
16	"	"	2.95	-	" 600	15	-	0.79
17	"	黒色片岩	2.84	-	" 510	19	-	0.72
18	三浦層	"	-	-	" 750	35	-	0.68~0.98
19	"	"	-	-	" 180	1.5	-	1.50

注 一軸圧縮強度、C 軸は片理面に直角の方向に加圧する場合

— 岩質新鮮にしてキレツ少ないもの

--- 風化したものおよびキレツあるもの

岩種	地質時代	岩石名	階段					
			I	II	III	IV	V	VI
変成岩および古生界	始生・原生界および水成岩	片麻岩		---				
		石英片岩			---			
		黒色片岩	---					
		緑色片岩		---				
		千枚岩		---				
		珪岩				---		
		石灰岩			---			
		硬砂岩				---		
		角岩					---	
水成岩	中生界	粘板岩		---				
		頁岩		---				
		砂岩			---			
		礫岩			---			
	第三系	頁岩	---					
		砂岩	---					
		凝灰岩	---					
		凝灰角礫岩		---				
火成岩	深成岩	花崗岩	---					
		閃緑岩		---				
		斑れい岩			---			
		橄欖岩			---			
		蛇紋岩	---					
	火山岩	流紋岩		---				
		玢岩			---			
		安山岩		---				
		玄武岩			---			
		集塊岩	---					

切取作業における岩石硬軟分類
(運輸省)

第 4 - 2 - 1 表

4-3 S鉱山の鉱床と坑内地質

(1) 鉱床は三繩層上部層の点紋緑色片岩層中に胚胎され、母岩の層理にほとんど整合的な層状含銅硫化鉄鉱床である。金砂（新錫、上錫、本錫からなる）、金泉錫、佐々連錫、金剛錫、金立錫、新泉錫から成る。鉱石は黄鉄鉱、黄銅鉱からなり、斑銅鉱と少量の閃亜鉛鉱を含む。通常金砂錫は塊状鉱とガリ鉱からなり、鉱況が最も優勢である。金泉錫、新泉錫は塊状鉱と下盤に縞状のガリ鉱を伴う。金剛錫と金立錫は上下盤に塊状鉱を、中間に縞状ガリ鉱～珪質ガリ鉱を伴う。佐々連錫は塊状鉱とガリ鉱から成る。塊状鉱を上鉱と呼び、鉱石鉱物の量的密度が塊状鉱に比して少く或は縞状に入るものを上ガリ又はガリ鉱と呼んでいる。各鉱床の位置的関係は第4-3-1図に示した。

各鉱床はいずれも点紋緑色片岩（佐々連緑色片岩層）中に、層理に殆んど整合的に胚胎している。緑色片岩は通常片理が発達するが、ときに比較的均質な塊状を呈する緑色岩の存在することがある。

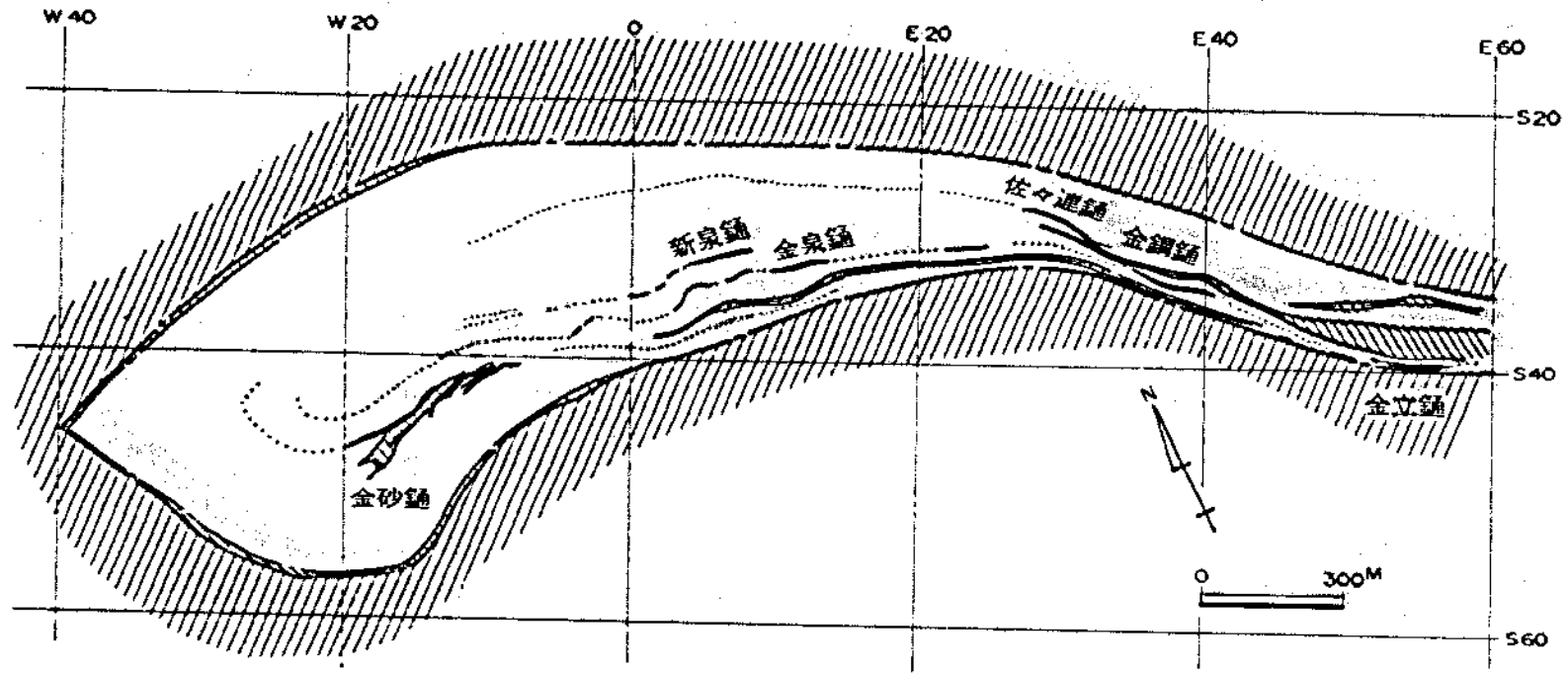
各鉱床を胚胎する佐々連緑色片岩層は第4-3-2図にみられるように、西部では厚く、東部に行くとき厚さを減じると共に、間に黒色片岩、石英片岩を挟在する。また、上部と下部では形状に多少の変化がみられる。また下部に行く程、西部では厚さを増して膨らむが、東部では逆に厚さを減じて薄くなる。

次に、鉱床の形態と、佐々連緑色片岩層の形態を第4-3-1表と第4-3-2表に示す。

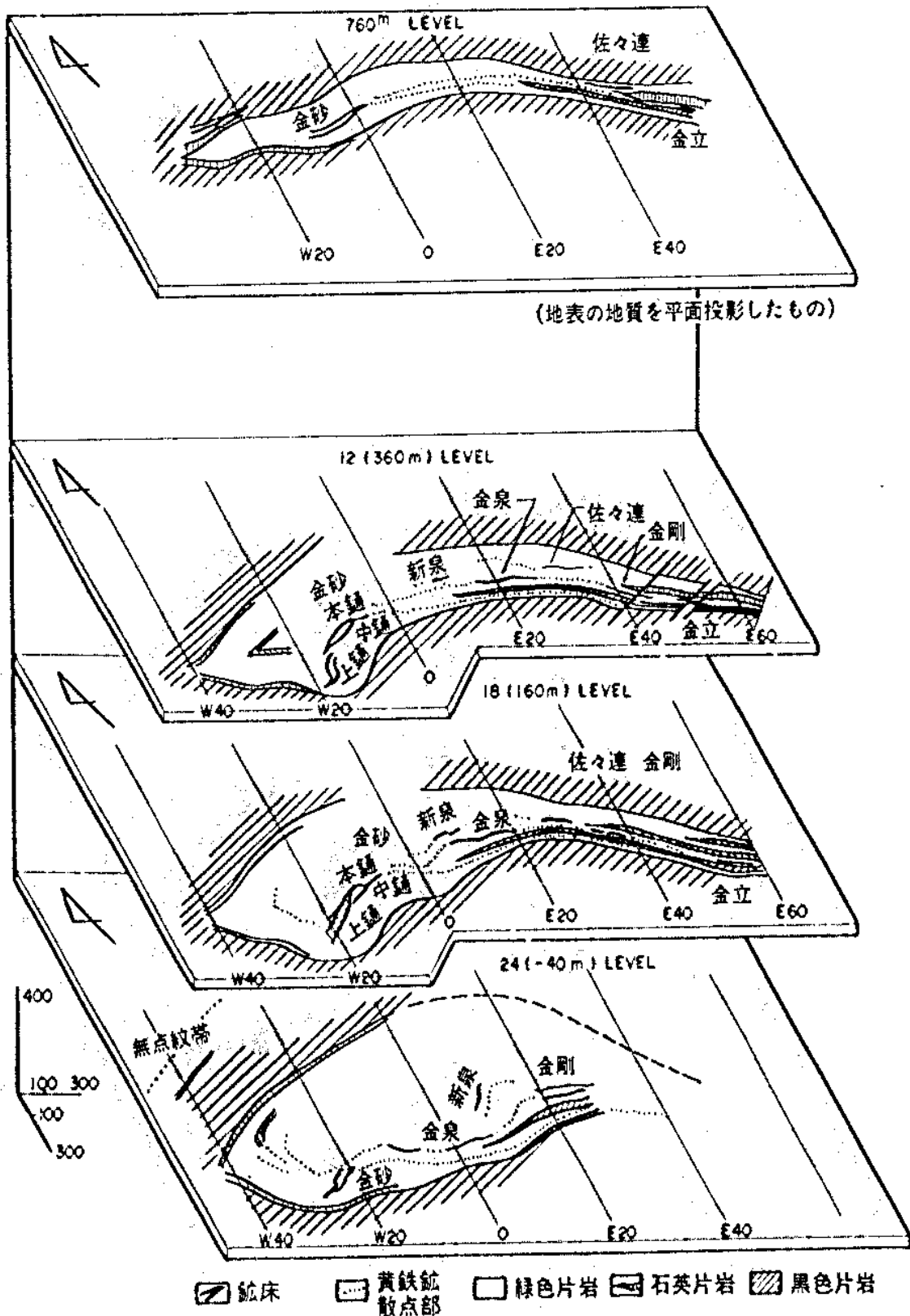
第4-3-1 鉱床の形態

鉱床名	走 向	傾 斜	規 模 (走向×傾斜×厚m)
新	N60 ~ N70E	50 ~ 60S	約30×250(+) ^(t) ×0.40
金砂上	N80W~60E	40 ~ 55S	約250×1,600(+) ^(t) ×1.40
金砂本	N75W~65E	40 ~ 55S	約230×1,600(+) ^(t) ×1.20
金泉	N60 ~ 80W	45 ~ 55S	約230×1,500(+) ^(t) ×0.40
金剛	N50 ~ 60W	455	約70×300(+) ^(t) ×0.45
佐々連	N50 ~ 60W	455	約180×1,300(+) ^(t) ×1.20
金立	N50 ~ 55W	40 ~ 45S	約130×1,080(+) ^(t) ×0.70
新泉	N65W~50E	30 ~ 60S	約30×600(+) ^(t) ×0.80

第4-3-1圖 S鉞山18L各鉞床關係平面圖



凡例：
 黑色片岩
 綠色片岩
 石英片岩
 鉞床



第4-3-2図
佐々連綠色片岩、S鉾床群関係図

第4-3-2表 佐々連緑色片岩層の形態

東 レベル別	西部(金砂 西部付近)			東部(金立 付近)		
	水平幅	傾斜	厚さ	水平幅	傾斜	厚さ
地表	約150 m	50°	約110 m	約130 m (60)	45°	約 90 m (40)
6SL	290	50	220	160 ()	45	110 ()
12L	400	50	300	130 (60)	45	90 (40)
18L	430	50	330	160 (90)	45	110 (60)
24L	750	50	570	50 (30)	45	35 (20)

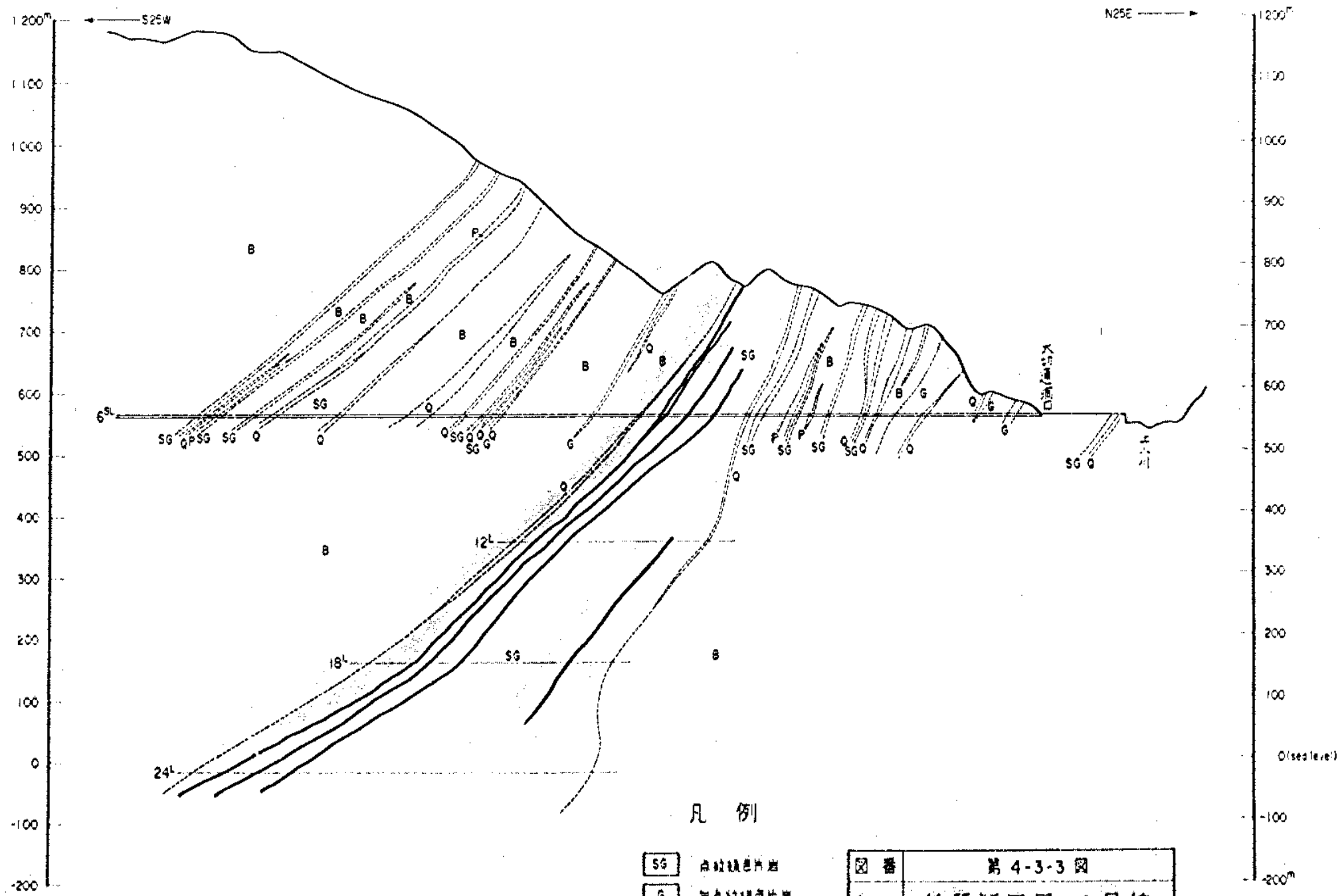
(注) 上表中の()内は挟在する石英片岩または黒色片岩の数値を示す。

佐々連緑色片岩層は鉄床を胚胎する母岩であるが、鉄床は佐々連鎖を除いて、佐々連緑色片岩層中の上盤側に配列された形で賦存している。鉄床の富鉄部は略々水平の方向と、北東～南西方向の二方向に伸長をみせるが、各鉄床の形態は上記方向の内の北東～南西方向に、より強く規制を受けており、富鉄部の落ち、すなわち鉄床の傾斜延長方向は母岩の線構造に一致している。鉄床地区の地質図は附図第4-1、0号線断面図は第4-3-3図に示される。

(2) 鉄石の主要構成鉄物は硫化鉄物で、黄銅鉄、黄鉄鉄、斑銅鉄および少量の閃亜鉛鉄を伴うが磁鉄鉄は認められない。酸化鉄物としては磁鉄鉄、赤鉄鉄および鏡鉄鉄があげられる。これら酸化鉄物の多くは一般に、鉄床と接する含柘榴石絹雲母石英片岩および赤鉄鉄石英片岩中に存在する。磁鉄鉄については金砂鍾に特に多く、鉄体の盤際に見られる。

(3) 坑道の開さく時期については、第3章S鉄山の概要中(15)「沿革と各坑の採行年次」記述の中の第3-1表に示したように、古い時代には地表部での各鉄床の露頭部での開坑が行われたが、小規模のものであった。その後、昭和年代に入ってから6SLに当る金砂大切通洞の開坑が始められ、大々的な開発が進められた。6SL地並では東西に錳押探鉄が行われて佐々連、金立以外の鉄床を捕捉し、探鉄が行われ、更に斜立坑を開さくして逐次下部が開発されて行った。すなわち、12L、18L、21L、24Lと中央立坑の組み合わせ、24L以下と下部立坑の組み合わせである。

探鉄のための立入坑道は先述の佐々連緑色片岩層内および周辺岩石中に対して行われたが、その内の主なものは紅葉谷向、中ノ川向、彌谷向、富郷向の坑道等がある。また、これらの坑道をベースとして試錐探鉄が数多く行われており、この探鉄資料は坑内地質解明のために



凡例

- SG 点紋緑色片岩
- G 灰点紋緑色片岩
- B 黄色片岩
- O 石英片岩
- P 紅レン石石英片岩
- Sp 蛇紋岩
- 鈣灰

図番	第4-3-3図
名称	地質断面図, 0号線
縮尺	1/5000
年月	昭和54年7月
会社名	住友コンサルタント株式会社

は極めて大きな役割を持つものであった。これにより先の第5-3-1図にある鉾床の母岩である佐々連緑片岩層の形態が得られたものである。

(4) 坑内で見られる断層は何れも小規模なもので、移動量は概々1~2m程度である。断層は西部に少く、東部に多発する。一般的には正断層が多く、傾斜は急なものが主である。走向は、西部ではN40°~50°Wが発達するが、東部に行くに従い、次第にEW系となっている。

(5) 坑内における水文地質的問題点

坑内の水文地質状況に対する影響条件と考えられる事項について若干述べれば次のとおりである。坑内調査結果に基づき検討については追って詳しく記述する。

① 地表までのかぶり

地表近い部分ではやはり地表水の浸透があり、坑口付近や露頭部に近いところの採掘跡は特に地表水の影響を受け、湿潤状態である。

② 坑内の採掘跡とその周辺

採掘場は多くの水平、切上り坑道と連絡し、採掘場自体の空間ばかりでなく、水の集中場所を提供しており、地下水の主要流路となっている。しかし、24し以下の下部になると、採掘場でそうした現象は見られないので、やはり①の地表に近いという条件の影響は大きいと考えられる。

③ 岩石の種類

岩石の種類による水文的対応の差は大きい。片状蛇紋岩(佐々連緑色片岩層の上盤側黒色片岩中に挟在するもの)や黒色片岩は緑色片岩と比較すると湿潤状態を呈する。これは黒色片岩は緑色片岩や石英片岩と比べて、片理面が発達しているばかりでなく、石英と絹雲母に富む泥質部とのラミナ(葉片状構造)からなっているためである。また、微褶曲や節理や剪断面が発達するので、地下水の浸透、流動には都合のよい条件を与えている。

片状蛇紋岩も軟弱で、迂り面や走向断層の発達が著しく、含水量が多い。

④ 異種岩石の互層部

黒色片岩中にはしばしば石英片岩、緑色片岩の薄層が互層している。これらの互層部はその境界部に迂り面を生ずることが多く、含水して湿潤状態を呈する。

⑤ 片理、節理や断層・褶曲による擾乱部

岩石の別なしに、これらの条件を持っているが、それらの規模が連続性に富むような箇所は水の浸透がある。

⑥ 緑色片岩の特徴

緑色片岩は黒色片岩とは違い、片理面の発達が弱く、緻密で均質な場合が多い。また、佐々連緑色片岩層中には他岩種を挟在することが少く、第4-3-2表や地質図で見られるよ

うに層厚が大きく岩体のまとまりがある。

① 試錐孔

試錐孔は沿層坑道から岩層を直角に近い方向で貫くようにさく孔する場合が普通なので、孔は片理面、剪断面、沁り面、走向断層面と交る頻変が高い。また、さく孔が緑色片岩体中から行われて、透水性の比較的高い黒色片岩を確認しておおることが多いので、試錐孔からの湧水は顕著である。

② 地表地形の影響

第5-2-2図金砂大切通洞地質図においても見られるが、地表の沢部域は河川部の下方は地下水も多い。

5. S 鉱山坑内における地下水の挙動および湧水状況の調査

当該調査地域の地質と地質構造および岩石の特性については前章に詳述されたが、岩質は堅硬緻密な、不透水性を示す変成岩であって、その岩盤中にある地下水は典型的な岩罅水と云えるものである。

S 鉱山坑内の地下水の状態を観察することにより、当該地域での地表水や天水の滲透や岩盤中の地下水の流動はどんな流路で、どの様な規模で行われているのかを明らかにし、湧水量や湧水と、岩盤や地質条件との関係を確かめることがこの調査の目的である。

また調査の前提は、新しく坑道や試錐孔を掘ったり、トレーサーを使用することはせず、既存の坑道および試錐孔における現状把握を基として実施するものであった。

5-1 実施方法と調査項目

(1) 坑道湧水点地質調査

坑内での湧水地点とその湧水量や状況を把握し、湧水と岩盤や地質条件との関係を明らかにすることを主眼とした。

調査項目：

- ① 岩石の種類；緑色片岩(G)、黒色片岩(B)、石英片岩(Q)、鉍石(O)、蛇紋岩(Sp)の区別
- ② 坑道断面上の湧水位置；金砂大切通洞口からの進行方向に対して、坑道の天盤(天)、右側(右)、左側(左)の区別
- ③ 湧水程度；
Z……………チョロチョロ程度を含めて水が流れている。ザーザーといった多量の湧水はない
P……………水滴が認められるか、又は僅かに流れている
B……………岩盤がベトベトした感じに濡れている
C……………岩盤が湿っている感じ
- ④ 湿り範囲
水気のある広がりをも長さ×幅で表現した
- ⑤ 滴水量
③項のPに相当する湧水の程度の中で、水の滴下数が数えられる場合の表現……水滴数/秒×箇所数
- ⑥ 湧水口につく付着物の有無とその色は黒・青・緑・茶・白がある。それぞれ金属分を含んだ沈殿物と考えられる。
- ⑦ 湧水原因

これは湧水をもたらした岩盤条件であって、点検と観察の最も重要なポイントである、種類は次のとおりである。

片理、岩石境界面、節理、割れ目、晶洞、断層、断層破碎帯、破碎帯、切上、採掘跡、試験孔。

(2) 坑内通気条件と坑道乾湿状況の調査

坑道は4m²~9m²の断面をもった風道であって、入気は坑内の色々な条件下で熱や水分の授受を行なったのち、地表へ出てゆくのであるが、その排気坑道では通気の温度と湿度が上昇して岩盤は多くの場合、結露して坑道を濡らしている。地下水の浸透状況を調査するため、坑道観察を行なう際には地下水の湧水による湿めりと坑内通気による結露とを区別せねばならない。このための調査である。

- ① 通気系路上の重要な箇所での温度、湿度の測定、湿めり具合の観察
- ② 岩盤温度の記録調査
- ③ 通気系路の確認

(3) 坑内排水量の測定と排水流路調査

地表から入って来た地下水の量とその流路を知るため、坑内各坑道の排水量について測定、調査し解析を行なうこととした。

- ① 坑道点検による流路調査
- ② 集水地点における排水量の測定
- ③ 排水路必要点における排水PHの測定による坑道間流路の解析

5-2 調査結果の集約

(1) 調査実施坑道の諸元

排水溝、排水流路およびポンプ場等の状態を検討して、下記のとおり坑道を選んだ。押し、立入れ、探鉱坑道について必要と考えられ、入ってゆける坑道について出来るかぎりの範囲に亘って調査した。

調査範囲としては東西間は約2.7km・南北約2.7km内にあり、坑道の海拔レベルおよび調査距離延長を纏めると次の第5-2-1表に示すとおりである。

表5-2-1表

坑道名	通洞レベルからの距離(m)	標高	調査距離(m)
(山頂)	+435~555	900~1090	-
0L~2L	+125~+195	690~760	2,667
6SL	0(基準)	+557	2,867
12L	-197	+360	2,955
18L	-392	+165	2,343
24L	-592	-35	2,673
30L	-791	-234	720
36L	-991	-434	600
39L	-1,091	-534	840
42L	-1,191	-634	870

計 17,535

(2) 調査結果の数値記録表と図面

前節に記述した実施要領に従って、観察と記録を行った。調査記録とそれに関する図面を整理すると次のようなものになる。

① 坑内湧水調査記録 第5-2-2表

坑道湧水点地質調査の観察記録を纏めた根本資料で、ここにより以下の表や図を作った。

② 坑内湧水程度、原因別箇所数表

前項の調査資料から湧水箇所について、湧水程度別すなわち、前節におけるZ・P・B・C区分と、その湧水原因別の箇所数を各坑道別に整理し、観察した調査距離を調べて、調査した坑道延長を出し、湧水箇所の坑道長さ当り密度的なものを以って各坑道間の比較を試みた。

結果は第5-2-3表、第5-2-4表のとおりである。

③ 坑内湧水観測状況図（断面図）附図第5-1

坑内断面図上に第5-2-2表の中の観測地点をプロットし、そこでの原因・湧水の状況を示したものである。但し、地表に近い坑道については次の図面を別に作った。

④ 金砂坑(0L)地久坑(2L)佐々連坑(0L)坑道連結断面図、湧水状況図 第5-2-1図

これらの坑道は最も地表に近いもので湧水点が大変多いので、別の図面を作って示した。なお佐々連坑の探掘跡に浸透した地下水はこれらの坑道に現れず、直接に下部坑道に流れている。

⑤ 金砂大切通洞地質図 第5-2-2図

地表までのかぶりか200~300mの比較的浅いところで、種々岩石の互層を貫いている坑道であって、岩種や互層の地下水流動への影響を検討するに便と考えて作成した。

⑥ 鉦山坑内平面図 附図第5-2

これは附図第5-1の坑内断面に対比される坑内平面図である。更に附図第5-1ではその観測点の位置が不明瞭と思はれるものについて特に平面図上にその地点および湧水状況を記入した。

⑦ 坑内通気と坑道乾湿状況図 附図第5-3

坑内の通気系路、すなわち地表から探鉱場までの導入路にある入気と、探鉱場や作業場で熱と湿気を奪って高温多湿となり、坑外への排出路を流れる排気との風向を調べた。また、通気系路上の重要な地点での温度・湿度および通気の影響と考えられる坑道面の乾湿状況についての観察結果を図上に示した。

⑧ 坑内地下水系図およびPH値 附図第5-4

地表から入って来た地下水の量とその流路を明らかにするため、坑道点検によって流路、集水地点での水量の測定、地下水流路解析のため必要と考えられる地点におけるPHの測定を行った結果をプロットした。

⑨ 坑内主要坑道別排水量の測定結果 第5-2-5表、第5-2-3図

地表から浸透してくる地下水の集まる主要坑道別の排水量の測定値と、それらの測定期間中の雨量測定値を第5-2-5表に、これらのグラフ表示が第5-2-3図である。

坑内湧水調査記録

地入坑-全長E14号

観測点	岩質	抗通			湿度度合 Z.P.B.C.	湿度範囲 m 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	付着物色	湧水の流出原因	Joint 方向・傾斜
		右	天	左						
2-1	GS	-	-	-	P	110×20	1/15		節理	N30E/70N
2-2	GS	-	-	-	P	0.3×0.8	1/3		割目	NS/30E
2-3	GS	-	-	-	P	0.4×15	2/5		節理	N25E/70N
2-4	GS	-	-	-	P	2.0×0.6	5/15	白	片理	N80W/30S
2-5	Ore	-	-	-	P	0.2×0.5	1/100× ₁₀	茶(油)	片理	N60W/55S
2-6	GS	-	-	-	P	0.15×1.0	1/40	茶	割目	N30W/80W
2-7	Ore	-	-	-	P	0.4×2.0	1/200× ₂₀	茶	片理	N80W/50S
2-8	Ore	-	-	-	P	0.15×0.3	1/40	白	"	N74W/40S
	Ore	-	-	-	P	0.15×0.7	1/10	白 茶	"	N74W/40S
2-9	GS	-	-	-	P	0.1×1.0	1/30	茶	"	N85W/55S
2-10	GS	-	-	-	P	0.05×1.5	1/40	白	"	N85W/55S
	GS	-	-	-	P	0.25×1.2	1/20	茶	"	N85W/55S
2-11	GS	-	-	-	Z	0.02×0.3			割目	N55E/50E
2-12	GS	-	-	-	P	0.2×1.2	1/30×10	白 茶	片理	N80W/60S
2-13	GS	-	-	-	P	0.2×2.2	20/1		片理	N80W/60S
2-14	Ore	-	-	-	(P)~Z		1cm/1	茶(油)	探掘跡	
2-15	GS	-	-	-	P				?	
2-16	Ore	-	-	-	Z				片理	EW/55S
2-17	Ore	-	-	-	Z				割目	N35E/90
2-18	Ore	-	-	-	Z	0.1×0.3			割目	N70W/60E
2-19	Ore	-	-	-	B(しみ出し)	0.25×0.95		白(油)	片理	N60W/60S
	Ore	-	-	-	B	0.2×0.6		白(油)	割目	N10E/50N
2-20	GS	-	-	-	Z(洗)	0.3×0.9		茶	割目	N80E/80S
2-21	Ore	-	-	-	Z	1.0×0.5		白	探掘跡	
2-22	GS	-	-	-	P	0.1×1.8	2/1	茶	割目	N40W/75S
2-23	GS	-	-	-	P	0.6×2.5	1/5		片理	N80W/55S
2-24	GS	-	-	-	P	1.8×5.0	15/1		節理	N30E/60W
2-25	GS	-	-	-	B	0.7×2.20		白	片理	N75W/60S
2-26	Ore	-	-	-	B	0.2×0.5		茶 黒	"	N70W/50S
2-27	Ore	-	-	-	B	0.2×0.4		黒	"	N70W/50S
2-28	Ore	-	-	-	B	0.2×0.5		茶	節理	N10W/60E
2-29	Ore	-	-	-	B	0.7×1.5		茶	節理	N40W/60S
2-30	Ore	-	-	-	B	0.05×0.7		茶	片理	N55W/60S
2-31	GS	-	-	-	B	0.2×1.0		茶	片理	N70W/55S

但し、GS-緑色片岩、BS-黒色片岩、QS-石英片岩、Ore-鉱石

観測点	岩質	抗道		湿度合 Z,P,B,C	湿度範囲 巾×長さ	滴水量 滴/秒	付着物色	湧水の流出原因	Joint 方向・傾斜
		右	左						
2-32	GS	-	-	B	0.2 × 1.5		茶	節理	N20W/70W
2-33	Ore	-	-	B	0.3 × 1.2		黒	片理	N65W/70S
2-34	Ore	-	-	B	0.1 × 1.3		茶	片理	N80W/55S
2-35	GS	-	-	B	0.4 × 1.5		茶	切上	
2-36	GS	-	-	B	0.15 × 1.0		茶	切上(節理)	N20W/75S
2-37	GS	-	-	P	0.2 × 0.2	1/10		節理	N20W/70W
2-38	GS	-	-	P	0.5 × 0.8	5/1		・	N50W/80W EW/40N
2-39	GS	-	-	B	2.2 × 1.0			・	
2-40	GS	-	-	B	0.3 × 1.2		薄茶	節理 片理	N50E/80E N50W/45S
2-41	GS	-	-	B(洗)	0.1 × 1.2	30/1	茶	節理	N65E/90
2-42	GS	-	-	B	2.0 × 1.3			片理	N60W/65S
2-43	GS	-	-	B	1.5 × 1.0			片理	N50W/50S
2-44	BS, GS	-	-	B	1.0 × 2.0		茶	節理 片理	NS/90W N50W/60S
2-45	GS	-	-	B(洗)	0.03 × 0.5		茶	節理(ボイラ-孔あり)	N40E/90
2-46	GS	-	-	B				?	
2-47	GS	-	-	P	0.3 × 0.7	3/1	茶	片理	N60W/50S
2-48	GS	-	-	P	0.15 × 1.0	1/3		片理	N60W/50S
2-49	GS	-	-	B	0.5 × 1.5			片理	N50W/70S
	GS	-	-	P	0.05 × 0.1	1/1		節理	N80E/40N
2-50	GS	-	-	P(洗)	0.1 × 0.1	10/1		片理	N50W/65S
2-51	GS	-	-	P(洗)	0.3 × 0.9	1/3	茶	試錐孔	
2-52	GS	-	-	B	0.1 × 1.3		茶	断層	N55E/90
2-53	BS	-	-	P(洗)		20π/1	茶	試錐孔	
2-54	GS	-	-	B	0.3 × 2.0		茶	節理	N50E/85S
2-55	GS	-	-	B	0.2 × 1.2		茶	節理	N55W/60W N50E/65W
2-56	Ore	-	-	P		1/2	茶	切上	
2-57	Ore	-	-	Z			茶	切上	
2-58	Ore	-	-	B			茶	切上内	

坑内湧水調査記録

佐・連坑：1L 0L 坑道

観測点	岩質	坑道			硬り底合 Z,P,B,C	硬り範囲 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	付着物色	湧水の湧出原因	Joint 方向・傾斜
		右	天	左						
1-1	Ore	-	-	-	P	200	2/1	白茶	切上(E29)	
1-2	Ore	-	-	-	P		1/3	茶	切上(E29)	
1-3	Ore	-	-	-	P		1/30	茶	斜坑	
1-4	Ore	-	-	-	Z(少)			茶	切上(E30)	
1-5	GS	-	-	-	P	0.15×15	1/5		節理	N70E/60N
					B	11×20			節理	N40W/60N N30E/50E
1-6	Ore	-	-	-	P		10/1	茶	切上	
0-42	GS	-	-	-	Z				片理 片A(150×0.7×20)	N55W/48S
0-43	GS	-	-	-	B				片理	N50W/50S
0-44	Ore	-	-	-	B				節理	N15W/80E N60E/30W
0-45	Ore	-	-	-	B	0.2×0.2			節理	N70E/65S
0-46	Ore	-	-	-	Z(少)				斜坑(E30)	
0-47	GS	-	-	-	B	10×15		茶 (丸状)	片理	N50W/50S
0-48	GS	-	-	-	B	0.05×15			節理	N60E/85N
0-49	GS	-	-	-	B	0.1×12		白茶	節理	N85E/62S
0-50	Ore	-	-	-	B	0.1×18			断層	N65E/60S
0-51	Ore	-	-	-	B	0.03×10		白茶	節理	N60E/80S
0-52	GS	-	-	-	P(洗)	0.5×15		茶	節理	N70E/85S
0-53	GS	-	-	-	P	0.5×15	1/1	茶	節理	N60E/50S
	GS	-	-	-	P	0.1×20	1/2		断層	N60W/70N
	GS	-	-	-	P	0.15×25	1/3	茶	節理	N40E/70S
0-54	Ore	-	-	-	P		1/5	茶	探掘跡	
0-55	Ore	-	-	-	B			茶	"	
0-56	Ore	-	-	-	B			茶	"	
0-57	Ore	-	-	-	P(多)		30/1	茶	"	
0-58	Ore	-	-	-	P	0.5×10	3/1		"	
0-59	Ore	-	-	-	P	0.8×20	5/1		"	
0-60	Ore	-	-	-	P			茶	"	
0-61	Ore	-	-	-	P(多)		20/1	茶	"	
0-62	Ore	-	-	-	Z(多)	20			切上	
0-63	Ore	-	-	-	P		20~30	青茶	探掘跡	
0-64	Ore	-	-	-	Z	12		茶白	切上	
0-65	Ore	-	-	-	P		5~10		切上	

観測点	岩質	抗通			深り度合 Z,P,B,C	深り範囲 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	付着物色	湧水の湧出原因	Joint 方向・傾斜
		右	天	左						
0-66	Ore	-	-	-	F		5/1	白 茶	探掘跡	
0-67	Ore	-	-	-	Z(多)	10		茶	・	
0-68	Ore	-	-	-	Z				切上	
0-69	Ore, GS	-	-	-	3			白	節理	N20W/65N
0-70	GS	-	-	-	P(洗)	0.3 × 1.0		白	・	N30W/75S
0-71	GS	-	-	-	P	0.15 × 0.5	4~5/1	茶	・	N30E/85W
0-72	GS	-	-	-	P	0.15 × 2.5	4~5/1	茶	割目	N80W/30E

観測点	岩 質	坑 道			湿り度合 Z,P,B,C	湿り範囲 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	付着物色	湧水の流出原因	Joint 方向・傾斜
		右	天	左						
0-1	Ore	-	-	-	P	04	3/15×15		片理	N70W/35S
0-2	GS	-	-	-	P	02 × 08	1/15	茶	"	N75W/35S
0-3	GS	-	-	-	P	02 × 04	1/20		"	"
0-4	GS	-	-	-	P	03 × 10	1/10		"	N80W/40S
0-5	GS	-	-	-	P	05 × 18	1/3		節理 (117m間×4本)	N20W/70W
0-6	GS	-	-	-	P(水出し)	05 × 15			片理 PH7.8	N70W/35S
0-7	GS	-	-	-	P(洗)	06 × 10			節理	N20W/70E
0-8	GS	-	-	-	P	015×045	1/1		"	N30W/75W
0-9	Ore	-	-	-	P	030×15	1/7	青	"	EW/15N
0-10	GS	-	-	-	P(し出し)	02 × 15		白	"	N50E/80W
0-11	GS	-	-	-	P(洗)	01 × 15		白	"	N45E/60W
0-12	Ore	-	-	-	B	015×10		茶	割目	N10W/70N
0-13	GS	-	-	-	B			青	節理 片理 (1m間×3本)	N20E/90 EW/40S
0-14	GS	-	-	-	B				晶割	
0-15	GS	-	-	-	P	005×03	1/30		節理	EW/80S
0-16	Ore	-	-	-	P	02 × 15	1/5	茶	片理	N75W/40S
0-17	Ore	-	-	-	P	03 × 15	1/1	黒茶 白灰茶 粉黒緑	"	N75W/40S
0-18	Ore	-	-	-	P	02 × 04	1/10	白 茶	"	N65W/50S
0-19	Ore	-	-	-	P	01 × 15	1/15	白 茶	"	N65W/50S
0-20	Ore	-	-	-	P(洗)	02 × 15		赤 黒	節理	N30E/65S
0-21	Ore	-	-	-	P	01 × 06	1/3	茶	節理	N60E/65E
0-22	Ore	-	-	-	P	03 × 10	1/5	赤	片理	N70W/65S
0-23	Ore	-	-	-	P	03 × 15	1/3	茶 黒	"	N80W/40S
0-24	GS	-	-	-	P	02 × 08	1/5	茶 白	"	"
0-25	GS	-	-	-	Z			白	試錐孔 PH4.4	
0-26	GS	-	-	-	P(洗)			茶	試錐孔	
0-27	QS	-	-	-	P	06 × 15	2/1	緑	片理 節理	N60W/55S N50E/85N
0-28	GS	-	-	-	P	04 × 12	2/1	茶	節理	N80E/30N
0-29	GS	-	-	-	P	02 × 03	4/1		節理	N20W/90
0-30	GS	-	-	-	Z(洗)	015×12		白 茶	割目 PH7.6	N60W/30N
0-31	GS	-	-	-	P	04 × 10	1/2	白	節理	N30E/90
	GS	-	-	-	Z(洗)			黒	割目 PH7.4	N30E/80E
0-32	GS	-	-	-	B	1.5 × 1.5		茶	探掘跡	
0-33	GS	-	-	-	B	1.5 × 1.6		茶	"	

観測点	岩質	抗通			深り度合 Z.P.B.C.	深り範囲 巾×長さ	滴水量 滴数/秒	付着物色	湧水の湧出原因	Joint 方向・傾斜
		右	天	左						
0-34	GS	-			B	16 × 15		茶	探跡跡	
0-35	GS		-		B	0.05 × 0.3		茶	割目 (W = 5 cm)	N10E/80E
0-36	GS		-		B	0.8 × 2.2		茶	ナメ岩機孔 (節理)	N70W/82S
0-37	QS		-		P	0.3 × 1.5	1/30	白 茶	節理	N70W/90
0-38	Ors	-			Z (流×少)			白 茶	探跡跡	
0-39	GS		-		C	0.5 × 1.1		白 黒	節理	N30W/75N
0-40	Ors	-			(P)~Z	1.5			探跡跡 PH24	
0-41	GS				B	0.4 × 1.7			節理	N50E/35E

坑内湧水調査記録

大切通洞(6SL)

観測点	岩質	抗 透			浸り度合 Z,P,B,C	浸り範囲 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	附着物色	湧水の流出原因	Joint 方向・傾斜
		右	天	左						
6-27	BS	-	-	-	B	25 × 10m			節理(?)	N16E/65E
6-28	BS	-	-	-	(C)B	03 × 1.5 10 × 20			節理	N65W/70S
6-29	BS	-	-	-	B	13 × 25			?	
6-30	BS	-	-	-	B	15 × 35			?	
6-31	BS	-	-	-	B	01 × 10			片理(?)	
	BS	-	-	-	C	10 × 20			片理(?)	
6-32	BS, GS	-	-	-	B	02 × 10			?	
6-33	BS, GS	-	-	-	B	01 × 10 01 × 14			片理	
	"	-	-	-	C	02 × 30			"	
6-34	Tate化 BS	-	-	-	B	02 × 14			"	
6-35	BS	-	-	-	P(少)	05 × 30			"	
6-36	BS	-	-	-	P(少)	15 × 50			"	
6-37	BS	-	-	-	B	10 × 25			" (?)	
6-38	BS	-	-	-	B	06 × 25			"	
6-39	BS, QS	-	-	-	B	03 × 25			?	
6-40	BS	-	-	-	C	20 × 25			断層	
6-42	BS	-	-	-	B	05 × 25			片理	
6-43	BS	-	-	-	B	02 × 10			" (?)	
6-44	BS, QS	-	-	-	B(多)	07 × 20			?	
6-45	BS	-	-	-	P(少)	04 × 25			片理(?)	
6-46	BS	-	-	-	B	05 × 17			節理(?) (天盤は乾燥)	
6-47	BS	-	-	-	B	03 × 30		茶		
6-48	QS, BS	-	-	-	B	04 × 30			?	
6-49	BS	-	-	-	B	05 × 25			片理	
6-50	BS	-	-	-	P(少)	08 × 20			?	
6-51	BS	-	-	-	B	01 × 20			節理(?)	N10W/80E
6-52	BS	-	-	-	B	03 × 03 10 × 10			?	
6-53	BS	-	-	-	B	01 × 10 05 × 10			?	
6-62	GS	-	-	-	B	05 × 20		茶	節理	EN/65N
6-63	QS	-	-	-	B	10 × 15			片理, 節理	N60W/35S N20E/85E
6-64	BS	-	-	-	P	03 × 20	1/30		節理	N40W/80N
6-65	BS	-	-	-	P	05 × 25	1/15		片理	N65W/60S
6-66	BS	-	-	-	P	03 × 10	1/5		節理	N70W/60N
6-67	ch1-QS	-	-	-	B	02 × 40		白コケ	片理	N70W/50S

観測点	岩質	抗通			硬り度合 2,P,B,C	硬り範囲 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	付着物色	湧水の湧出原因	joint 方向・傾斜
		右	天	左						
6-68	BS, QS	-	-	-	P(多)	43 × 40			節理 PH80	N20W/80S
6-69	BS	-	-	-	P(ごく少)	01 × 0.7		茶	節理	N10E/70E
6-70	GS	-	-	-	P(洗)	01 × 30		茶	断層	N70E/80S
6-71	BS	-	-	-	B	03 × 15		黒	節理	N15W/85E
6-72	QS	-	-	-	B	02 × 05		茶	・	N60E/75W
6-73	BS	-	-	-	B	02 × 15		白	・	N20W/75E
6-74	QS	-	-	-	B	05 × 12		茶	・	N40E/65W
6-75	GS, BS	-	-	-	P	04 × 20	3/1	茶	断層	N50W/75N
6-76	BS	-	-	-	P	02 × 02 3mに3ヶ所	1/3	茶(少)	片理	N80W/60S
6-77	BS	-	-	-	P					
6-78	GS	-	-	-	P, Z	78	多量		断層, 節理	EW/50N
6-41	BS	-	-	-	C	25 × 50			結露	
6-54	GS	-	-	-	P	05 × 40	1/3	白	片理	N70W/55S
6-55	GS	-	-	-	(B)~P	32 × 40	1/20		?	
6-56	Ore	-	-	-	P(洗)	25	30/1	茶	切上	
6-57	GS	-	-	-	B	10 × 30	1/1		結露	
6-58	Ore	-	-	-	P	15	1/2	茶	探掘跡	
6-59	Ore	-	-	-	Z	37		茶	・	
6-60	QS, BS	-	-	-	P	20 × 25	1/10	白茶	・	N60W/60S
6-61	chl-QS	-	-	-	P	03 × 05	3/1	茶白	節理	N50W/60N

但し, chl-緑泥石

観測点	岩質	抗通			湿度度合 Z,P,B,C	湿度範囲 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	付着物色	湧水の流出原因	Joint 方向・傾斜
		右	天	左						
1	BS	-	-	-	P(多)	10 × 30			地表水の浸透	
2	BS	-	-	-	P(少)	0.7 × 25	1/45	茶	?	
3	BS	-	-	-	P(多)	5ヶ所	1/1×6	茶	晶洞と節理	
4	BS	-	-	-	P(少)		1/5		断層	
	BS	-	-	-	B	0.8 × 3.0			?	
5	BS	-	-	-	B	0.5 × 1.0		白	?	
6	BS	-	-	-	B	1.6 × 2.5		茶	?	
7	BS	-	-	-	P(少)	10 × 30	1/3		割目	
8	BS	-	-	-	P(少)	10 × 20	1/15	茶	"	
	BS	-	-	-	B	1.0 × 2.5			?	
	BS	-	-	-	P		2~3/1	茶,白	?	
9	BS	-	-	-	B					
10	BS	-	-	-	B	0.75 × 2.0		白粉	片理, 節理	
11	BS	-	-	-	B	0.5 × 3.0			"	
12	BS	-	-	-	C	1.7 × 5.5			"	N21E/60S
	BS	-	-	-	P	0.5 × 3.0 0.1 × 2.0			割目, 断層 (W=50cm)	N80W/72S
	BS	-	-	-	B	0.6 × 2.0			節理	N60W/60S
13	BS	-	-	-	C	0.7~1.7 × 3.0			断層破砕帯 (W=17m)	N70W/70S
	BS	-	-	-	B	0.3 × 1.0		白		N80E/85N
14	BS	-	-	-	P	2.0 × 1.5	15/1	茶	10数ヶ所がB	N55W/55N
	BS	-	-	-	B	0.15 × 2.0 0.3 × 1.5		"	(その内1ヶ所	N55E/35N
	BS	-	-	-	B	0.2 × 2.0		"	P) 節理	N25W/70N
15	BS	-	-	-	C	0.4 × 3.0			片理?	
	BS	-	-	-	B	0.1 × 1.0			"	
	BS	-	-	-	P	1.0 × 3.0 ^{4ヶ所}	1/5	茶,白	節理 (プロック状)	N60W/80N N10W/90
16	BS	-	-	-	C	0.5 × 5.0			断層 (W=0.25m)	N70W/80S
17	BS	-	-	-	C	1.0 × 4.0		白	断層破砕帯 (W=1m)	N40W/90
18	BS	-	-	-	C	0.05~0.4 × 2.5		白粉	"	N60W/85S
19	BS	-	-	-	C	0.6 × 2.0		白粉	破砕帯中の湧り	EW/80S
20	BS	-	-	-	C	0.5 × 3.0			断層破砕帯	N45W/65S
21	GS	-	-	-	B	0.2 × 2.0			節理	N40W/78S
22	BS	-	-	-	C	4.0 × 4.0			断層破砕帯	N85W/50S
	BS	-	-	-	B	0.1 × 2.0			割目	
23	GS	-	-	-	C	1.0 × 3.0				

観測点	岩質	抗透			浸り度合 Z.P.B.C.	浸り範囲 巾×長さ	滴水量 滴数/秒	付着物色	湧水の流出原因	Joint 方向・傾斜
		右	天	左						
24	GS	-	-	-	B	03 × 05		茶	節理の境界	N80W/90 N60E/35N
	BS	-	-	-	B	04 × 30			断層	
25	BS	-	-	-	C	07 × 40		白粉	断層	N60W/60S
26	BS	-	-	-	C	005 × 30			"	N60W/60S
	GS	-	-	-	B	02 × 10			"	N53W/82S
27	BS	-	-	-	B	05 × 20		茶	節理	N85E/52S
	GS, BS	-	-	-	B	02 × 15		茶	"	N75W/60N
	"	-	-	-	B	01 × 05		茶	"	N75W/60N
28	"	-	-	-	C	05 × 10		茶	"	N75W/60N
	QS	-	-	-	B	03 × 10		茶	"	N15W/80S
	QS, BS	-	-	-	B	03 × 10		茶	"	N80W/40N
30	BS	-	-	-	C	01 × 06			片理?	
31	BS	-	-	-	C	07 × 40			断層破砕帯	N80W/55S
32	QS	-	-	-	P	07 × 20	1/2	茶	片理	N50W/60S
	QS	-	-	-	C	10 × 20				N85W/60S
33	QS	-	-	-	B	01 × 05				
	GS	-	-	-	C	07 × 30			節理	N20W/90
	GS	-	-	-	B	03 × 05			"	N85E/80N
34	GS	-	-	-	B	07 × 30			"	N80E/50W
	BS, QS	-	-	-	B	07 × 30			"	N30W/80S
35	Siliceous	-	-	-	P	01 × 05	2/1	茶	"	
	BS	-	-	-	B	08 × 06		(油状)茶黒	片理 (BS & Siliceous BSとの境界)	
36	GS	-	-	-	B	05 × 30		茶	節理	N40W/85S
37	B	-	-	-	B	03 × 20		茶	片理	N72W/65S
	BS, QS	-	-	-	B	12 × 30			節理	
38	"	-	-	-	P	02 × 10	1/2		節理	N20E/85E
	BS	-	-	-	C				断層破砕帯	EW/65
39	QS	-	-	-	C	03 × 15			F, Qの晶割	
	QS	-	-	-	B	01 × 10			F, Qの晶割	
40	GS	-	-	-	C	07 × 40			片理	N76W/55S
	GS	-	-	-	B	01 × 20			片理	
	GS	-	-	-	B					
	GS	-	-	-	P	03 × 05	1/10		節理	N20E/30E
41	GS	-	-	-	C					
	GS	-	-	-	C					
42	GS, QS	-	-	-	B	10 × 40				
	GS	-	-	-	P	03 × 03	1/2		節理	N8E/85E

観測点	岩質	抗通			浸り度合 Z,P,B,C	浸り範囲 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	付着物色	湧水の流出原因	Joint 方向・傾斜
		右	天	左						
43	GS			-	B	01 × 0.3 01 × 0.5		茶	節理	N35W/70S
44	GS			-	B	02 × 0.5			節理	N80W/80S
45	Siliceous BS			-	B	03 × 1.5			節理 片理	N20W/80W N45E/60S N40W/60S
46	BS			-	B	12 × 1.5			節理	NS/10E
47	BS			-	B	05 × 1.0			節理	EN/40N
48	GS, BS			-	C	03 × 2.5			片理 (GS, BSの境界)	EW/55S
49	BS			-	B	01 × 0.5		茶	節理	N75W/25N
50	BS			-	B~(C)	01 × 0.3			節理	N75W/60N N30W/85S
51	BS			-	B	0.7 × 2.0			断層	N32W/60E
52	BS			-	C	1.0 × 1.6 0.05 × 0.5			断層	N40W/70S N75W/60N
	BS			-	C	0.3 × 4.0			片理	N70W/60S
53	BS			-	C	0.2 × 0.3			節理	N80W/85S
	BS			-	C	0.3 × 0.4			節理	
54	GS			-	C	0.5 × 1.5			節理	N60W/80N
	GS			-	P	0.3 × 0.3	1/60		節理	
	GS			-	C	1.0 × 2.0				
55	BS			-	C	0.05 × 0.2 0.2 × 0.3			節理	N10W/20E N60W/80N
56	BS, QS			-	C	1.0 × 3.0			片理 (BS, QSの境界)	
57	BS, QS			-	C	0.2 × 1.0			片理 (BSとQSの境界)	N75W/55S
	"			-	B	0.5 × 0.3				
58	BS			-	C	0.5 × 1.0			片理	
59	BS			-	C	0.2 × 4.0			節理	N77W/70S
60	BS			-	B	0.3 × 0.5		白膏	節理	N5E/60E
61	BS			-	C	0.5 × 2.0			破碎帯	N75W/60S
62	BS			-	C	0.5 × 0.5 0.1 × 1.0				
63	BS			-	C	3.0 × 4.0			断層破碎帯	N80W/70S
64	BS			-	C	1.0 × 3.0				
65	BS, QS			-	B	0.3 × 1.5			節理	N20W/60N
66	GS			-	C	0.5 × 0.3			割目	N40W/35N
67	GS			-	C	3.0 × 3.0			節理	N70W/56N
68	GS			-	B	1.0 × 2.0		茶	節理	N70W/55N
69	GS			-	C	3.0 × 2.0		白(結晶)	?	

観測点	岩質	坑道			浸り度合 Z,P,B,C	浸り範囲 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	付着物色	湧水の湧出原因	Joint 方向・傾斜
		右	天	左						
6-1	GS				B	05×05			試錐孔	
6-2	QS				B	02×06		白茶	試錐孔	
6-3	QS				C	003×25		白	節理(1m間に3本)	N60W/35N
6-4	QS				C	005×20		白粉	片理	N60E/56S
6-5	QS				C	04×14		青黒	節理(1m間に5本)	N35E/85W
6-6	QS				C	005		青黒	節理(1m間に4本)	N35E/55W
6-7	GS, QS				P(少)	04×15	1/20	黒白	節理	N5E/65E
6-8	GS				B	003×03		白	節理	N25W/70S
6-9	Ore				(P)~Z	25×15		茶黒	探掘跡(5m間)	
6-10	GS				B	05×13		茶	節理	N60W/70S
6-11	GS				B P	35×20 120	3/1	茶	切上	
6-12	Ore				P	90	15/1	白青	探掘跡	
6-13	Ore				Z(少)	30		茶	切上	
6-14	Ore				Z			緑	切上(第2新泉場)	
6-15	Ore				Z(多)		多	茶	切上()	
6-16	Ore				Z(少)		少	茶青	切上()	
6-17	Ore				Z				切上	
6-18	Ore				Z(多)		多		切上	
6-19	Ore				Z(少)		少		切上	
6-20	Ore				P	05×30	1/1	茶	切上→節理	N70W/65S
6-21	GS				P	03×40	1/3	白	節理	N50W/65N
6-22	GS				P	30×30	5/1	白	節理	EW/70N N65E/30N
6-23	Ore				Z~(P)	20		茶	切上	
6-24	GS				Z			黒	試錐孔(測定可能)	
6-25	Ore				P	15	2/1	茶	探掘跡	
6-26	Ore				Z			茶	探掘跡	

観測点	岩質	坑道			掘り具合 Z,P,B,C	掘り範囲 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	付着物色	湧水の流出原因	Joint 方向・傾斜
		右	天	左						
12-1	GS	-	-	-	B	0.5 × 2.0		黒	節理	N12E/70W
12-2	GS	-	-	-	B	0.1 × 0.1 ^{5分所}		白 （多）状	片理	N60W/45S
12-3	Ore	-	-	-	Z	1.5		青茶	切上	
12-4	Ore	-	-	-	P	1.5	3/1	白 茶	切上	
12-5	GS	-	-	-	P		1/1	白	試験孔	
12-6	GS	-	-	-	P(洗)			黒	試験孔	
12-7	GS	-	-	-	(B)~P			茶 白	試験孔(2孔)	
	GS	-	-	-	P		1/2		試験孔	
12-8	BS	-	-	-	B	0.2 × 1.7			片理	N60W/50S
12-9	BS	-	-	-	B	0.5 × 1.0		油 状	断層	N60W/50S
12-10	BS	-	-	-	B	0.15 × 1.0			片理	N80E/60S
12-11	GS	-	-	-	B	0.2 × 0.3 ^{2分所}			片理	
12-12	GS	-	-	-	B	0.03 × 0.1		茶	断層	N35E/80E
12-13	GS	-	-	-	B	0.5 × 0.8		白 粉	断層	N25W/65E EW/50S
12-14	Ore	-	-	-	C			白 茶	片理?	
12-15	GS	-	-	-	B	0.8 × 2.0			節理	N65E/80W N80W/60N
12-16	BS	-	-	-	B	0.5 × 2.0		茶	片理	N50W/55S
12-17	BS	-	-	-	P	0.3 × 2.0	1/30	茶	片理	N50W/60S
12-18	BS	-	-	-	P	0.3 × 2.0	10/1	白 茶	節理	N70W/80S W/85N
12-19	BS	-	-	-	C			白 （多）状 白	試験孔(2孔)	
12-20	BS	-	-	-	P(多)				試験孔	
12-21	BS	-	-	-	B	1.0 × 2.0		白 茶	節理	N60W/40N
12-22	BS	-	-	-	B	0.16 × 1.5		茶 白	節理	N20E/90
12-23	Serp	-	-	-	P	0.3 × 1.0	1/20		節理	N70E/40S
12-24	GS	-	-	-	B	0.5 × 1.5			片理(走向断層)	N35W/45W
12-25	BS	-	-	-	P	0.5 × 1.5	1/5	茶	片理	N40W/55W
12-26	GS	-	-	-	P	0.5 × 3.0	20/1		断層	EW/75S
12-27	GS	-	-	-	P	0.5 × 2.0	2/1	白 茶	片理	N70W/40S
12-28	GS	-	-	-	P	0.3 × 1.5	5/1	白 茶	節理	N70E/85S
12-29	GS	-	-	-	P	0.2 × 2.0	5/1	茶(油)	片理	N55W/40S
12-30	BS	-	-	-	P	0.7 × 2.5	2/1		割目	N60W/55S

但し, Serp-蛇紋岩

坑内湧水調査記録

18L 坑通

観測点	岩質	抗 透			湿り度合 Z,P,B,C	湿り範囲 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	付着物色	湧水の湧出原因	Joint 方向・傾斜
		右	天	左						
18-1	GS	-	-	-	P		1/1	茶	試験孔	
	GS	-	-	-	P		1/19	茶	"	
	GS	-	-	-	P		1/30	茶	"	
	GS	-	-	-	B	01 × 10		黒	"	
18-2	Ore	-	-	-	P	02 × 15	2/1	茶	採掘跡	
18-3	GS	-	-	-	B			茶	試験孔(2孔)	
18-4	Ore	-	-	-	P(洗)	20			切上内へ入る	
18-5	GS	-	-	-	P		1/4×2	茶 黒	試験孔(2孔)	
18-6	GS	-	-	-	B,P		1/2	茶	"	
18-7	Ore	-	-	-	Z	20		茶 白	切上	
18-8	GS	-	-	-	P		1/2	茶	試験孔(ノタンガス有)	
18-9	GS	-	-	-	B			茶 白	試験孔(2孔)	
18-10	GS	-	-	-	B			茶 白	試験孔	
18-11	GS	-	-	-	B			茶	"	
18-12	GS	-	-	-	B			茶	"	
18-13	GS	-	-	-	B			茶(油)	貯理	EW/85N
18-14	GS	-	-	-	P		1/10	茶	試験孔	
	GS	-	-	-	P		10/1	茶	"	
18-15	Ore	-	-	-	P	10	30/1	茶	切上	
18-16	GS	-	-	-	P	02 × 15	3/1	白	試験孔	
18-17	GS	-	-	-	P(洗)	02 × 07	2/1	白 茶	"	
	GS	-	-	-	F		1/1	白 茶	"	
18-18	GS	-	-	-	P(少)		1/10	白 茶	"	
18-19	GS	-	-	-	P(少)				"	
	GS	-	-	-	P(少)				"	
18-20	GS	-	-	-	B	03 × 10		白 茶	"	
18-21	Ore	-	-	-	P	25		茶	切上	
18-22	BS	-	-	-	B				片理	N82W/50S
18-23	GS	-	-	-	Z	25			切上	
18-24	Ore	-	-	-	Z	25		茶 白	切上	
18-25	GS	-	-	-	B	03 × 08		白	貯理	N70E/70N
18-26	GS	-	-	-	B	02 × 06		茶	試験孔(ノタンガス有)	

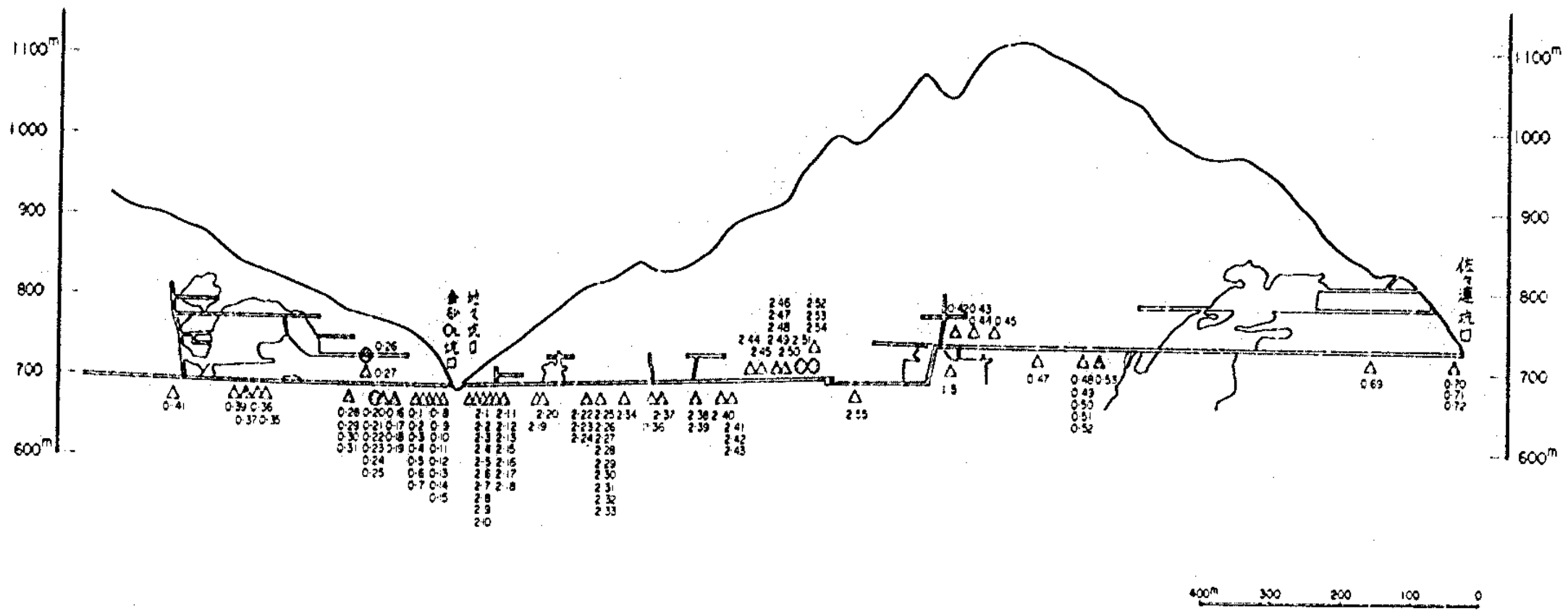
観測点	岩質	坑道		深り度合 Z.P.B.C.	深り範囲 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	付着物色	湧水の流出原因	Joint 方向・傾斜
		右	左						
24-1	GS	-	-	P(少)			茶白	試験孔(2孔)	
24-2	GS	-	-	B	0.1×0.3		茶黒	節理	N70E/76S
24-3	GS	-	-	P		1/2	茶	試験孔	
24-4	GS	-	-	B			茶	試験孔	
24-5	GS	-	-	B	0.2×0.3		茶白	節理	N40W/70E
24-6	GS	-	-	B	0.1×0.6		黒	試験孔	
24-7	GS	-	-	P(少)	0.3×1.0			・	
24-8	GS	-	-	B	0.5×1.0		白茶	・	
	GS	-	-	B	0.2×0.2		白	・	
24-9	GS	-	-	P		1/1	茶	・	
	GS	-	-	P		1/6	茶	・	
	GS	-	-	B			白	・	
24-10	GS	-	-	B			茶黒	・(3孔)	
24-11	GS	-	-	P		2/1		・	
	GS	-	-	P		1/5		・	
	GS	-	-	B			茶	・	
24-12	GS	-	-	B			白	・	
24-13	Ore	-	-	P	1.0	2/1	白茶	切上	
24-14	GS	-	-	B	0.1×0.3		茶	試験孔(ノタンガス有)	
24-15	Ore	-	-	C	1.5×2.0			切上	
24-16	Ore	-	-	C	1.0		白黄	切上	
24-17	QS	-	-	B	0.1×0.8			節理	N30W/50S
24-18	GS	-	-	B			白茶	試験孔	
24-19	BS	-	-	B	3.0×1.0		白茶	片理 節理(5ヶ所/3m)	N80W/40N N30W/60S
24-20	BS	-	-	C	0.1×1.5		白	節理	N70W/85N
24-21	BS	-	-	B	0.2×0.3		白	片理	N60W/45S
24-22	GS	-	-	B			茶黒	試験孔	

坑内湧水調査記録

30L 36L 39L 42L 坑通

観測点	岩質	坑通		湿度割合 Z.P.B.C	湿度範囲 巾×長さ	湧水量 滴数/秒	付着物色	湧水の流出原因	Joint 方向・傾斜
		右	左						
30-1	GS	-	-	P(Z)			茶	(結露) 試験孔2孔	
30-2	GS	-	-	B	0.2 × 1.5		茶	断層	N50W/85N
30-3	GS	-	-	Z	0.1 × 2.0		茶 白	断層(ノタンガス)	N70E/80S
30-4	GS	-	-	B			茶 黒	試験孔	
30-5	GS	-	-	P(多)		15/1	黒	試験孔	
30-6	Ore	-	-	B	1.5		茶	切上	
30-7	Ore	-	-	C	2.5		茶 白 青	切上	
36-1	GS	-	-	P(洗)			白 茶	試験孔(ノタンガス)2孔	
36-2	GS	-	-	B			白	試験孔	
36-3	GS	-	-	乾	1.5		白 粉	断層(ノタンガスの音)	N30W/60E N50E/60W
36-4	GS	-	-	乾	2.0		白 粉	断層	N50W/85E
36-5	GS	-	-	乾	1.0		白 粉	断層	N70W/85S
36-6	GS	-	-	乾	0.8 × 1.2		白 粉	断層	N65W/85N
36-7	GS	-	-	B			茶	試験孔(ノタンガス)	
36-8	GS	-	-	C	0.15 × 1.0		白 粉	断層	N80W/85S
39-1	MGR	-	-	B(?)			茶 白 黒	試験孔(ノタン)5孔中 4孔	
42-1	GS	-	-	乾	1.0 × 2.0		白 粉	断層	N40W/70W
	GS	-	-	P	0.05 × 1.0	1/2	白 粉	"	N15W/85W
	GS	-	-	乾	1.2 × 2.5		白 粉	"	
42-2	GS	-	-	乾	0.3 × 4.0		白 粉	"	N70W/80S
42-3	GS	-	-	B	0.2 × 3.0		白 粉	"	N55W/70S

但し、MGR-Massive green rock-GSの一種



凡例

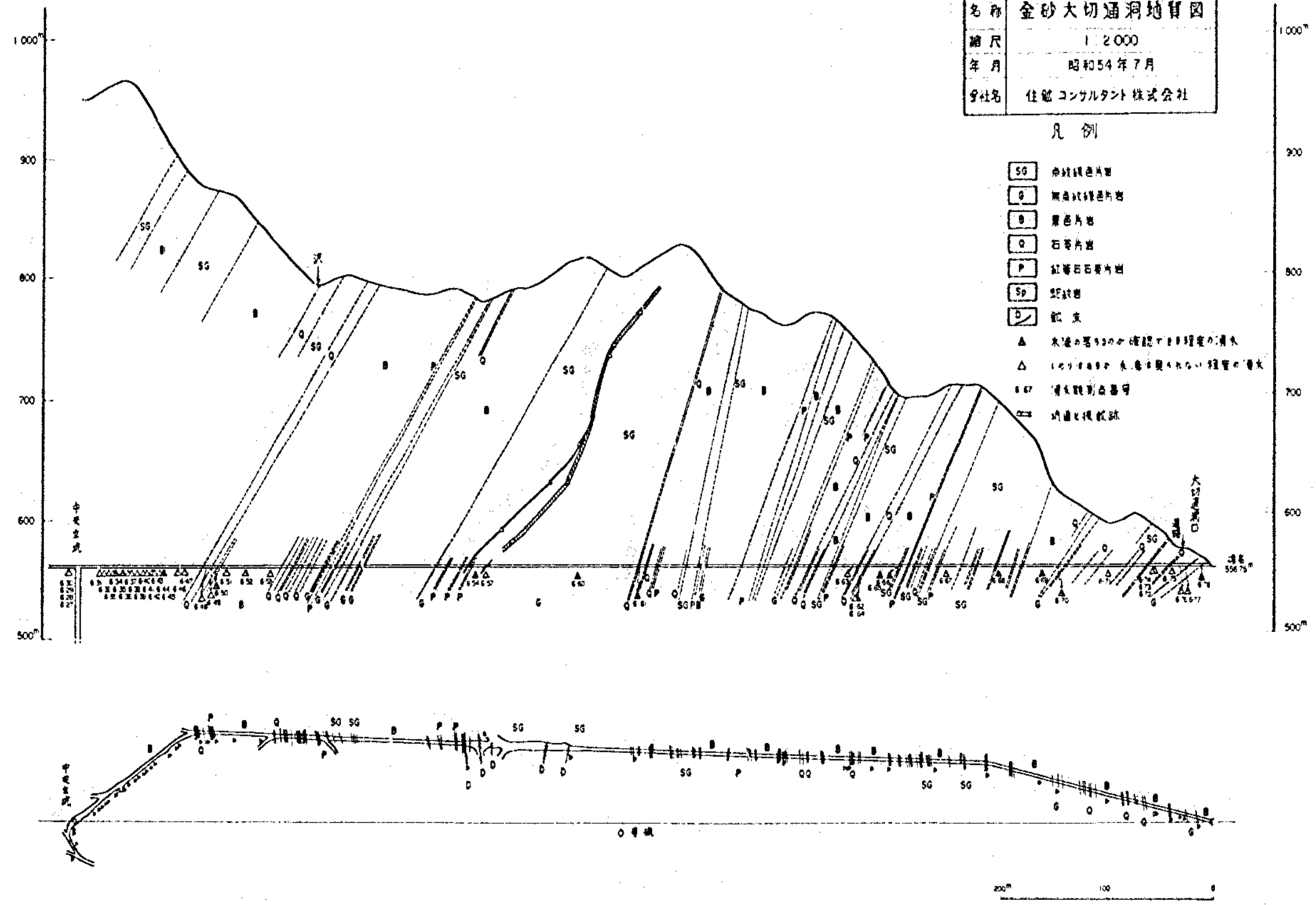
- △ 片理, 節理, 断層箇所にて湿気のあるところ
- △ 片理, 節理, 断層箇所にて水滴が認められるか又は水が流れ落ちているところ
- 試錐孔口にて湿気のあるところ
- 試錐孔口にて水滴が認められるか又は水が流れ出ているところ
- 2-20 湧水観測点の番号

図番	第5-2-1図
名称	金砂坑(OL)地久坑(2L)佐々連坑(OL)坑道連結断面図, 湧水状況図
縮尺	1:5000
年月	昭和54年7月
会社名	住鉱コンサルタント株式会社

図番	第5-2-2図
名称	金砂大切通洞地質図
縮尺	1:2000
年月	昭和54年7月
会社名	住能コンサルタント株式会社

凡例

- SG 赤褐色片岩
- G 黒色片岩
- B 黒色片岩
- Q 石英片岩
- P 紅褐色石英片岩
- Sp 泥岩
- D 砂岩
- ▲ 大塚の湧き水の確認できる程度の湧水
- △ 小塚の湧き水の確認できる程度の湧水
- 湧水観測点番号
- 〓 地層境界線



第5-2-3表 全記録による湧水程度,原因別箇所数

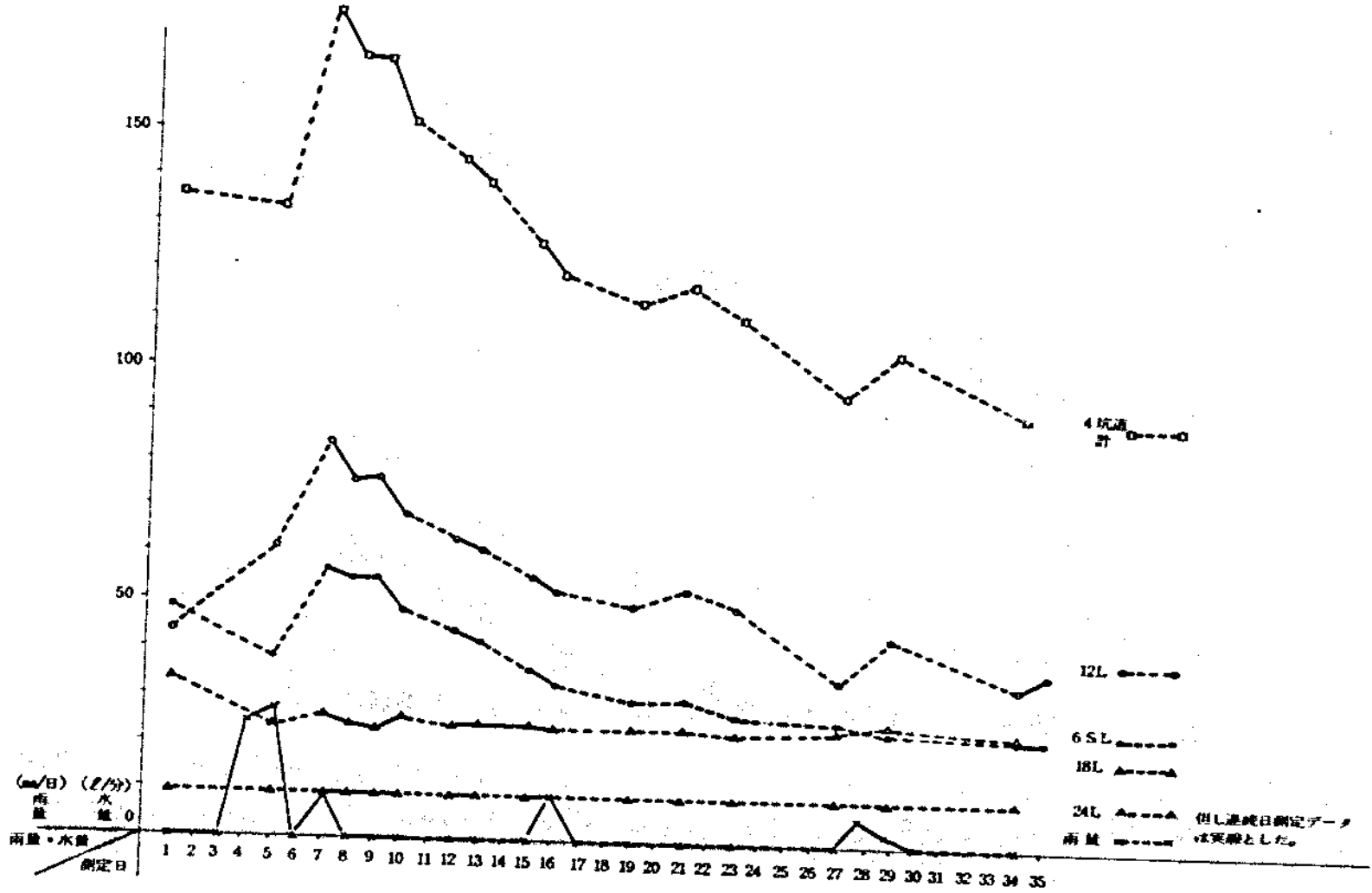
坑道	調査距離 (m)	湧水程度別				計	湧水原因別				箇所/調査m (n)	各L(n)/42L(n)
		Z	P	B	C		試験孔	片理 新層	切上 採掘場	その他		
OL以上	2667	20	75	48	1	144	4	103	33	4	0.054	27
6SL	3867	13	42	77	47	179	3	126	18	32	0.046	23
12L	2955	1	15	13	2	31	6	22	2	1	0.010	5
18L	2343	3	18	12	0	33	23	3	7	0	0.014	7
24L	2673	0	8	16	3	29	18	6	3	0	0.012	6
30L	720	1	2	3	1	7	3	2	2	0	0.01	5
36L	600	0	1	2	1	4	3	1	0	0	0.007	35
39L	840	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0.001	05
42L	870	0	1	1	0	2	0	2	0	0	0.002	1
計	17535	38	161	174	55	428	61	265	65	37	0.024	
%		89	376	407	129	100	143	619	152	86		

第5-2-4表 湧水程度,原因別箇所数(切上り,斜坑,採掘場を除く)

坑道	調査距離 (m)	湧水程度別				計	湧水原因別				箇所/調査m (n)	各L(n)/42L(n)
		Z	P	B	C		試験孔	片理 新層	切上 採掘場	その他		
OL以上	2667	9	61	40	1	111	4	103	-	4	0.042	21
6SL	2100	1	7	5	7	20	3	15	-	2	0.010	5
12L	2503	0	4	9	1	14	4	10	-	0	0.006	3
18L	2343	0	14	12	0	26	23	3	-	0	0.01	55
24L	2343	0	7	14	0	21	18	3	-	0	0.009	45
30L	720	1	2	2	0	5	3	2	-	0	0.007	35
36L	600	0	1	2	1	4	3	1	-	0	0.007	35
39L	840	0	0	1	0	1	1	0	-	0	0.001	05
42L	870	0	1	1	0	2	0	2	-	0	0.002	1
計	14986	11	97	86	10	204	59	139	-	6	0.014	
%		54	475	422	49	100	289	681	-	29		

第5-2-5表 坑内主要坑道別排水量

測定日	降雨量 (%/日)	6SL水量 (L/分)	12L水量 (L/分)	18L水量 (L/分)	24L水量 (L/分)	合計 (L/分)	合計 (m ³ /時)
No 1	0	48.3	44.4	34.0	9.5	136.2	8.172
2	0	-	-	-	-	-	-
3	0	-	-	-	-	-	-
4	25.0	-	-	-	-	-	-
5	25.5	38.6	61.9	24.3	9.5	134.3	8.058
6	0	-	-	-	-	-	-
7	9.0	57.1	84.2	26.1	9.5	176.9	10.614
8	0	55.7	76.1	24.8	9.5	166.1	9.966
9	0	55.2	77.0	23.8	9.5	165.5	9.930
10	0	48.4	68.6	26.0	9.5	152.5	9.150
11	0	-	-	-	-	-	-
12	0	44.6	64.3	26.0	9.5	144.4	8.664
13	0	42.4	61.8	25.8	9.5	139.5	8.370
14	0	-	-	-	-	-	-
15	0	36.9	56.2	24.8	9.3	127.1	7.626
16	10.0	33.5	52.9	24.2	9.5	120.1	7.206
17	0	-	-	-	-	-	-
18	0	-	-	-	-	-	-
19	0	30.4	50.3	24.5	9.5	114.7	6.882
20	0	-	-	-	-	-	-
21	0	30.9	53.3	24.2	9.5	117.9	7.074
22	0	-	-	-	-	-	-
23	0	27.2	50.3	23.5	9.5	110.5	6.630
24	0	-	-	-	-	-	-
25	0	-	-	-	-	-	-
26	0	-	-	-	-	-	-
27	0	26.7	35.3	24.5	9.5	96.0	5.760
28	6.0	-	-	-	-	-	-
29	3.0	24.3	44.9	26.2	9.5	104.9	6.294
30	0	-	-	-	-	-	-
31	0	-	-	-	-	-	-
32	0	-	-	-	-	-	-
33	0	-	-	-	-	-	-
34	0	23.5	34.9	24.0	10.0	92.4	5.544
35	0	23.4	37.6	23.3	-	-	-



第 5 - 2 - 3 図 坑内主要坑道別排水量

5-3 調査結果の解析

これまで使用した術語の内、その定義につき確認したいものは次のとおりである。

◎浸透 (Infiltration) は本来 1-4 に記したように、土壌水帯での水の移動を云うが、一般的な水の投入や飽和帯中のゆるやかな水の移動に対しても使用した。本来の意味では「滲透」を当てる学者もある。

◎湧水 (Spring) は水が地表に滲出することで、地下水が地表に露出している場合には地下水露頭に当り、「いづみ」と云う。自由面地下水、被圧面地下水のいずれを問わず、地下水面が地表に現れるとき起こるが、その名称について滲出する水量の大きさによって区別する学者もあり、例えば 2 L/秒未満のものを湧水、15 L/秒未満のもの小湧泉、また同じく 15 L/秒以上の場合は湧泉としている。

しかし、当調査地域のような岩盤地帯での地下水は先の 1-4、1-6 で詳しく述べたとおり、岩盤内の亀裂、節理、片理、断層、破碎帯や空洞などに賦存している岩賦水と呼ばれるもので、前記の定義には合い兼ねる性質を持っている。この場合、地下の岩盤内に坑道や採掘場等の空間をつくることで、地下水帯との水の通路ができ、そこを経て地下水が地下空間へ出てくるわけである。すなわち、「湧水」と云うより「流出」が応しい。

この報告書では「流出」の外その湧水の状態によっては「滴水」あるいは「滲漏」の表現をもって区別して記述を行った。しかし、総称的な意味で使用する場合には「湧水」を使用した。

◎排水量 (Drainage) : 坑内にある水はさく岩等の作業に使用する、わざわざ坑外からパイプで配管して給水した水の排水と、地表から浸透してきた地下水との 2 種が主なものである。

岩盤の岩石分離面或は採掘跡や切上り、斜坑を通過して坑道面に流出してくる坑内水は、坑道の側溝を流れてポンプ座のある水溜め (Sump) に集水される。この水の量を普通には「排水量」と呼んでいる。この場合、採掘は中止されているので使用水は含まれず地下水だけであるが、用語としては従来通り「排水量」を用いた。

調査結果からみるに、地下水量の大部分を占めると考えられる 6SL, 12L, 18L, 24L の合計は 0.177~0.092 m³/min であり、湧水地点における流出程度も今次調査で観察した限りでは多量に、音を立てて流れるような箇所はなく、量としては極めて水の少い部類の鉱山と云えよう。しかし、その量は少いとは云え、地表から数百 m から 1000 m 以上の深部においても岩盤から浸透してくる地下水が見られたことは意外であり、その原因や状況等は慎重に検討されねばならないことである。

具体的事項をあげれば次のとおりである。

① 地下水の浸透経路

採鉱に伴う坑内空間以外で、件数的に多いのは試錐孔と、岩石の節理、片理である。この場合の湧水程度は滴水または滲漏と呼ぶべきものであり、湧水の量は極めて少いが、地下深部

になっても(30L, 山頂から約1300m)認められる。第5-2-4表中の湧水程度Z(水の流れが認められる)件数11の内、片理・節理に因るものが4件もあり、岩層を貫く試験孔からの水の流出を考えて見ても、片理や節理という岩石自身のもつ条件が地下水の浸透経路つくっていることが明らかにされた。

② 地下水の移動流路

前記の浸透経路は主に地表からの地下水の浸透の経路について考えたのであるが、この移動流路とは浸透した地下水が集まって或程度の量になって移動するときの流路は何か、と云った意味の問題である。

移動流路というべき大きなものは採掘跡・切上り・斜坑等と見られる。調査結果の記録である第5-2-3表からみると、これらは湧水原因別の約30多、湧水程度Z件数の中の約60多であるばかりでなく、附図第5-4坑内地下水系図と第5-2-5表からも判るように、佐々連坑、金立坑の採掘跡に入った水は中間の坑道を経ず、下部に続く採掘跡を通過して12Lに流下して居る。これは附図第5-1の上記2坑の0L坑道面での湧水地点の少いことにも現れている。また断層や破砕帯の類はいずれも小規模で、地下水の流路として目立つものは無く、上記の採掘のための人工的空間が主要流路となっている。

③ 湧水による岩盤の湿潤と、坑内通気による結露の区別

岩盤内の地下水の浸透経路が岩石の片理・節理を主とし、その湧水状況は大部分が先にあげたランクのB(岩盤がベトベトした感じに濡れている)とC(岩盤が湿っている感じ)に当るもので、全体の半分以上を占めている。一方、坑内の岩盤は通気による結露がある。季節や天候の変化による入気条件の変動で若干の動きはあるけれども、坑道の一部は結露から濡れているのでその判別には注意する必要がある。観察結果は附図第5-3に示したがこれは坑道面における結露を主にした乾湿状態を表したもので、個々の湧水地点での原因別の状況は附図第5-1にある。

④ 地表から坑道までの深さによる影響

第5-2-3表においては、39Lを除けば約200m深さ毎の資料数値を示しているわけであるが、山頂より200~300mまでの湧水箇所数(1Km当り54ヶ所)は、山頂から約1600mある坑道(42L, 1Km当り2ヶ所)の27倍である。

総箇所数427(39Lを除く)の内、山頂から約1000mに当る24Lまでの分は97多、400~500mに当る6SLまでで既に75多を示している。

この事は、採掘跡・切上りおよび新風洞と金砂大切通洞の資料を除いた第5-2-4表においても同様の傾向を示し、24Lまでの分は94多、6SLまでで65多になっている。

以上からみて400~500mの「かぶり」は湧水の大部分を減らすことが出来るが、1000m以上の地下深部においても地下水の浸透は無くならないことが判る。

⑤ 開坑後の経年数による影響

各坑道の開坑後の経年数は第3-2表にあげたが、露頭から200mまでは300年近くになるけれども、200m~400mは大体50~60年であり、1,000m以深の地区は20年以下であって、短い期間でも地下水の浸透は進むことを示している。

⑥ 黒色片岩、緑色片岩の岩種による水の浸透の違い

第5-2-2表坑内水調査記録において、12Lでの資料12-17から12-28までおよび、12-30は夫々佐々連緑色片岩層の上下盤にある黒色片岩中からの流出であり、同じく金砂大切通洞、新風洞での調査結果は黒色片岩中の湧水が著しいことを示している。第5-2-2図は金砂大切通洞での状況を表している。

また、附図第5-2に見られる24Lの下部立坑北東、中央立坑からの立入坑道の一部では24-19から24-21が黒色片岩中の湿潤部を示し、同一レベル隣接部である緑色片岩帯の乾燥ぶりとの対比は顕著である。また、12L、18L、24Lにおける試錐孔はその殆んどが、黒色片岩に入って緑色片岩体の境界を確認してから終了しているが、これらの試錐孔の大多数から湧水が認められており、おそらく黒色片岩からの浸透によるものと思われる。

⑦ 試錐孔からの地下水流出

試錐孔のすべてに水気があり、第5-2-3表の試錐孔観測点61箇所の内、水の流れが見られるP以上のものが33箇所あって半分を越えている。各レベル別になると次のとおり

0L	P - 3孔	Z - 1孔
6SL	P - 0	Z - 1孔
12L	P - 5孔	
18L	P - 14孔	
24L	P - 7孔	
30L	P - 2孔	
36L	P - 1孔	

これらの試錐孔からの水の流出は、掘さく終了後一年以上経過しているのに、使用水の残りとは考えられず地下水の浸透によるものと考えざるを得ない。

⑧ 坑内における地下水流路系統と流量

各主要坑道別の排水量は第5-2-5表と第5-2-3図に示してあるが、測定期間中の平均値を比較すると次のとおりである。

	平均(L/min)	最大(L/min)	最小(L/min)	比	率
6SL	38.1	57.1	23.4	4.0	29.4
12L	56.1	84.2	34.9	5.9	43.3
18L	25.3	34.0	23.3	2.7	19.8
24L	9.5	10.0	9.3	1.0	7.4
合計	131.2	176.9	92.4	13.6	100%

これを見ると12Lは6SLよりも約200m深いにもかかわらず水量が多い。これは附図第5-4に見られるように、佐々連坑と金立坑の採掘跡を通った水が主に12Lに集まって排水されているからと考えられる。

24Lについては、地表の降雨の影響が現れず、一定の流量を示しているばかりではなく、採掘跡や切上りの無い東部坑道からの湧水が主であって、PHもアルカリ性を示していることが特に注目される。すなわち、地表に近い地点での採掘跡による浸透や地下に入ってから採掘跡を流路としたものではなく、純然たる岩盤中の流路を経た地下水と考えられる。地表における降雨は2~3日後になって坑内排水量の増加として影響しているが、山頂から約800mの24Lには全く影響が出ていない。

⑨ 坑内地下水のPH値

地表の沢水や地下水が直接流出している坑口のPHは次のとおりであった

上小川の水源地	PH 7.5
西の谷沢水	PH 7.6
地久坑口	PH 7.5
佐々連坑口	PH 8.0
金立坑口	PH 8.1

すなわち、地表水は比較的アルカリ性を持っている。

一方、坑内の地下水については附図第5-4図に表示したが、これから見ると採掘跡を経た水のPHは低く極めて著しい酸性を示しており、それ以外の水はアルカリ性である。このことは地表から岩盤だけを通して浸透して来たものはPHが高く、逆にPHを知ればその水がどんな流路を経て来たかに答え得ることを示している。

附図第5-6図において見ると、採掘跡を通った排水である12L、18Lはすべて酸性であるが、24L東部のものや30L坑道はアルカリ性を示している。

⑩ 岩盤温度と地温勾配

◎6SLで行った下向き70度の試錐孔の測定

孔長 110m

東芝電子製MGAⅡ型サーミスタにて測定

標高 555m, 坑道地温 14.7℃

孔端地温 18.0℃

地温勾配 33m/℃

◎42Lで行った下向き70度の場合

孔長 196m

東芝電子MGAⅡ型サーミスタにて測定

標高 -634m, 坑道地温 43.7℃
孔端地温 49.0℃
地温勾配 36.9m/℃

以上の資料から6SL~42Lを計算してみると下記のとおりである。

標高差; $555m + 634m = 1189m$

地温差; $43.7℃ - 14.7℃ = 29℃$

地温勾配; $41m/℃$

何れにせよ、特に異常な性質を示してはいない。

6. 調査地域の気象・水文資料

調査地域は二万五千分の一地形図で見られるように金砂町に属し、栗師峠～小川山～佐々連尾山～大森山～1198山を結ぶ範囲内にあり、附図第6-1に名前の出ている北京谷、上小川川又谷および西の谷流域を含む地域に当る。

また、金砂湖を造っている柳瀬ダムの大きな集水域の一部に含まれている地域である。

当該地域の地形、地質、坑道間の関連を示す平面図は附図第6-1で、地形と岩層、鉱体の傾斜の関係は第4-3-3図からも判るが、降水量と地下水の涵養、沢や川の水量との関係、或いは地下水の浸透条件等を検討するため役立つものとする。

地下水の坑内への浸透に関係する主な地形・地理的条件は三つある。

- ① 坑道を覆う地表の集水範囲
- ② 岩層の傾斜と岩体の規模
- ③ 坑道の地表からの深さ

また、水文的条件としては次の二つが重要である。

- ① 地域の地下水涵養量
- ② 地下岩層の透水性

以上のような基本条件の資料等を中核として総合的検討を進めねばならぬが、地下水の根源である気象・地表水文についての主要数値をあげれば下記のようなものである。

直接的な当該地域の資料が無いものについては建設省柳瀬ダム管理事務所による、同ダムについての総合資料を基として検討を進めることとした。

(1) 地域の降水量

S 鉱山の降雨量記録、柳瀬ダムの降水量記録を次に掲げるが、略々同等であった。また、柳瀬ダムの集水域は四国山脈中に東西の広がりを持ち、全地域が地形的同一条件下にあると考えたので、気象・水文については柳瀬ダムの資料数値を使用することとした。

柳瀬ダム月当り降水量

第6-1-1表のとおり

S 鉱山月当り降雨量

第6-1-2表のとおり

(2) 地域内沢、川の湧水量

柳瀬ダム全体の流入湧水量と集水面積とから平均的な単位面積当りの湧水量を求め、これを用いて、各地区の沢川湧水量を算出した。

柳瀬ダムの湧水時集水面積 144.6 Km²

柳瀬ダムの月平均換算流入水量 第6-1-3表のとおり

第6-1-1表 柳瀬ダム月当り降水量(%)

年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
49	35.0	115.2	74.9	158.3	40.3	147.7	554.2	116.1	492.9	143.7	42.6	63.0	1983.9
50	71.6	133.5	79.5	109.5	28.8	258.7	166.4	639.3	156.4	225.7	175.0	60.3	2104.7
51	19.4	156.5	112.7	177.3	108.9	215.7	237.8	196.9	1317.3	183.3	147.5	52.3	2925.6
52	38.2	54.9	126.4	109.1	103.6	205.7	46.7	94.2	282.7	71.5	226.5	42.2	1401.7
53	55.8	78.1	75.4	108.7	69.2	265.0	120.7	183.0	82.4	115.9	81.1	88.4	1323.7
49~53 平均	44.0	107.6	93.8	132.6	70.2	218.6	225.2	245.9	466.3	148.0	134.5	61.2	1947.9
28~53 平均	74.9	89.6	101.5	134.8	122.7	217.7	208.7	243.2	387.0	145.3	96.4	68.5	1890.3

第6-1-2表 佐々連藍山月当り降雨量(%)

年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
49	30	11	43.5	19.2	68.5	157.5	568.5	12.4	54.0	10.4	34.5	3.7	1910.5
50	50.5	63.5	73.5	8.7	23.5	29.7	264.5	86.25	16.2	227.5	1.2	6.6	2357.5
51	21	11.2	2.3	13.3	8.3	20.9	29.5	15.3	155.5	17.5	134.5	3.0	2933.5
52	5	0	42.5	83.5	106.5	15.5	7.9	123.5	30.2	52.5	20.8	30.5	1188.0
53	26	16	41.5	94.5	6.7	37.4	20.8	34.9	118.5	113.5	9.2	65.5	1565.5
49~53 平均	26.5	40.5	44.8	118.0	69.7	238.5	243.0	262.4	537.5	134.5	130.2	45.8	1991.4

第6-1-3表 柳瀬ダム月平均換算流入水量 (m³/sec)

(万m³)

月 年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	豊水	平水	渇水	年平均	年総量
49	1.48	4.06	4.59	10.32	4.47	4.53	27.98	3.11	33.07	5.48	2.87	2.26	6.28	3.89	1.12	8.63	273.76
50	2.88	6.35	6.46	7.30	3.53	9.82	8.15	58.92	4.38	9.75	11.37	3.90	8.02	5.00	1.87	11.14	351.24
51	1.74	6.27	6.83	11.39	6.41	8.88	19.27	5.53	101.61	7.32	6.63	3.00	8.28	5.36	1.46	15.27	483.01
52	1.74	1.52	4.75	7.79	4.76	9.29	3.41	4.15	15.65	5.49	8.95	2.68	6.27	3.38	1.18	5.83	183.99
53	2.37	3.01	3.84	4.92	3.22	11.94	12.43	12.73	3.21	3.21	3.02	2.35	3.72	2.84	1.68	5.48	172.92
49~53 平均	2.14	4.24	5.29	8.34	4.48	8.89	14.25	16.89	6.25	6.25	4.78	2.84	6.51	4.09	1.46	9.28	292.98
28~53 平均	2.95	4.18	5.54	9.01	7.43	10.16	10.62	17.15	7.11	7.11	4.43	2.64	8.34	4.28	1.49	9.03	284.87

これらの数値からS鉾山地域の沢や川の湧水量を試算すれば、次のようなものである。

北京谷	1.21Km ²	0.73m ³ /min
川又谷	1.18 "	0.71 "
西の谷	3.78 "	2.29 "
上小川	4.12 "	2.50 "
計	10.29Km ²	6.23m ³ /min

前に述べた1-6によって、この水量を当該地域の地下水流出量と見做せば、その涵養地下水約6m³/minの一部である約2% (5-3-③にある0.13m³/min)が坑内に流れ込んでいることとなる。

7. 調査地域における地下水データの総合的考察

これまでの資料研究、実施調査と測定の結果について、当調査目的に沿って特に重要な事項を選出して纏め、当調査地域の地下水の条件特性を明かにし、総合的考察としたい。

① 地質は日本でも極めて古い岩層に属する三波川系変成岩によって構成され、火山活動や活断層のない安定した地帯である。

岩石は緑色（塩基性）片岩、石英（珪質）片岩、黒色（泥質）片岩、砂質片岩の4種に分けられ、その互層によって地層がつけられているが、浸蝕や水の浸透に対しては黒色片岩が最も弱く、地形断面での凹地は黒色片岩であり、黒色片岩中の立入れや試錐孔には地下水の湧水することが多い。しかし変成岩以外の火成岩、堆積岩と比較すれば、堅硬緻密な部類に属する。また、断層も少く、規模も小さいので、地下水の浸透量は多くは無い。

② 鉱石の主要構成鉱物は硫化鉱物であって、採掘跡にある残壁や残鉱を洗った地下水は極端な酸性を示したが、地表の沢や川水および坑内の岩盤を通過して流れた地下水はすべてアルカリ性であった。

③ 当坑内の地下水は所謂岩罅水に属し、地表からの浸透経路は岩石の片理・節理・割れ目断層と判断される。それら地下水流路がどのように連絡されているかは確認できないが、調査結果によれば、その地下水量は無視出来得る程度のものであるにせよ、地表から1,000 m以上の深さまで浸透していることが認められた。

④ 採掘跡は大きな人工空洞とも云うべきもので、佐々連坑や金立坑での地表に近いところのものへの地下水の浸透は比較的によく、坑内下部のそれは、地下水の広い移動流路をなし、水脈の流動と云える動きを見せている。

⑤ 試錐孔は変成岩層を貫いてさく孔されるので岩石の片理と交叉するわけで、殆んど試錐孔は地下水を集水していた。特に異種岩層を貫き、黒色片岩中のものが多いことも原因と考えられる。これらの結果を見るに、試錐孔による岩罅水帯に対する地下水調査は方法として有効と云える。

⑥ 降水量は1900 m/年で、日本の平均に近く普通である。湧水量は0.62 m³/minで1日当りの涵養量は0.9 m³/m²/日となる。

⑦ 鉱山地域全体の岩盤の透水性を試みに計算すれば次のとおりである。坑内全体として、

面積：10 Km²、坑内排水量：0.13 m³/min

動水水頭：1 とすると；

$$\text{透水係数：} K = \frac{0.13 \text{ m}^3/\text{min}}{10 \text{ Km}^2} = \frac{0.002 \text{ m}^3/\text{s}}{10 \text{ Km}^2} = 2 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$$

この数値は採掘跡や坑道、試錐孔の影響が多分にあると考えられるので、概略的に云えば $K = 1 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ あたりと推定される。

8. 地下空洞構造物に対する地震波の影響について

地球の内部に生じた異変から放出されたエネルギーを地表まで運んでくるものが地震波であって、地震波によって生ずる地表面における地盤の振動が地震動と呼ばれる。

地震動は複数の地震波——地中を震源から地表まで伝わってくるもので、進行方向に振動する速度の早い縦波（P波）、波の進行方向に直交して振動する横波（S波）の2種をもつ実体波と（この地震波は地中での屈折・反射によってできる複雑な波形をもって地表に向う）、ならびに表面波と呼ばれて地表面だけを伝わるレーリー波とラブ波——により起こる、これが所謂地震であって地表物体に応答振動を生ぜしめ被害を与える、すなわち地震災害（以下震害という）である。

震害は広汎かつ多種に亘るもので、一次的には地盤の変動、建物や施設の損壊や津波を起こし、波及的に火災、水害、交通や通信の麻痺、経済の破綻、社会の混乱を招来、多数の人命を奪うに到るものである。

ここでの問題は地下空洞構造物に対する地震波の影響にあるので、具体的には地下空洞構造物の耐震を検討することにある。

地中構造物の開発は最近いちじるしいものがあり、その主なものは上下水道、鉄道や道路トンネル、地下鉄、地下道、地下街、波理トンネル、地下空洞構造物などであるが、これらの耐震に関する工学的研究は漸く緒についたばかりと云える。

ただ地中構造物とは云つても、地表面に極めて近く、多くが土質地盤中にあるパイプやケーブル管、暗渠、上下水道、地下鉄、地下道、地下街、沈理トンネルや、或は地下数十m辺にある地下発電所や、また土かぶりの多い山岳トンネルその他鉄山・炭鉱の様に地下深所の岩盤内につくられるものなどがあって、夫々の地盤の条件によって震害の状況は大きく異なっている。しかし、一般的には、地中の地震動は地上よりは弱く、顕著な震害も報告されていないことから、地中構造物建築に対する法的基準もないのが実状である。

これは、地中構造物の歴史も浅く、資料も少いことと、研究が十分進んでいないことから来ていると考えられるが、今後新に開発する際には十分な検討を行って、耐震上安全なものを期すべきであろう。

当調査対象である地下空洞は地下何百m以深を想定しているのであるが、これに類した既存資料は殆んど無いので一般的な震害発生の基本原則と地表での事例の研究とから対策へのアプローチを始めざるを得ない。

ここでは先ず既存の文献、資料の整理によって具体的な問題点を把握し、その対策的検討を通して今後の研究計画の参考資料を供しいと考え、論述を進めた。

8-1 地中構造物の震害記録

(1) 鉱山・炭鉱における震害

鉱山・炭鉱の地中構造物は、地下空洞構造物としての捲室、ポンプ室、火薬庫、事務所、休憩所、扇風機室或は立坑、斜坑等が主であって、坑道自体も支柱の有無にかかわらず同等な取扱いをとるべきと考える。地表からの深さ、空洞の規模の点から見てこれら鉱山・炭鉱のケースは地中構造物の代表的なものと云うべきものであるが、その鉱山・炭鉱の坑内震害は記録には出ていないのである。記録に出ていないということは、その地震で死亡或は重傷者が多数あったとか、施設に莫大な損傷を生じてその復旧に時日を要したとか、の被害が無かったからで、実際には当該関係者内部だけで処理できた様なものの公けにされないのがあったかも知れない。鉱山・炭鉱に勤務した経験者の話では、元來崩壊しかけていた坑道とか、亀裂の多いところでの落石とか、支保の不十分な坑口の破損とかを見聞していると云う。しかしこれらは特別の条件下のことで、先にあげた地下空洞構造物と呼べるような十分な対策を施してあるところ、或はそのような支保を必要としない坑道の中では全く被害はないとのことである。

以上からみて坑内での震害は、これまでのところ特筆すべきものはなかったと云えよう。唯一つ、興味ある聞き込みとしては昭和43年の十勝沖地震(M7.8)が、北海道中部の炭鉱で起った山はね(Rock Burst)の引き金(Trigger)になつたかも知れない、と云う疑問があったことである。

調査に当って特に注意した地震と鉱山の組み合わせは次のものであった。

享和 2年(1802年)	M6.6	佐渡	佐渡金山
安政 5年(1854年)	M6.9	飛騨	神岡鉱山
大正12年(1923年)	M8.1	関東南部	伊豆半島各鉱山、日立鉱山
昭和19年(1944年)	M8.3	東南海沖	紀州鉱山、妙法鉱山
・ 21年(1946年)	M8.1	南海道沖	、 、
・ 23年(1948年)	M7.2	福井平野	尾小屋鉱山
・ 37年(1962年)	M6.2	釧路沖	太平洋炭鉱
・ 43年(1968年)	M7.8	十勝沖	太平洋炭鉱、各炭鉱、千才鉱山、 豊羽鉱山

勿論、最近の伊豆半島沖地震(1974)、1978年の伊豆大島近海地震および同年6月の宮城県沖地震の結果についても資料を追った。

資料渉猟の経過は次のとおりである。注：Mはマグニチュード(規模)

① 明治以前の地震 a. 大日本地震史料、1904；震災予防調査会編。

b. 資料日本被害地震総覧、東大出版会・1975；宇佐見竜夫

② 明治43年以降日本鉱業会誌、日本鉱業会刊、大正13年1月、第10巻第165号、関東大地震既要号を含め目次を点検。

④ 月刊 鉱業保安情報 鉱業労働災害防止協会刊
立地公害局監修、昭和43年以降10年分を点検。

何れも坑外施設以外に関する震害記載なし。

(2) 地下発電所の震害

国内外とも地下発電所は数多くあり、今後は益々増えてゆく傾向にあるが、これについても、致命的な災害が報告されたことはない。地中構造物の中では比較的深所につくられ、巻立も十分行われて機械や電気設備維持上の条件が良好であって計測上都合の良いことから、地震学上の研究が多く行われて、耐震工学研究に大きく貢献している。文献も蓄積されつつある。被害は軽いけれども地下発電所の受けた震害の稀な例として次の事例がよく知られている。

Koyna 地震：

インド、ボンベイ南々東200kmのKoyna地方、デカン高原の西端の臨海地、 $M=7.0$ 、震源は地下発電所から数km、1967年1月。

稀にしか地震の起きない地域のため、一般的に耐震上の配慮が無かったため、民家や重要構造物が破壊して死者を出し、近くの重力ダムも漏水を生じた。

地盤は、下の基盤にプレカンブリアン層を持ち、その上の厚さ2000mの溶岩で安定したものであった。

Koyna 地下発電所：

落差 488m、出力 54万KW、地下 約150m、地盤 玄武岩

主な空洞寸法 制水弁室 $6m \times 15m \times 17.4m$ 、水車発電機室 $13m \times 40m \times 200m$ 、変圧器室 $16m \times 30m \times 19.3m$ の3室と、これを結ぶ廊下坑道、さらに長さ2212m($6m \times 8m$)の放水路トンネル

被害：

- ① 水車発電機室および変圧器室への出入用トンネルの側壁と天井アーチ(厚さいずれも12")について、巻立施工時期の異っている境界部に亀裂ができた。
- ② 変圧器室下の放水路両側壁に亀裂、主室の床に、主配筋に平行に亀裂が出来た。コンクリートの打ち継目に一致している。また天井アーチの頂部に長さの方向に亀裂。
- ③ 水車発電機室と変圧器室を連結する廊下の側壁に1~2m巾の亀裂が出来たものの、背後の岩石にまでは届いてはいず、コンクリートと岩との間の剝離は認められなかった。

(3) 鉄道トンネルの震害

鉱山・炭鉱と同様、多くは山岳地域の岩盤中につくられ、土かぶりも相当深いものであ

て、当該調査の対象として重要なものであり、有効な示唆を与えてくれるものと考えらる。

この場合も完成後のトンネル内部における致命的災害事例はなく、坑口附近その他特殊条件によるものが主であった。鉄道トンネルの震害については鉄道技術研究所によって詳しい調査と研究が進められているが、同所地質研究室が現在作成中の「鉄道トンネルの震害事例とその性格の考察」には明治の鉄道開設以来の震害データにつき建築、土木、地質、地震学等各分野からの総合的検討を行い統計的に処理した研究結果が示される筈で、極めて注目すべきものと思われる。去る昭和53年10月、土木学会で開催された、昭和53年度岩盤力学委員会第1回研究報告会における上記研究の概要報告では次のような結論が述べられた。

鉄道技研「鉄道トンネルの震害事例とその性格の考察」結論要旨

① 鉄道トンネルの震害の定義*

ここに云う震害とは鉄道の目的である、列車の運行に支障が出ることであって、それ以外の壁に生じた微細な亀裂や設備の些少の損傷などは含めていない。

② 震害の生起

所謂土かぶりが50m以上の場合、特殊条件の存在しない限り、地震動だけでは震害は起っていない。

③ 震害の主要因

影響の大きい要因の順序**は次のとおり。

I 特殊条件

II 経年

III 土かぶりの浅さ

④ 特殊条件の内容

最も重大な要因である特殊条件とは、下記のようなものである。

活断層、破砕帯、偏圧のかかる場所、膨張圧のかかる場所、施工工事ミス

⑤ 工事上の要点

地中覆工工事でコンクリートと岩盤とが密着していないで、覆工部が自由に振動できるような箇所、或は覆工の打ち継ぎ目などには問題が起きている。

以上の山岳トンネルの多くは異種岩石の互層を貫いており、距離も長いので地質的条件としては、全長にわたって安定した地域を選ぶことが難しいわけで、鉱山・炭鉱あるいは地下発電所と比べれば比較的的条件は良くないと云える。

その外の鉄道トンネル関係に関する最近の資料をあげれば、次のとおりである。

* 当報告書の震害と同じ用語であるが、表題には震災とあった。

** 他の条件が同じの場合の卓越性。

◎鉄道技術研究報告，昭和48～51

海底トンネルへの地震の影響に関する調査研究：藤原

◎トンネルと地下，9-6，1978-6

伊豆大島近海地震による被害 鉄道トンネル；小野田，楠山，吉川

○9-7，1978-7， 道路トンネル；今田

◎日本地震工学シンポジウム（第5回）論文集，120，トンネルの地震観測，1978-11

；田村，岡本，加藤

◎天然資源の開発利用に関する日米会議，耐風・耐震構造専門部会会議録

42，衣浦港海底トンネルにおける地震応答観測，1977；中山，清宮，土田

8-2 震害の発生機構

震害を回避あるいは防止したり、起ったとしてもその被害を最少にとどめるための措置や設計を実現するには先づ震害発生の原因とその構成条件を知る要がある。それによって原因条件を避けたり、対応措置を取ったり、進行を大きくする要素を除いたりして、対策を立てることが出来る筈である。

震害は根本原因である地震と地盤と建造物の相互関係によって生起されるが、夫々のもつ多くの細目条件の組み合わせで、結果は大きく異ってくるものである。

これらの関係を表示すると第8-2-1表のようになる。

震害は地震動によって引起された建造物の破壊と損傷であるが、建造物にかかる力とこれに対する耐抗力の均衡的關係から生じることが一般的な力学原則によるものである。しかしその建造物にかかる力の源である振動が、地球内部の地震の大きさだけで決められるのでは無く、堅硬な岩体である基盤と地表との間にある地盤といわれるところの状態によって決定的な影響を受けるとともに、さらには建造物自体の振動についての性格により拡大されるという特性が重要なポイントなのである。

すなわち、地震災害は地盤災害に外ならない、とも云われているが、震央から基盤を経て地震波が地盤に入ると、地震動は基盤中と比べて波形は複雑化し、振幅は増巾され、周期や速度や加速度が大きく変って、建造物を振動させる。かくして地盤の性状は建造物の振動に対して直接的かつ絶対的な支配力を持っている。地盤が軟弱（例えば沖積層や埋土地）か、中硬（洪積層）か、岩質（岩盤）かによって、そこに現れる地震動は同じ地震にもかかわらず、全く違った様相を示すものである。

また、建造物の構造と地盤の夫々の種類の組み合わせによっても震害の程度は大きく変わってくる。例えば関東大地震のとき、沖積層の軟弱地盤帯である下町では木造家屋の被害が多く、洪積層の中硬地盤帯にある山手では土蔵やコンクリート建造物の被害が目立った、という。

新潟地震（1964）の際に秋田市内で行われた調査結果では、地盤別による震度には大きな差が見られた。

地 盤	気象庁震度階
1. 第3紀層	3
2. 洪積層および砂丘	3+
3. 沖積層砂礫（厚20m）	3~3+
4. * 粘土質（厚60m）	4~5
5. 埋立地	5

* S波の伝播速度数百m程度の岩石で、相当の広がりを持ち、構成や力学的性質の変化が少い、地殻深部に続く岩体。

第 8 - 2 - 1 表

№	原因	場所	種類	振動	性質条件	影響条件
1.	地震の強さ	マントル上部, 地殻下部～ 基盤	震源の深さ 震央からの距離 実体波 表面波	地震波	周期 振幅 波形 速度 加速度 伝播速度 減衰性 持続時間	
2.	地盤の性状	表層地盤	(表層地盤 深層地盤) 土質地盤 岩質地盤	地震動 (振動)	周期 振幅 波形 速度 加速度 減衰性 持続時間	卓越周期
3.	構造物の適性	地表 地中 (地下空洞)	剛性構造 可換構造 靱性構造	応答振動	周期 変位 変形 速度 加速度 持続時間 逸散性	固有周期 基礎と上部構造, 基礎と土との 連結構造。

8-3 震害原因の構成条件

① 震源分布の地域性

地震はどこにでも起り、地球上一樣に発生するものではなく、或る限られた地域にのみ発生しており、一般には地震帯とよばれているわけであって、地震の無いところが地球の大部分を占めている。日本は国別で言えば不幸にして多い位置にあるわけだが、日本においても北海道の内陸部、四国などのように顕著な被害をともなった地震が過去に発生していない地域もある。

日本の地震帯としては東北日本帯——北海道東方沖から十勝沖を抜け、三陸沖にかけた地域と、西南日本帯——東海道沖から南海道沖の地域、内側地震帯——裏日本の沿岸部、横断地震帯——伊勢湾から福井にかけて内陸を横断しているもの、等が知られている。

② 活断層による地震

伊豆半島沖地震(1974年)は活断層による地震として知られるが、いわゆる直下型地震の典型であった。活断層とは約100万年以降に、その断層面を境とする両側の地塊が相対的に突如動いたという形跡が、地形学・地質学上から確かめられたというもので、将来動く可能性が予想される断層を云う。100万年と云えば長い年月のようであるが、地質年代的に見ると極めて短い時間で、更に地殻変動を起こす恐れがあり、数も相当多いので注意すべきである。

③ 軟弱地盤^{*}における構造物の共振現象

軟弱地盤は物性的に軟く、構成が力学的性質の異ったものの互層からなっているので、基盤における波動がこの軟弱地盤に入るにつれ、内部で所謂多重反射が行われる。このため、軟弱地盤内の地震波形は大きく変わる。元来地盤はある特定の周期の波動に対して大きく振動し、増巾作用を受ける性質を持っているが、このときの定常的な振巾の大きな振動の周期が、地盤の卓越周期と呼ばれる。すなわちその地盤の地質的構成と物理的性質が与える固有周期である。

一方、構造物についても全く同様の固有周期を有しているので、両者が接近するようなときには、所謂共振現象を起こし、長い周期と速い速度、大きな変位の応答振動を生起させ構造物は破壊するに至る。

これが先に述べた構造物の構造と地盤の性状の組み合わせによっては、極めて大きな震害が起こるといふことの意味である。

④ 軟弱地盤と岩質地盤の振動比較

地震波のS波の伝播速度は軟い地盤では遅く、堅硬な地盤ほど速い。地下の極めて深いと

* 沖積層やその上の埋立地等の表面層

ころでは 4.5 Km/sec , 深いところは 3.0 Km/sec , 基盤と呼ばれるところは $2.0 \text{ Km} \sim 0.7 \text{ Km/sec}$ くらいのもので, 地表附近での極軟弱部では $100 \sim 400 \text{ m/sec}$ 程度であって, この速度を測定することによって地盤の性状を知ることができる。

震害の夫々の特徴としては, 前者では木造建築物の破壊が多く, 後者の場合は脆い材料や剛性構造物の被害が主である。これは後者での地震動が加速度のわりには変位は小さいこと, 前者の場合には逆に変位が大きいことによるものである。

岩質地盤には地形や山影の影響はあるが条件的に表面風化, 破砕帯や断層を含むような特殊の場合を除いて, 軟弱地盤に現れる卓越周期たるものは無い。しかし, 短周期領域の振動で, 比較的大きい加速度を示すことがある。

⑤ 構造物損壊原因としての振動特性

先にかかげた振動の性質条件の夫々が震害の大きさと関係があり, また相互に影響を及ぼしあうことは前述のとおりである。

加速度が最も一般的な, 地震の強さを示す尺度として用いられているが, 特に構造が剛性に富むような弾性破壊の場合によく適合するもので, 鋼構造でおぼりのあるようなものには振動の速度が最も影響を与えるという。また高層建設とか, 高くてうすいダムのように可撓性に富んだものも加速度よりは, 周期・振巾・波形などが強く関係してくるので, すべてを加速度で判断するわけにはいかない。

8-4 地下における地震動の特徴

最近における地中構造物の増加や観測井における地震観測等によって漸く地下における地震動の研究は進みつつある。地震動の加速度については、卓越周期をもつ沖積層地盤とその下の堅い岩盤内との比較の例は少いが、夫々の同一地盤内の深さによる違いを示す例は幾つか見出される。

沖積層内部の地中では地表の加速度と比べて、深度数十mで $1/3 \sim 1/5$ の例がある。また硬岩地盤でも日立鉾山の角閃岩中の記録^{*}では150m深度で $1/2 \sim 1/6$ を示した。

最近の報告によれば、東電鬼怒川発電所では自動制御所地内堅坑とボーリング孔を利用して地震観測を行っているが、昭和38年以来300ヶ以上の地震を記録した。地盤は硬い粗粒緑色凝灰岩が主である。地下発電所に通じる堅坑内のNo1～No5の5点、約17m毎に加速度計（電磁型）を、更にNo1とNo5には変位計（固有周期1sec）を設置。堅坑から約15mはなれたボーリング孔には同じ深さまでの8ヶ所に加速度計（歪計型）を埋設した。

地震波S波の伝播速度の記録では、大部分は $1.6 \sim 1.7 \text{ Km/sec}$ 、地表部分では増巾された傾向があった。観測結果は、地震動による変位振巾を見ると地表と地中との差は殆んどなく、変位も小さい。一方加速度については地中（67.2m下）のそれは地表の $1/2 \sim 1/25$ であった。

東電沼原発電所は花崗閃緑岩中に地下発電所をつくったもので、土かぶり150m、水平で300m程度の地中にあり、空洞の大きさは巾22m、高さ45m、長さ130mで約10万 m^3 、コンクリート巻立が行ってある。この空洞周辺3ヶ所に速度型換振器を設置して昭和53年より観測を始めた。地表では花崗閃緑岩を覆う凝灰岩上に観測点を置いてある。とらえた地震5波による結果^{**}では、地下と地上の加速度比は最小 $1/2$ 、最大 $1/15$ 。変位について、多くの場合は両者に差は少く、地下の方が若干小さいということであった。

参考となる最近の関係資料は次のとおり。

- ◎土木学会論文集No92地中構造物に働く地震力に関する研究1963；岡本、加藤、伯野
- ◎土木学会第14回地震工学研究発表会講演概要No52扇島海底トンネル地震観測、1976-7；那須、蝦名、高野、大石
- ◎日本地震工学シンポジウム論文集（第5回）17、地下深部の基盤中における地震動と地表層の地震応答、1978-11；太田、丹羽、安藤
- 25、地形・地質の異なる隣接地盤の地震特性、1978-11；宮島、浅岡、青野
- ◎東京大学生産技術研究所生産研究29-5、地中構造物の耐震設計方法としての変位法に関して、1977-5；田村

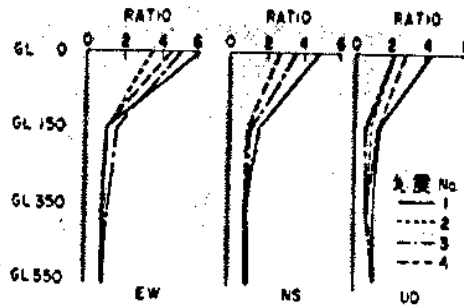
* 第8-4-1表参照

** 第8-4-2表参照

- ◎土木学会誌, 1978-4, 原子力発電, 地下立地, 電力中央研究所; 林, 駒田
- ◎土木研究所資料, 1253, 1977-4, 応答変位法に基づく地中構造物横断面の耐震法および最終耐力に関する研究; 栗林, 川島, 柴田, 宮田
- ◎土木学会第15回地震工学研究発表会講演概要, №43, 地下空洞の地震時挙動観測例, 1978-7; 電源開発, 市川, 有賀
- №46, 岩盤地帯の地震動の最大加速度について(東電, 鬼怒川地下発電所) 1978-7; 田村, 加藤, 岡本
- ◎土木研究所資料, 1312, 1978-3, 地中構造物の地震応答解析プログラム仕様書(その1)(その2); 栗林, 川島, 柴田
- 1103, 1976-3, 地中地震動の観測結果(その1)(その2); 岩崎, 若林, 堀内
- ◎東京大学地震研究所彙報
第29号, 1951, Observation of Earthquake Motion at the Different Depths of the Earth I; 金井, 田中
- 第14号, 1966, Comparative Studies of Earthquake Motions on the Ground and Underground. I; 金井, 田中, 吉沢, 守屋, 小佐田, 鈴木
- ◎日本建築学会大会学術講演概要, 昭和52年10月, 2032, 深い地中における地震観測; 鈴木, 政尾, 長浜
- ◎土木学会第14回地震工学研究発表会講演概要, №15, 地中地震記録に基づく地盤の応答解析 1976-7; 岩崎, 竜岡, 今井

第8-4-1表

日立鉾山坑内の地震観測による最大加速度の深さによる変化(1977)



但しRATIOは $\frac{\text{地表}}{\text{地下}}$

第8-4-2表

沼原発電所における地震観測例, 最大加速度と変位の深さによる変化(1978~1979)

NUMAPPARA POWER STATION

No.			7	8	9	10	11
Date			1978 5/11	1978 6/12	1978 6/14	1978 6/17	1979 3/11
Hypocenter	N. L.		37°17'	38°09'	38°12'	36°53'	37°17'
	Long. E.		141°48'	142°10'	142°29'	140°41'	141°43'
Magnitude			5.4	7.4	6.3	-	5.5
Focal Depth	(km)		40	40	40	0	40
Focal Distance	(km)		170	230	260	70	160
Maximum Acceleration Amplitude (gal)	Ground Surface	N-S	2.8	10.7	0.5	11.65	3.6
		E-W	3.0	9.6	0.62	11.95	5.3
		U-D	1.2	6.3	0.37	6.78	2.7
	Under Ground	N-S	0.5	3.3	0.24	1.09	1.6
		E-W	0.6	2.4	0.2	0.75	1.3
		U-D	0.4	2.6	0.16	0.60	0.8
Maximum Displacement Amplitude (μ)	Ground Surface	N-S	17.3	432	85.2	74.8	75.0
		E-W	60.9	476	54.8	81.0	66.0
		U-D	40.9	412	36.2	39.3	48.8
	Under Ground	N-S	38.4	411	72.7	9.3	43.8
		E-W	45.6	428	95.2	6.0	48.3
		U-D	42.0	375	32.1	5.6	35.9
	East Wall	N-S	1.5	366	70.2	21.3	54.4
		E-W	6.8	313	36.1	13.0	51.7
		U-D	5.2	397	32.1	3.6	43.0
	West Wall	N-S	9.3	289	47.4	22.1	63.8
		E-W	4.3	262	36.0	8.2	42.7
		U-D	4.3	376	34.1	3.1	42.8
Maximum Acceleration Amplitude Ratio (Ground/Underground)	N-S	5.6	3.24	2.08	10.7	2.25	
	E-W	5.0	4.00	3.10	15.9	4.23	
	U-D	3.0	2.42	2.31	11.3	3.38	
Maximum Displacement Amplitude Ratio (Ground/Underground)	N-S	2.37	1.05	1.17	8.0	1.17	
	E-W	1.34	1.11	0.58	13.5	1.38	
	U-D	0.97	1.10	1.13	7.0	1.36	

8-5 地中構造物の地盤の問題

これまでの記述は主に地上構造物を想定しての論議であったが、これによって地中構造物の条件や特性をよく理解することができ、耐震性を検討するのに必要な比較資料を提供することができると考えたからである。

地中構造物とはいわば地上構造物における「基礎」とも云えるもので、その地中構造物の内部空間に建設されたり、設置された構造物が、これまで使用して来た地上の構造物を意味するわけである。一方、その内部構造物から見れば、地中構造物は地上における基礎と同じで、かつ、それが地盤と一体となっているような場合に当たるものである。すなわち、地中構造物は地上構造物のように、その固有周期によって地盤の挙動とは別に振動するという自由を殆んど持っていないわけで、その周辺地盤の地震動がそのまま作用してくることになる。

地盤と地中構造物のこのような挙動上の関係から、耐震性の増大をはかるためには、構造物の構造だけでなくそれに対応した地盤についての対策に関して総合的な検討を進める必要性が出てくるものである。

地盤の挙動によって起される震害には一般的に云って二種ある。① 地上構造物の軟弱地盤における場合が代表的であるが、地盤の振動が激しいためにその上の構造物が破損されるもの。② 地盤自体が地震動によって破壊されるため、それに伴って構造物が損傷するもの、である。

地上構造物の場合の②の原因については所謂地すべり性のもので、液状化タイプがよく知られているが、これらは何れも軟弱地盤において多く見られるもので、地中構造物の場合はこれとは異なる。この場合の破壊の原因が地震動の加速度にあると云われるに対し、地盤が堅硬な岩盤である地中構造物の場合は地盤内部に生ずる応力ひずみが、より問題となるという。この応力ひずみは地震動だけによる場合は極めて小さいものであるが、これらの応力は、地震動の速度が大きいなど、地震波の伝播速度の速いほど大きくなるといわれ、これも加速度だけでは論ぜられないものである。

また、この外、これまで論じて来た振動はすべて横波の水平動であったが、縦波である上下動も地下においては問題となり、これら振動の及ぼす、地盤内の応力の集中、あるいは間隙水圧の上昇によって震害が起こされることも予想されるので、十分な研究が要求される。

また震害による地盤の変動が、地下水水系に影響を与えたり、残留応力のある部分に割裂を加えて山はねの原因となったりする可能性もないとは云えない。

8-6 地下空洞構造物の震害対策

上記の検討事項を整理して、震害の発生機構と原因の諸条件につきそれが作動できないような選択と設計を行うことで対策が得られる。

地上構造物の場合は、その基礎が伝える地盤の振動により、構造物自体の慣性力から生ずる固有周期で共振して、大きな変位と変形を起こすに対し、この場合ではそうした構造物のフィルターを過すことなく、その周辺地盤の地震動そのまゝが構造物の動きとなるものである。

かくて、地震によって動くような活断層が地下空洞近くにあれば、それによって大きな変位を受けるであろうし、地下空洞を含んだ地盤全体が移動を起こすとか、崩壊するときは、その中にある空洞構造物が破壊されるのは当然ということとなる。すなわち、地盤自体が安泰であるなら、地下空洞構造物も安全であることを示すわけである。勿論、構造物と地盤とを結合する覆工が確実に施されていることを前提とするが。

以上をまとめて、十分に検討しなければならない主な計画条件をあげれば次のようなものである。

第1要素；強い地震を避ける

- ① 頻発地帯、強地震発生地区から外れ、地震の少ない地域を選ぶ

第2要素；良好な地盤地域を探す

- ① 活断層、火山帯地区を外し、堅硬な岩石の大きい岩体を持つ地域
- ② 破砕帯、断層帯、異種岩石を持たない地区
- ③ 山はねの恐れのない地区
- ④ 地下水関係の問題がない地区

第3要素；構造物の設計と施工

- ① 周辺地盤に適合した形、寸法、構造、強度を持った設計、特に靱性に富んだものとし、材料をえらび、軽くする
- ② 施工は設計仕様を均一かつ十二分に充足させて、ミスを出さない

以上の原則を基に、地質調査、ボーリングによる諸検層、地球物理テスト等を行って立地を選定し、相当の土かぶりをとって、S弾性波速度と圧縮強度の適当な、相当広い分布をもつ基盤中につくれば、先ず直接的震害は避けることが出来ると思われる。

本節ならびに全般についての参考文献は次のとおりである。

◎耐震工学、1971、オーム社；岡本

◎地震学、1954、内田老鶴圃；中村

◎地震波動、1954、岩波書店；本田弘吉

* 覆工は厚いと被害が出易い、薄く出来るような地山を選ぶこと。

- ◎地盤と震害，1977，積書店；田治米，望月，松田
- ◎東京大学公開講座，地震，東大出版会，1976；宇佐美，梅村，久保
- ◎地震の科学，1973，NHKブック；竹内
- ◎耐震，耐風構造，建築構造学7，鹿島出版会；那須，竹内
- ◎耐震構造学，朝倉建築工学講座7，1976，朝倉書店；金多
- ◎土木学会誌，地中構造物の耐震性と耐震設計，1977-11；田村
- ◎土木工学会誌，震害と地盤は関係ありますか，Q-5，1978-9；石原
- ◎土木学会エネルギー土木委員会，地下貯油槽基準第一次原案，第6章耐震設計
- ◎道路トンネル，道路建設講座9
- ◎電力事業連合会 地下構造物の設計基準

なお，気象庁を中心して現在実施中の地震予知のための調査では，種々の岩体中の地震動観測が行われているので，これらの結果報告は今後の研究の極めて重要な資料源になるものと思ふ。

9. 結 語

当調査は地下深部に人工的に作られた空洞に関する地下水の挙動を明らかにすることを目的とするもので、三波川系変成岩帯で海面下830m、山頂下1800mまでの坑道を持つ愛媛県S鉱山において行われた。坑内の坑道延長約60kmと云われるが、その内の踏査できる主要坑道の約18kmを観測調査した。坑内の湧水状況と地下水の挙動を把握するとともに、それら現象の原因的要素としての諸条件について調査、資料研究を行って多角的、総合的検討に欠けぬよう努めた。

調査地域の立地条件および調査実施結果を要約すれば下記のとおりである。

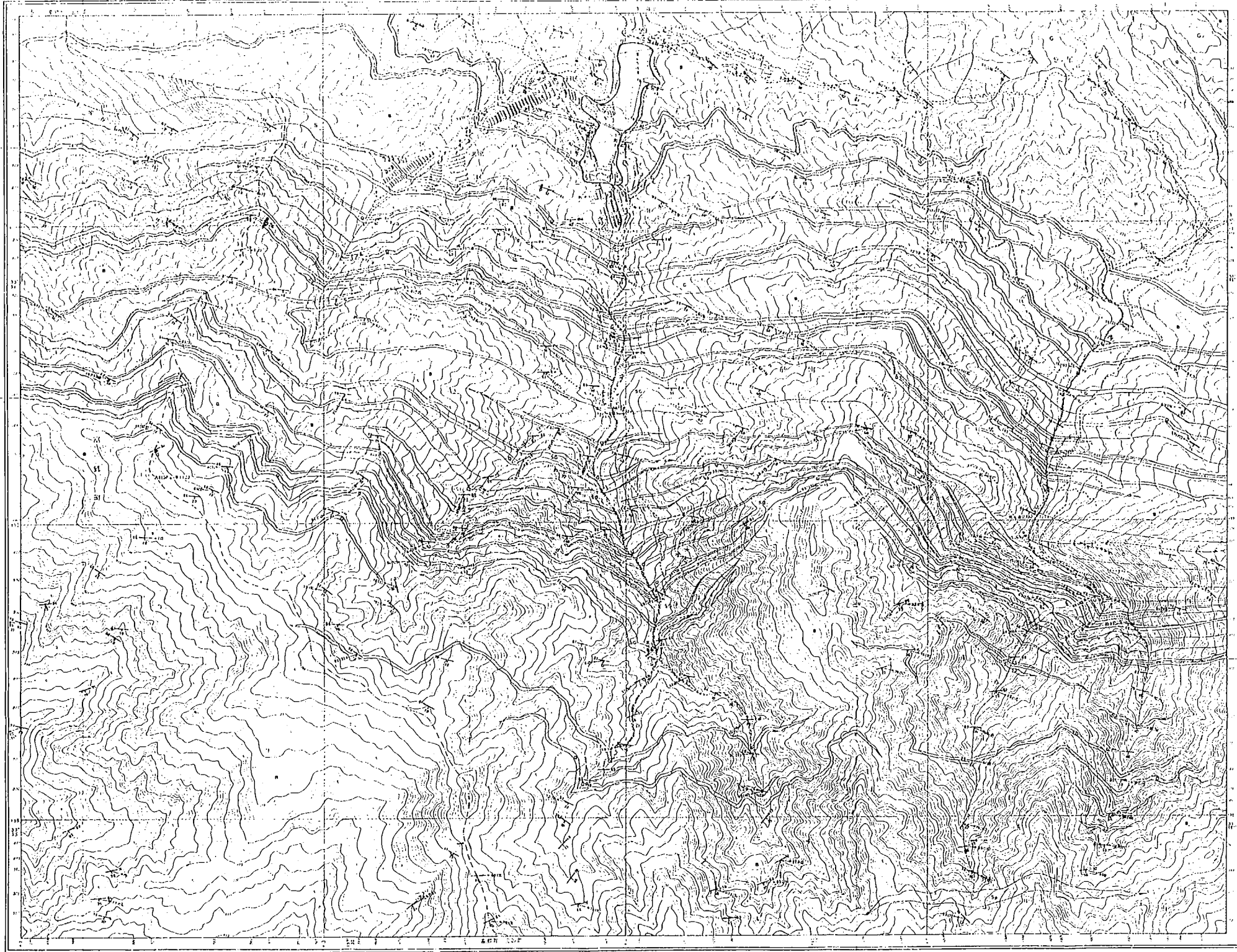
- 地質条件 : 地質時代 古生代
 岩質 変成岩(緑色片岩, 黒色片岩が主)
 地熱 火山帯, 温泉帯なし
 岩盤状態 断層, 破碎帯少し
 岩体 緑色片岩の大きいところで, 800m×600m
- 地殻条件 : 地殻変動 火山活動, 活断層なし
 地震 震央からの距離, 震度の実績に問題はない
- 水文条件 : 地形 標高500m~1200m山間地にあり山容急峻
 涵養量 1m³/m²/日以下で, 表土は浅く, 川というよりは沢が主である
 集水面積 約10Km²
 湧水量 0.62m³/sec/Km²
- 気象条件 : 降水量 1900mm/年

測定結果

- 坑内地下水量 : 約0.13m³/min程度(昭和54年5月)
- 湧水箇所の状況: 1km当り24地点
- 僅少水流箇所 9ヶ
- 水滴の認められる所 38ヶ
- 湿潤となっている所 53ヶ
- 岩石の透水性 : 黒色片岩が高い1,000m以上の, かぶりのあるところでも地下水が
 滲み出る。
- 浸透経路 : 岩石の片理・節理が主であるが, 流量的には坑内採掘跡が大きな流路
 となっている。
- 地温勾配 : 30m/℃~40m/℃程度で, 異常ではない。
- 当該地域は三波川系変成岩帯の中でも相当岩質的に安定性のある佐々連緑色片岩を有すると

ところで、坑内地質についても顕著な擾乱部を持っていないので、地下水の浸透は少い筈で実測結果については探掘跡の影響が相当大きく現れていると考えられる。

地震の地下空洞に与える影響の問題については、地域的に地震帯を避け、安定した岩石地域を選び、擾乱部のない地区で相当程度の土かぶりを持たせ、確実な設計と施工を行うならば、直接的被害の恐れは無いと推定される。

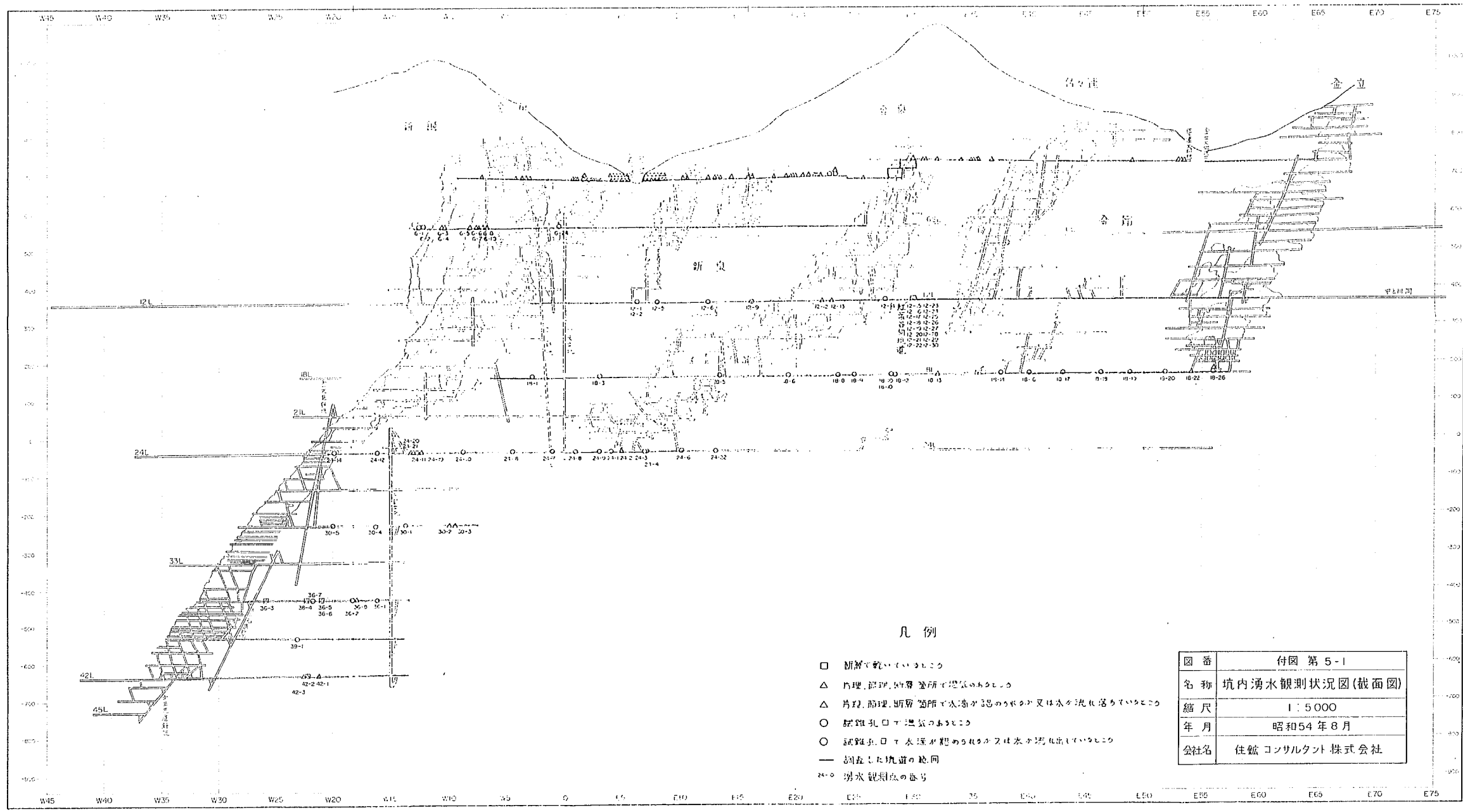


1:5000

- 凡例
- SC 点状緑色片層
 - G 黒点状緑色片層
 - D 石灰片層
 - n 紅い石片層
 - s 黒色片層
 - Sp 砂鉄片層
 - 蛇紋片層

付図 第 4-1

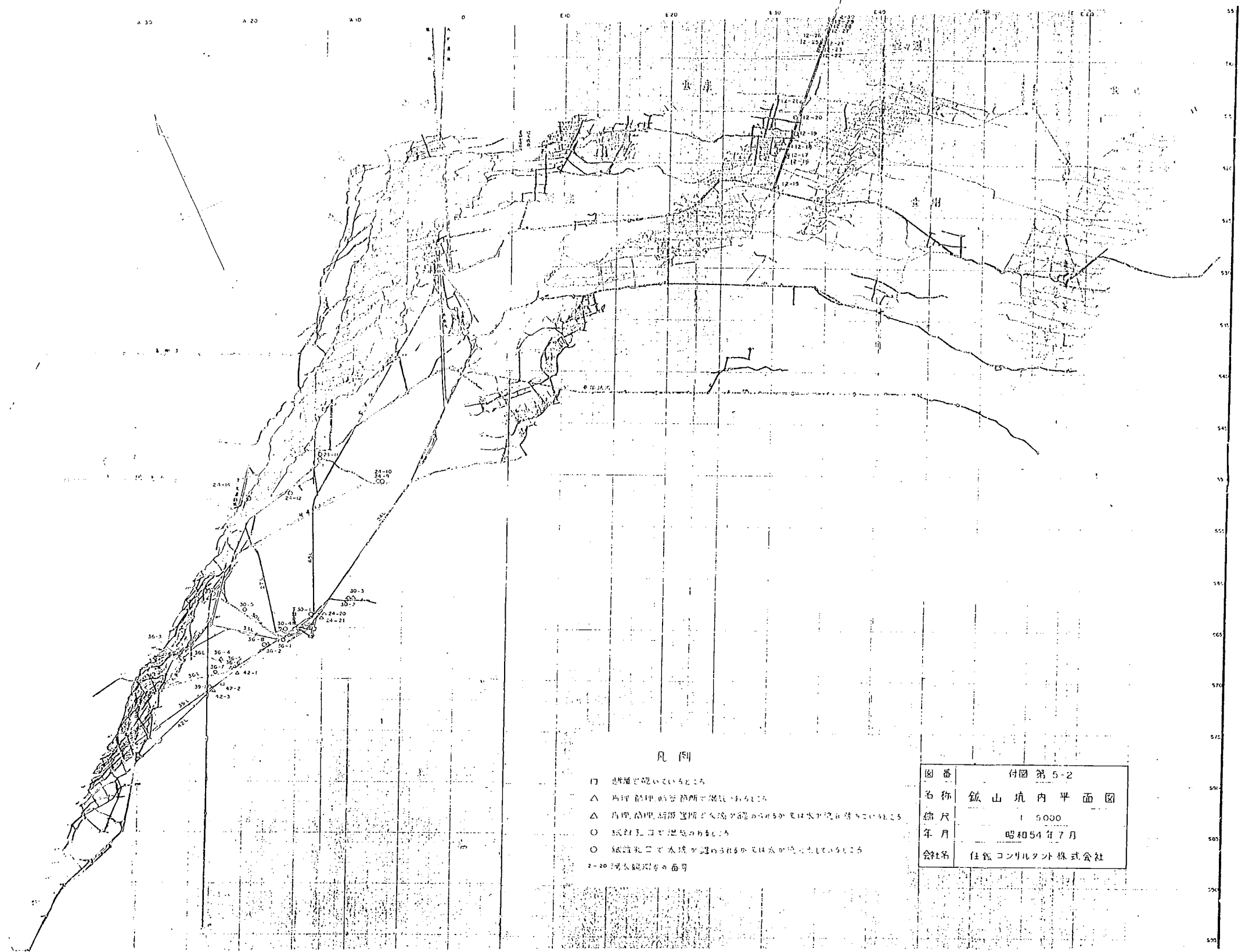
名	S 笠山鉢床地区地層図		尺	1
縮			尺	5000
社	住友コンサルタント株式会社			



凡例

- 断層の概観
- △ 片理、節理、断層、節理の位置
- △ 片理、節理、断層、節理で水漏れが認められる場所又は水が流れ落ちている場所
- 観測孔の位置
- 観測孔にて水漏れが認められる場所又は水が流れ落ちている場所
- 調査した坑道の地層
- 湧水観測点の番号

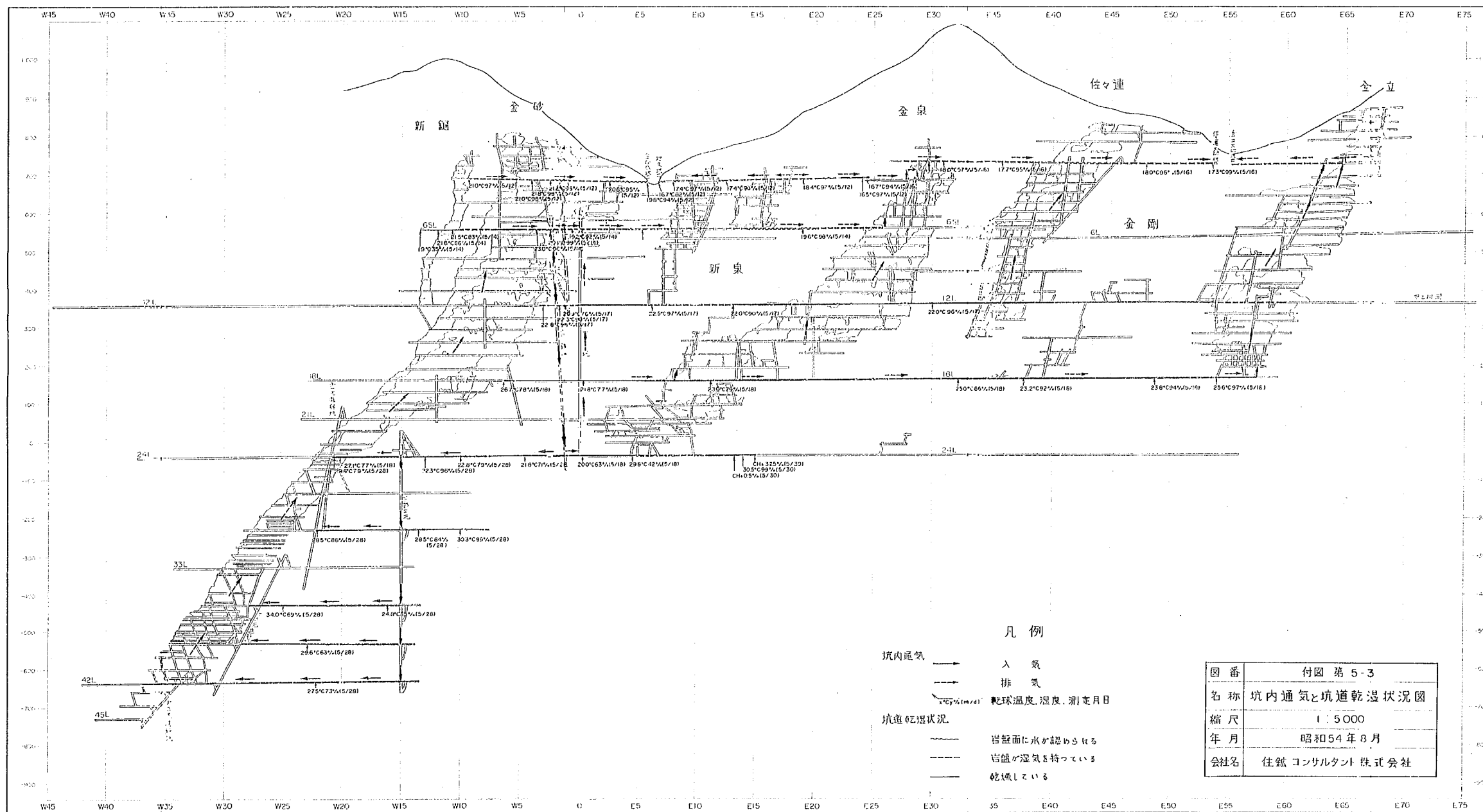
図番	付図 第5-1
名称	坑内湧水観測状況図(断面図)
縮尺	1 : 5000
年月	昭和54年8月
会社名	住録コンサルタント株式会社



凡例

- 掘進中掘削中の場所
- △ 片理の傾斜を示す場所
- △ 片理の傾斜を示す場所
- 掘削された場所
- 掘削された場所
- ▽ 河川線の番号

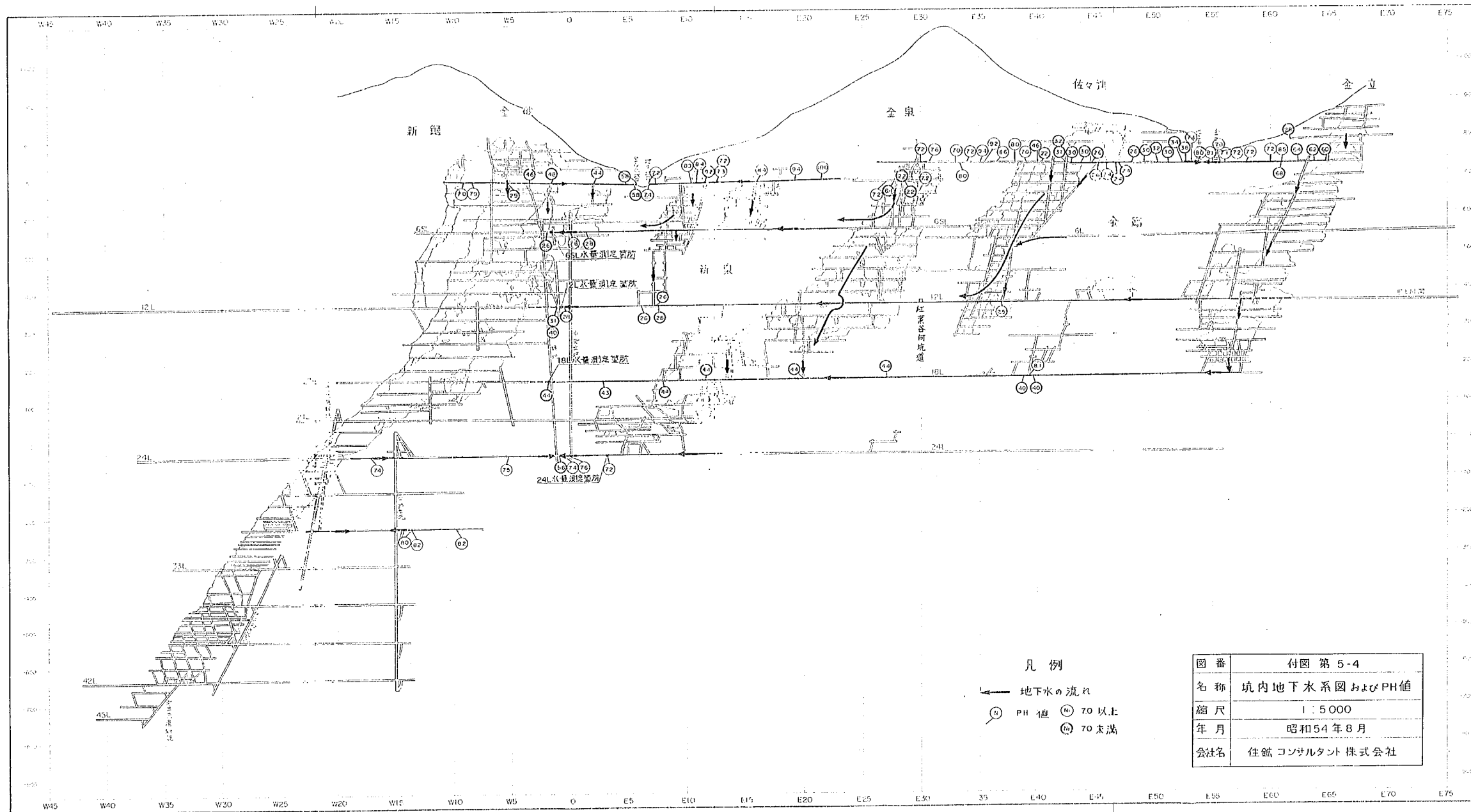
図番	付図第 5-2
名称	鉦山坑内平面図
縮尺	1:5000
年月	昭和54年7月
会社名	任直コンサルタント株式会社



凡例

- 坑内通気
 - 入気
 - ← 排気
 - 観測温度、湿度、測定月日
- 坑道湿度状況
 - 岩盤面に水が認められる
 - - - 岩盤が湿気を持っている
 - 乾燥している

図番	付図第5-3
名称	坑内通気と坑道乾湿状況図
縮尺	1:5000
年月	昭和54年8月
会社名	住銀コンサルタント株式会社



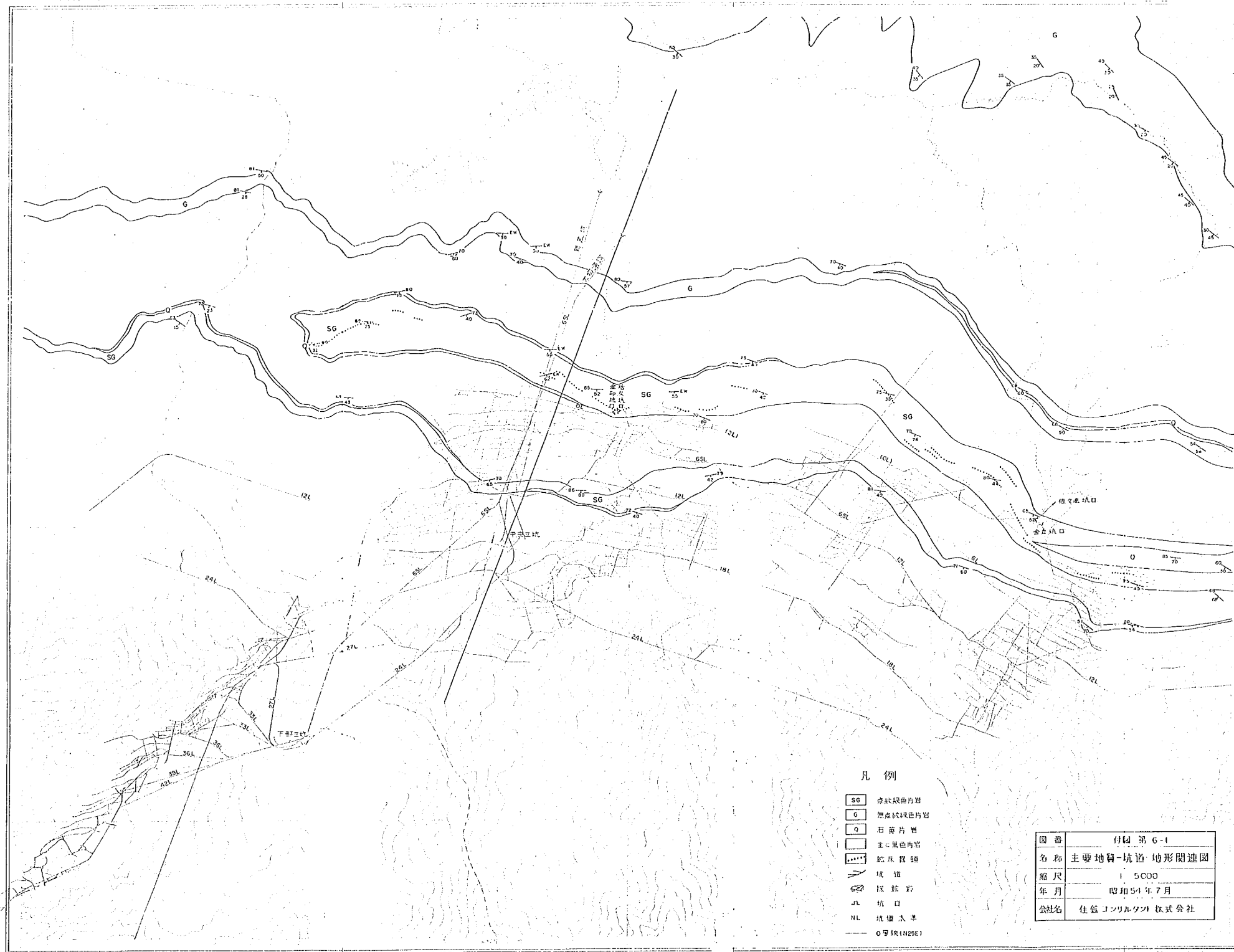
凡例

- ← 地下水の流れ
- PH 値
- ④ 70 以上
- ⑤ 70 未満

図番	付図 第 5-4
名称	坑内地下水系図およびPH値
縮尺	1 : 5 000
年月	昭和 54 年 8 月
会社名	住鉄 コンサルタント 株式会社

SAZARI

佐々連地区



凡例

- SG 砂防線画内野
- G 加高砂防線内野
- 石 葎片野
- 主に黒色内野
- 砂床埋頭
- 堤 頂
- 堤 趾 跡
- 坑 口
- NL 埋頭入基
- 可成INSEI

図番	付録 第 6-1
名 称	主要地質-坑道-地形関連図
縮 尺	1 : 5000
年 月	昭和 51 年 7 月
会社名	住友コンサルタンツ 株式会社