

分置

03

T  
SJ 199-79-02

# 旧坑条件の調査研究報告書

昭和 54 年 2 月

同和鋳業株式会社

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、引用等には事業団の承認が必要です。

## 序

この調査は動力炉・核燃料開発事業団のご下命により同和鉱業株式会社が調査をしたものであります。

本調査の機会を与えて頂きましたことは、当社にとって誠に光栄に存する次第でありましてここに厚く御礼申し上げます。

昭和54年2月

同和鉱業株式会社

代表取締役社長 小 森 英 夫

実施責任者

鉱山部長 熊 谷 英 男

# 目 次

1. 実施場所	1
2. 調査の概要	1
3. 受託者側実施責任者	1
4. 実施担当者	1
5. 実施期間	1
6. 調査結果の要約	2
7. 鉱山の概要	4
7.1 位置・交通	4
7.2 地形・気候	5
7.3 沿革	5
7.4 地質・鉱床	7
7.5 採鉱・選鉱	11
7.6 排水対策	14
8. 湧水環境	16
8.1 気候	16
8.2 地形	18
8.3 地質	20
9. 湧水状況	22
9.1 鉱体別湧水状況	22
9.2 下部，深部鉱体の開発経緯と湧水状況	26
9.3 下部，深部鉱体の湧水箇所	32
10. 湧水と地質構造の関係	42
10.1 湧水と裂隙の関係	42
10.2 裂隙系の解析	43
11. 湧水の性質	46
11.1 水質	46
11.2 水温	50
参考文献	53

## 付 表

第 1 表	鉍床別稼行歴と鉍水量の概要	6
第 2 表	採掘粗鉍量，採鉍作業量，従業員数	7
第 3 表	鉍体別湧水状況	2 2
第 4 表	裂罅系の解釈	4 3
第 5 表	河水，自由面地下水，および下部坑内湧水の含有成分比較表	4 6
第 6 表	河水，および L30 河原屋向坑道湧水の含有成分比較表	4 7
第 7 表	下部鉍体湧水の化学分析結果	4 9
第 8 表	深部鉍体湧水の化学分析結果	4 9
第 9 表	地表下深度と試錐孔中水温の関係	5 0
第 10 表	下部坑内湧水の水温	5 0
第 11 表	深部坑内湧水の水温	5 1

## 付 図

第 1 図	位置および交通図	4
第 2 図	鉍業所概況図	4
第 3 図	鉍山付近地質図	9
第 4 図	鉍床分布図	1 0
第 5 図	柵原本鉍床 N～S 断面図	1 0
第 6 図	坑内概念図	1 1
第 7 図	下部鉍体採掘区画図	1 2
第 8 図	採掘法説明図	1 3
第 9 図	選鉍場系統図	1 4
第 10 図	排水系統図	1 5
第 11 図	年間降雨量の推移	1 6
第 12 図	月別降雨量と 1 日あたりの最大降雨量	1 7
第 13 図	年間の気温変化	1 7
第 14 図	鉍山付近集水範囲	1 8

第 15 図	吉井川流量の年間変化	19
第 16 図	降雨量と全 A 水の水量	23
第 17 図	第 1 鉱体の湧水量と降雨量	24
第 18 図	吉井川水位と湧水量 (第 1 鉱体西部, 下部鉱体 C 水)	25
第 19 図	坑外試錐孔と断層	27
第 20 図	観測孔 3 孔中の平均水位, L30 密閉ダム内水圧と下部坑内湧水量	29
第 21 図	湧水状況図 (L10)	34
第 22 図	” (L21)	35
第 23 図	” (L27)	36
第 24 図	” (L27 吉井地区)	37
第 25 図	” (L30)	38
第 26 図	” (L48)	39
第 27 図	” (L56)	40
第 28 図	” (深部探鉱斜坑)	41
第 29 図	裂隙系概念図	43
第 30 図	柵原付近の断層系概念図	45
第 31 図	L30 河原屋向坑道湧水の水温, PH, 比抵抗値の変化	48

## 1. 実施場所

岡山県久米郡柵原町久木171番地  
同和鉱業株式会社 柵原鉱業所  
東京都千代田区丸の内1丁目8番2号  
同和鉱業株式会社 本社

## 2. 調査の概要

地下深所における地下水の挙動に関する研究の一環として、当鉱山において湧水状況を調査の上、地質構造との関係の概要を解析した。

調査は既調査資料の収集・整理を主体としたが、坑内湧水状況の現地概要調査も併せて実施した。

## 3. 受託者側実施責任者

同和鉱業株式会社 本社  
鉱山部長 熊谷英男

## 4. 実施担当者

同和鉱業株式会社  
水間洋治  
蛇目秀雄

## 5. 実施期間

自、昭和53年8月1日  
至、昭和54年2月28日

## 6. 調査結果の要約

本報告では柵原鉱山で過去に実施された坑内湧水に関する調査結果、および今回あらたに実施した現地調査の結果から特に下部、深部鉱体（およそ海拔-100 m から -800 m の範囲）に分布する坑内湧水状況の概要を述べる。

- (1) 下部、深部鉱体の坑内湧水は降雨量や川水位の増減に影響されることなく湧出する裂隙水と考えられる。
- (2) 水みちとしては断層、およびこれにともなう破碎帯や岩脈などに起因する裂隙が考えられる。しかし、裂隙の存在する岩体の種類によって水の湧出形態にはかなりの差異が認められる。たとえば、鉱床上盤の粘板岩と下盤を形成する輝緑岩中の湧水についてみると、これらはともに断層に関係したものであっても、粘板岩中ではクラックが発達しており、水が広い範囲に分散して湧出する傾向があるのに対し、輝緑岩中では断層を中心にしたごく狭い範囲から湧出する傾向を持つ。
- (3) 当鉱山における最大の湧水地帯は下部鉱体の南方を西北西-東南東に走る断層破碎帯である。過去に多量の出水を記録したB断層、A断層などと呼ばれる断層群からなるこのゾーンは張力による裂隙と剪断力による裂隙の性格をかさね持った断層破碎帯と推察される。
- (4) 当鉱山では昭和35年発生 of 異常出水事故を契機に種々湧水調査を実施したが、特に17年間継続測定された「出水箇所の密閉ダム内水圧と坑外試錐孔中の水位」との関係が注目される。この測定結果から
  - a) ダム内水圧からの推定水位と試錐孔中の実測水位の値はほぼ一致し、また両者は概ね同様の挙動を示すことが認められる。
  - b) 坑内湧水量の変化と地下水位の変動の相互関係が読みとれる。下部鉱体の場合、昭和35年以降、水圧、水位が低下しつづけたが、昭和49年以降、下部坑内湧水量が減少するにつれて、その低下傾向は止まり最近はほぼ安定していることがわかった。
- (5) 湧水の水質、水温などに関する調査から、鉱体周辺には多量の地下水を貯留できる裂隙が存在しうることが想定された。また、坑内湧水は断層などの裂隙を通して上方から来る地下水ばかりでなく、湧水箇所より下位に貯留されていたものも湧出する可能性のあることが示唆された。

今回の調査は既調査資料の収集を主体としたために、土壌、岩石の透水性、空隙率など



の基礎データを得るには至らなかった。

しかしながら、当鉾山には現在でも海拔-100 mから-400 mの範囲に50 kmを越す入坑可能な坑道が分布していることと、坑内の展開が一段落したために地下水流を乱す人為的要因が減少したことなどから、これらの地下空洞は地下水の挙動を研究する上での格好な調査地と思われる。

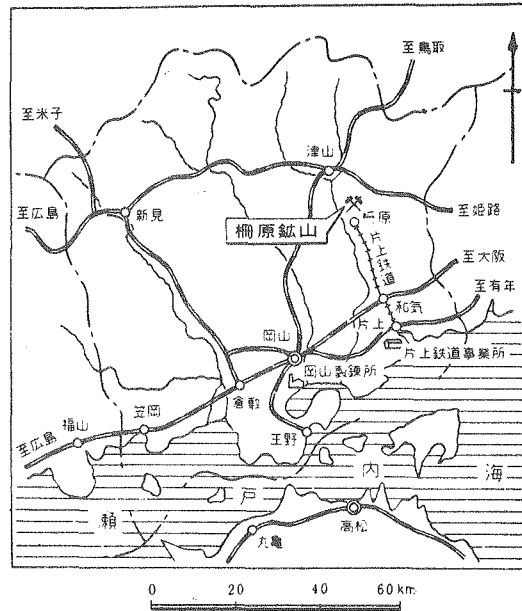
## 7. 鉱山の概要

### 7.1 位置・交通

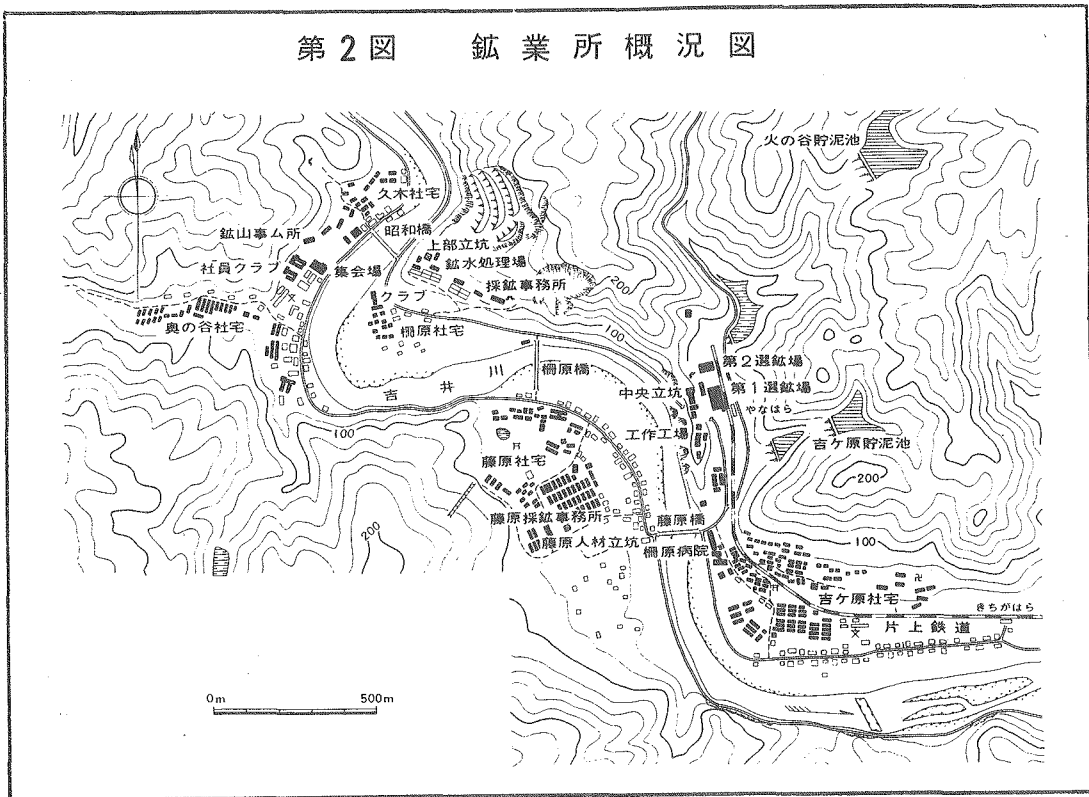
当鉱山は岡山県東部を南北に流れる吉井川の中流にあり、もよりの柵原駅は山陽本線と和気駅から分岐する当社片上鉄道の終点で和気駅から吉井川沿いにさかのぼること25km、約1時間で到着する。

鉱業所事務所は柵原駅の西北方、約1kmの柵原町久木にあり、ここから約15km吉井川をさかのぼると津山市に至る。この間は毎日、定期バスが10数回往復し、姫新線の津山駅に連絡している。(第1, 2図参照)

第1図 位置および交通図



第2図 鉱業所概況図



## 7.2 地形・気候

当地方の地形はいわゆる中国の隆起準平原の東端にあたり、山頂部は海拔200 m以上の平坦な地形からなる。

柵原付近の吉井川の水面は海拔約52 mで川沿いの狭い沖積地を経て両側は35°～45°のやや急な斜面からなる。

気候は温暖で冬期は降雨量が少なく、吉井川の流量は30～40 m<sup>3</sup>/秒程度と少ないが多雨期の流量は約60 m<sup>3</sup>/秒に達する。

## 7.3 沿革

### 慶長年間

森忠政が津山築城のため石材収集中、現在の柵原鉱床第1鉱体の頂部である褐鉄鉱の露頭を発見したのが初めと伝えられている。

### 明治年間

露頭発見後300年を経過、明治年間に至り柵原鉱床(第1鉱体)を初めとして下柵原鉱床、久木鉱床、下谷鉱床、休石鉱床の各鉱床を発見した。明治33年には地元関係者によって柵原鉱床、第1鉱体の露天堀が開始された。

### 大正年間

大正5年合名会社藤田組が付近一帯の鉱区を買収統一し、柵原鉱山と命名した。大正9年から本格的な生産が開始され同12年には柵原-矢田間の架空索道、および矢田-片上間の鉄道が完成し大正15年には第2鉱体が発見された。

### 昭和年間

昭和4年には第3鉱体が発見され、また吉ヶ原選鉱場および片上鉄道全線の完成をみた。昭和20年、社名を現在の同和鉱業株式会社と改めた。戦後、食糧増産が急務とされ、肥料の原料たる硫化鉱は年ごとに増産され昭和31年には月産6万t起業が完成した。その間昭和29年には下部鉱体が発見された。昭和36年に柵原中央立坑、および藤原人材立坑が完成し、翌年には月7万t処理設備および銅浮選が始動した。その後、昭和44年には重液選鉱設備、河原屋探鉱立坑が完成し、深部鉱体の開発に入り、昭和47年には深部探鉱斜坑が完成したが、同年より人員、出鉱量を漸次減少させ昭和52年には粗鉱11,400 t/月に減産するに至った。

(第1.2表参照)

第1表 鉱床別稼行歴と鉱水量の概要

	下谷鉱床	休石鉱床	久木鉱床	下柵原鉱床	第一鉱体	第二鉱体	第三鉱体	下部鉱体	深部鉱体	記事	鉱水量 (m <sup>3</sup> /日)						
											0	2000	4000	6000	8000		
明治																	
	年45																
大正																	
	年15									藤田組に吸収される。							
	年15									第2鉱体発見							
昭和										第3鉱体発見							
	年10									第1鉱体落盤・火災							
	年10									第2鉱体落盤 第2鉱体落盤							
	年20									第1鉱体 L4 火災 同和鉱業(株)に改称							
	年30									周辺各鉱床取明 第2, 3鉱体崩落 下部鉱体探鉱開始							
和										第3鉱体崩落 第2 " 火災, 密閉 休石鉱床採掘中止 下部鉱体1次採掘開始 第3 " 出鉱中止 吉井地区探鉱開始							
	年40									下部鉱体2次採掘開始 河原屋探鉱立坑掘さく開始 深部探鉱斜坑掘さく開始 下谷, 久木鉱床, 第1鉱体出鉱中止							
	年50									下柵原鉱床, 深部鉱体出鉱中止							

第2表 採掘粗鉍量，探鉍作業量，従業員数

年 度	採 掘 粗 鉍 量 (t)			探鉍作業量(m)		従業員数 ( 歴年末 )
	硫化鉄鉍 S品位43~46%	含銅硫化鉄鉍 Cu品位1.0~1.8%	合 計	試錐探鉍	坑道探鉍	
昭和40年まで	18,281,073	6,4915	18,345,988	—	—	—
昭和41年	8,49,961	3,7,262	8,87,223	3,6,628	4,387	1,578
42	7,65,984	4,4,629	8,10,613	3,5,071	5,083	1,502
43	7,41,805	4,6,708	7,88,513	3,3,002	5,175	1,432
44	7,81,891	4,9,164	8,31,055	2,3,656	5,668	1,490
45	7,87,380	4,7,360	8,34,740	2,8,787	5,658	1,316
46	6,45,056	4,4,568	6,89,624	2,4,748	4,001	1,251
47	3,74,305	2,4,185	3,98,490	1,0,577	664	509
48	3,85,020	1,819	3,86,911	5,856	489	376
49	4,35,470	—	4,35,470	8,797	762	361
50	3,19,148	—	3,19,148	5,980	450	332
51	1,96,422	—	1,96,422	1,265	—	321
52	1,36,748	—	1,36,748	3,780	—	107
合 計	24,700,263	3,60,682	25,060,945			

#### 7.4 地質・鉍床

柵原周辺の主要な地質は二疊紀巨勢（こせ）層群の上部に相当する吉ヶ原亜層群，これらの地層の構造にほぼ調和的に進入した柵原進入岩類，中生代の流紋岩，閃緑岩，花崗岩およびこれらを通る岩脈類などから構成される。

吉ヶ原亜層群は粘板岩を主体とし，砂岩，礫岩および酸性火山砕屑岩を挾在している。

柵原進入岩類は主として変輝緑岩と変石英閃緑岩とからなり，柵原鉍床付近ではその一部は柵原鉍床の下盤となっている。

吉ヶ原亜層群にはNNW-SSE系とE-W系の軸をもつ褶曲構造の発達が見られる。鉍床は柵原進入岩類の上盤面近くに胚胎する層状ないしレンズ状の鉍床であるが，これらは柵原進入岩類の凹凸に規制され，その凹部で優勢になる傾向が見られる。

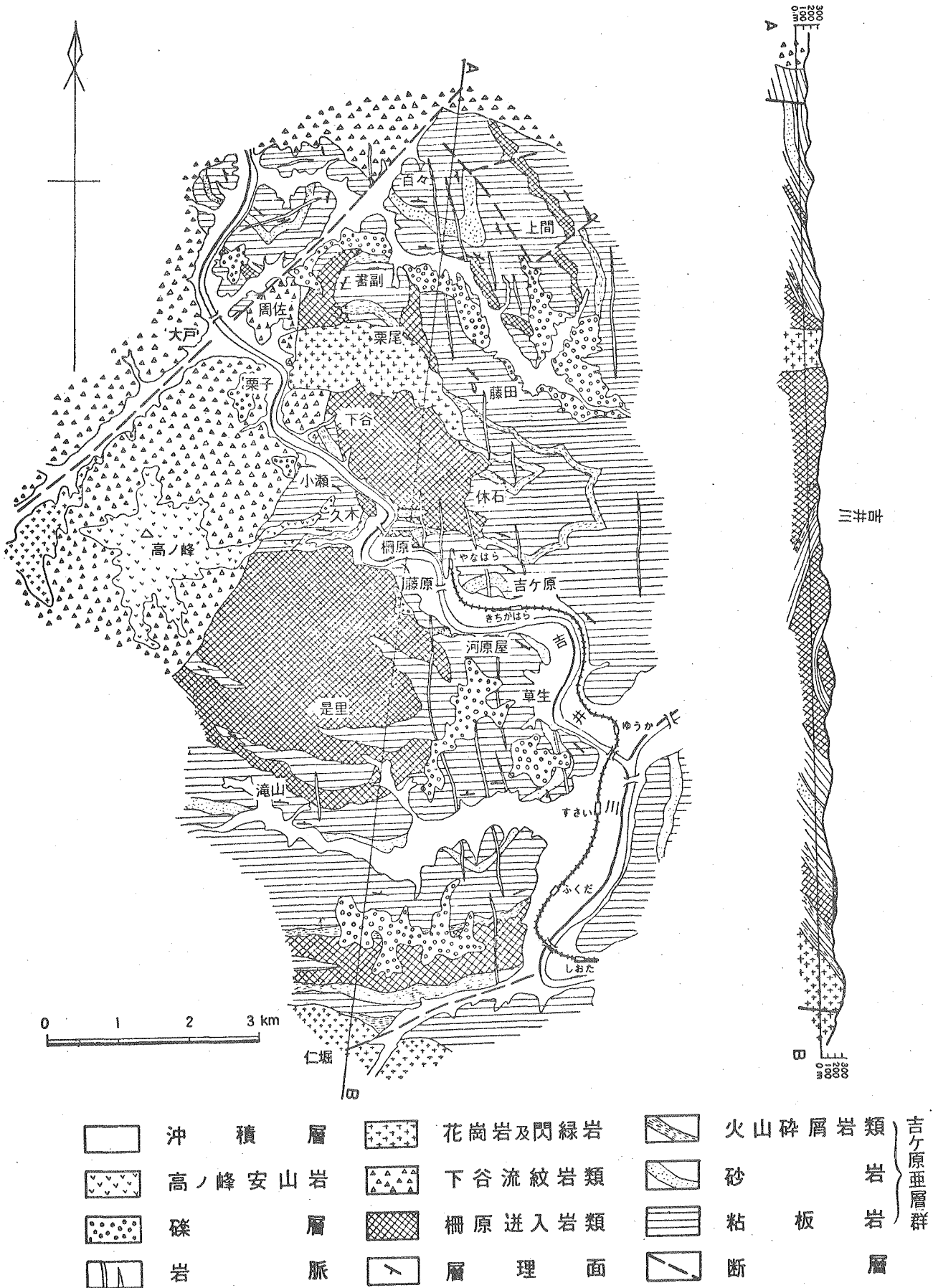
現在まで知られている鉱床は柵原本鉱床（第1.2.3鉱体，下部鉱体，深部鉱体）を中心にその西側に北から下谷，火田城，久木，下柵原の各鉱床，東側に休石および火の谷の各鉱床がある。

これらの鉱床は主として高品位の黄鉄鉱よりなり，わずかに磁硫鉄鉱，磁鉄鉱を伴う。西側の火田城，久木，下柵原の各鉱床は柵原本鉱床に比べて銅品位の高い含銅硫化鉄鉱である。

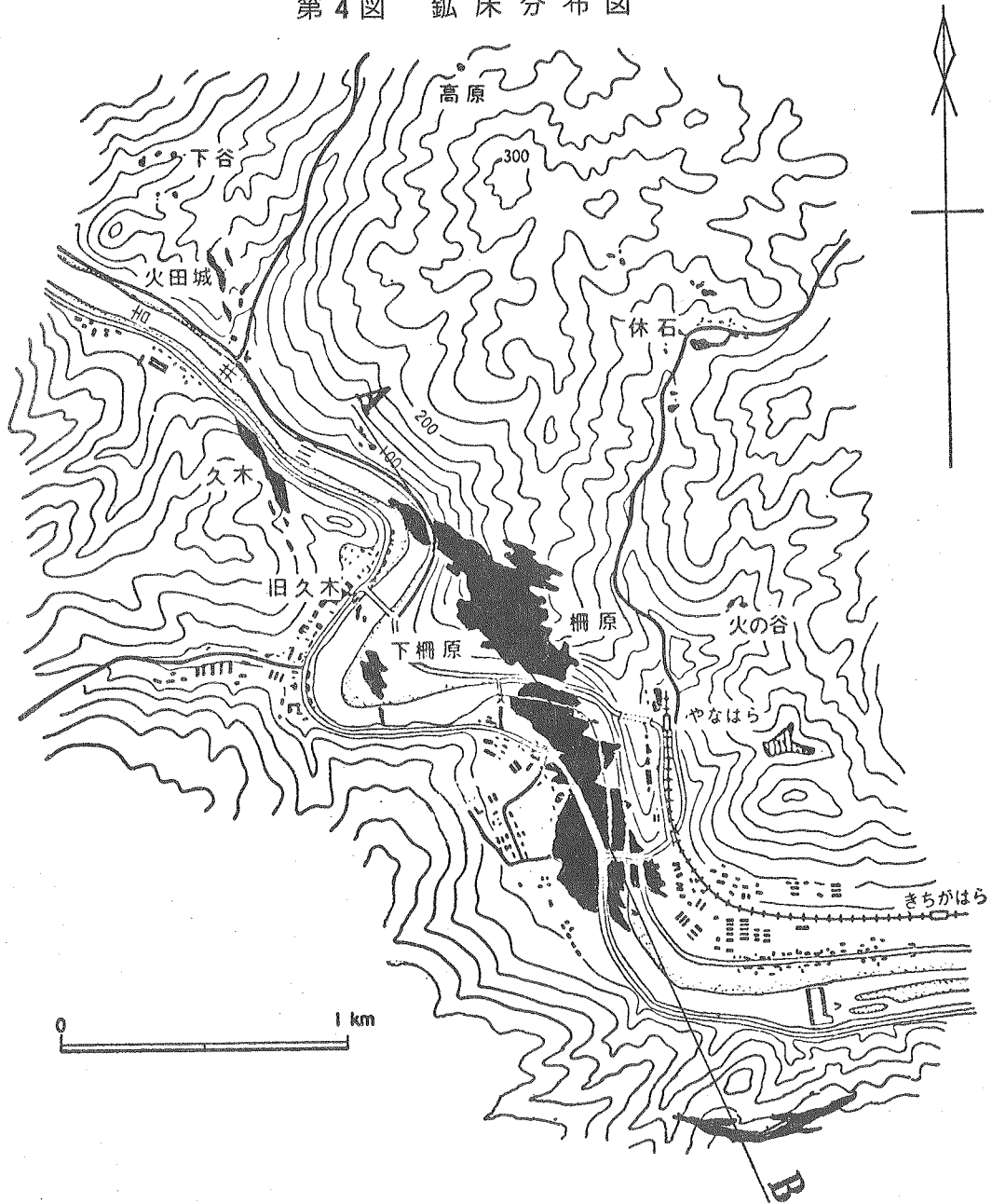
母岩は吉ヶ原垂層群の火山砕屑岩，粘板岩で鉱床との境界はきわめて明瞭である。脈石は僅かに石英，緑泥石を含有するにすぎず，まれに重晶石を伴うことがある。

（第3.4.5図参照）

第3図 鉢山付近地質図



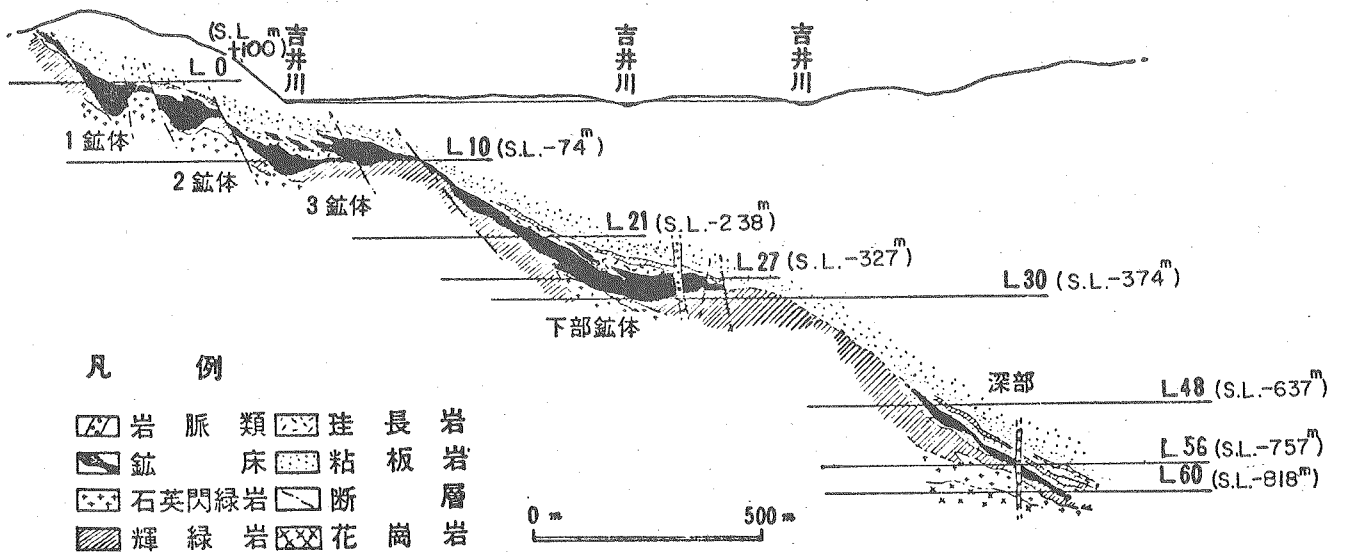
第4図 鉱床分布図



A

第5図 柵原本鉱床N~S断面図

B





## 7.5 採鉱・選鉱

海拔100mの運搬坑道をL0とし、これを基準として上方はL6まで、下方はL60（レベル間隔は約15m）まで開坑されている。

平面的には南北方向に「号」線、東西方向に「条」線（いずれも間隔は20m）を設けている。

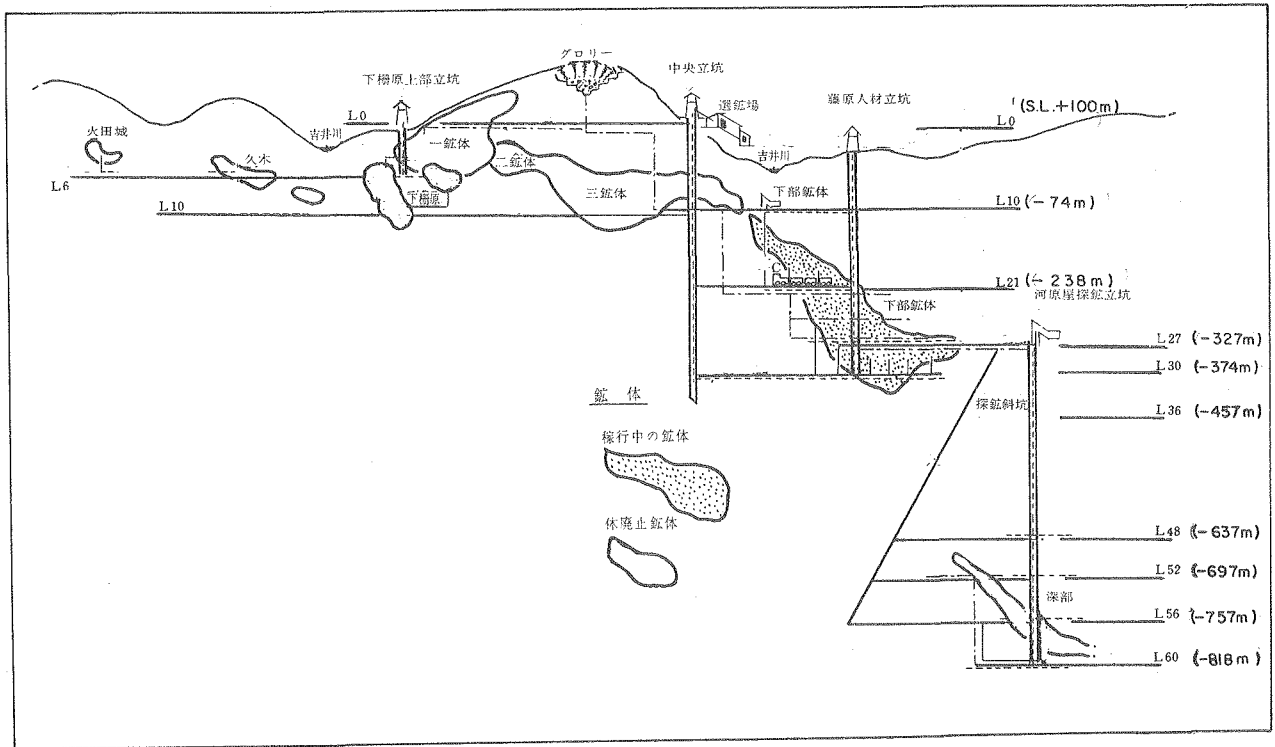
現在、出鉱は下部鉱体からのみ行なっている。下部鉱体のほぼ中心にある21条は永久鉱柱として採掘対象外とし、これより北側を北部採掘、南側を南部採掘と称している。

採掘法としてはサブレベル・ストーピング法を用いている。

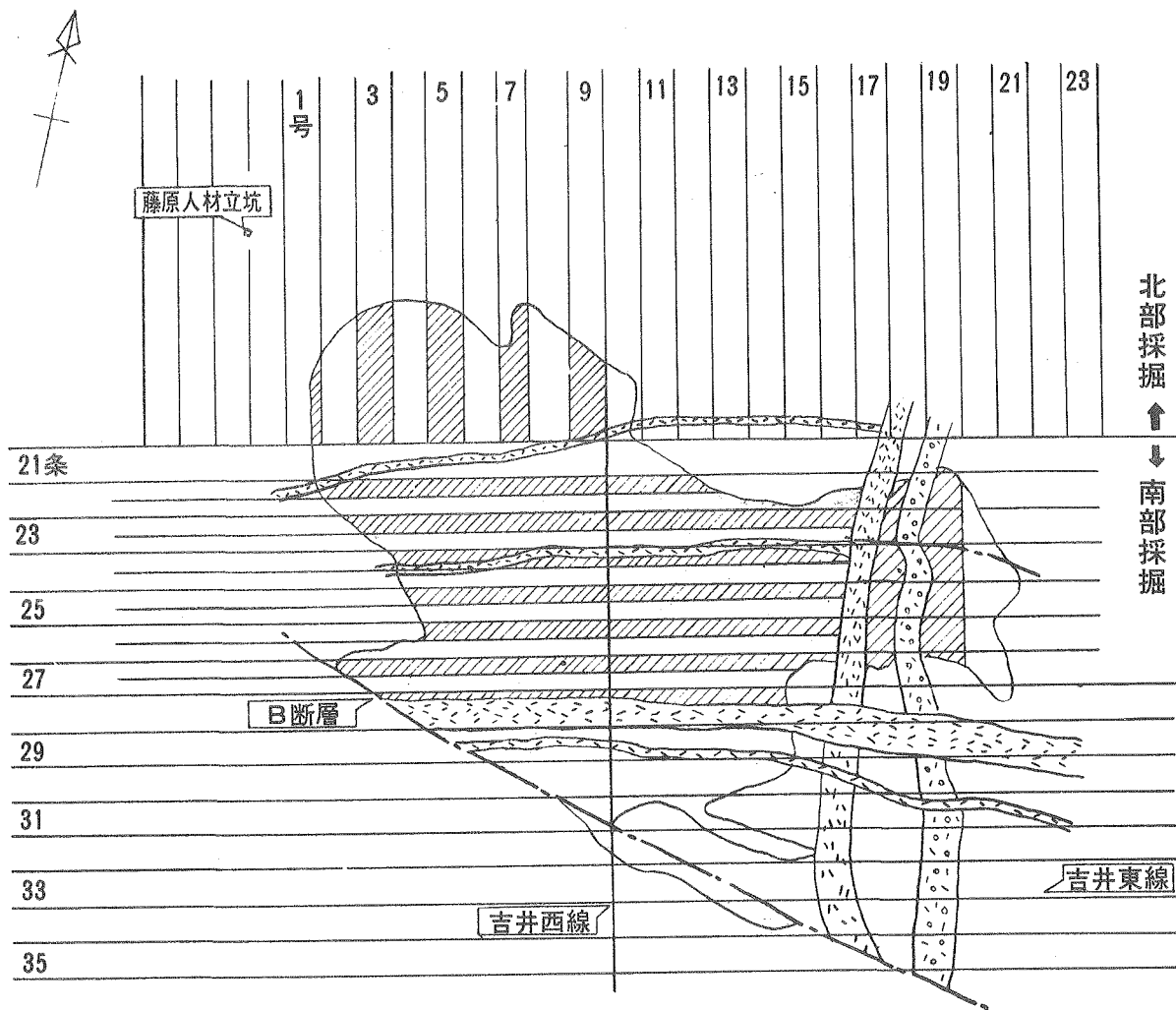
下部鉱体で産出した硫化鉄鉱は坑井を通じて最下底のL30に運ばれ、中央立坑を経て坑外選鉱場に送られる。

採掘空洞の充填には主として地表切取ズリと坑内産出ズリが用いられる。（第6.7.8図参照）

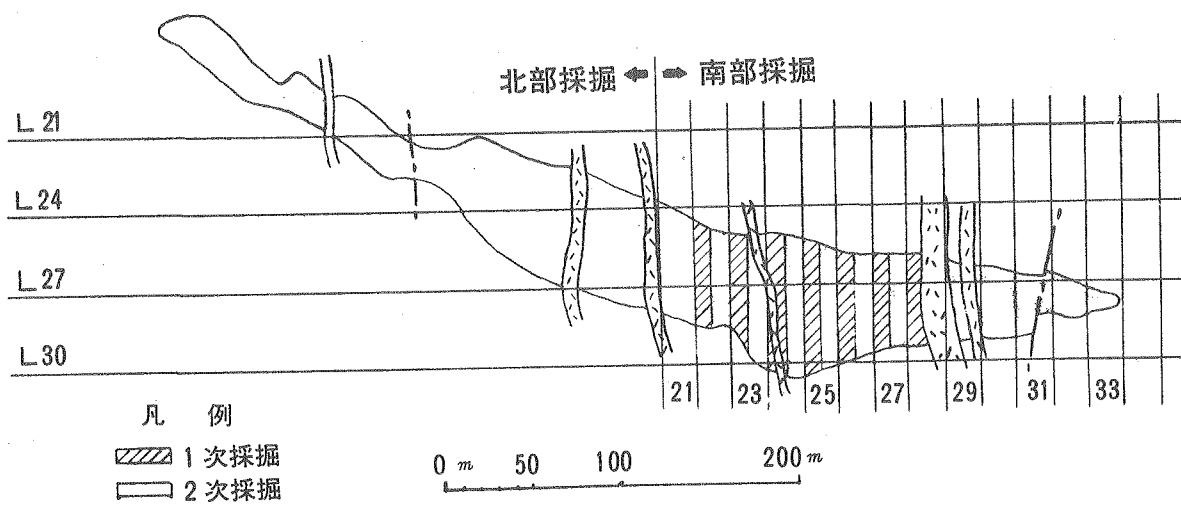
第6図 坑内概念図



第7图 下部鉍体採掘区画図  
L 27 平面図

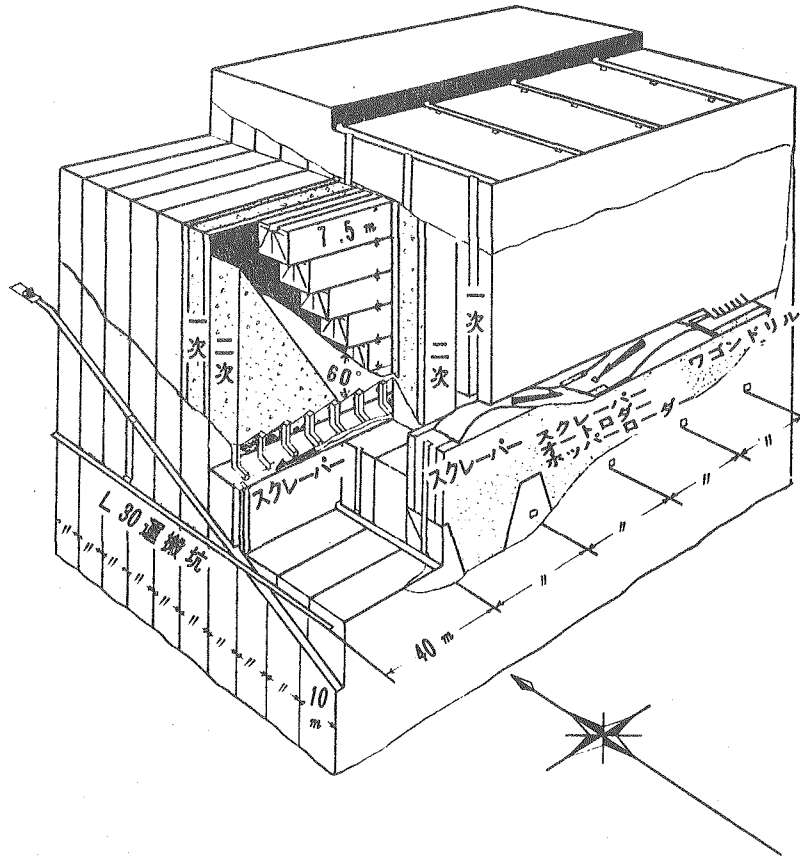


鉍体南北断面図



# 第8図 採掘法説明図

(サブレベル・ストーピング法)

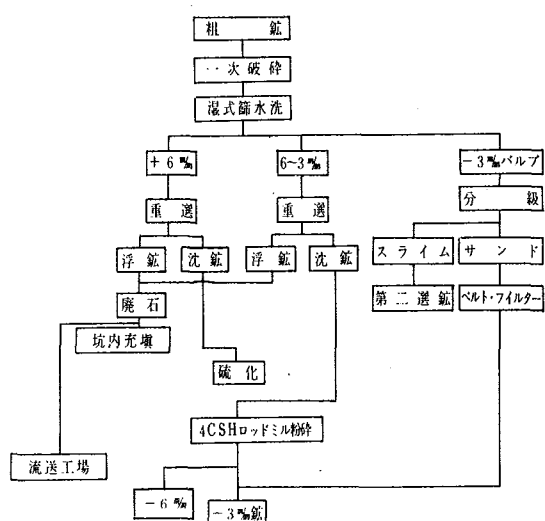


第1選鉱場に送られてくる硫化粗鉱は重液選鉱法によって品位の上昇をはかり、乾式粉碎篩分により一定粒度の産物としている。

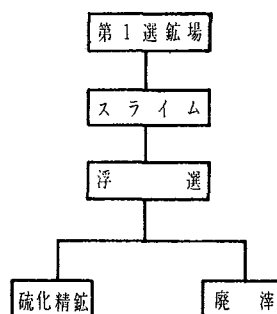
第2選鉱場では第1選鉱場の分級段階で発生するスライムを浮遊選鉱法によって硫化鉄精鉱・廃さいに選別している。(第9図参照)

## 第9図 選鉱場系統図

### 第1選鉱場



### 第2選鉱場



## 7.6 排水対策

坑内水の湧出は約  $7,000 \text{ m}^3/\text{日}$  であるが、全湧水の約8割以上は柵原本鉱床(第1.2.3鉱体, 下部鉱体, 深部鉱体)からの湧水で占められ、残りが周辺鉱床からの湧水である。

坑内水はその水質によって、A水, B水, C水に種別され、3系統で坑外に揚水されている。

A水…  $1,200 \sim 2,200 \text{ m}^3/\text{日}$

酸化・中和処理を必要とする坑内水。

主として第1.2.3鉱体, 久木, 下谷, 休石鉱床から湧出したもので、鉱体は火災などに遭遇して鉱石の酸化がはげしく、湧水中の含有酸量は高い。また、雨水, 河川水など地表水との関連が大きく、水量ならびに酸量の変動が大きい。

B水…  $1,300 \sim 2,000 \text{ m}^3/\text{日}$

強制沈降装置による処理を必要とする坑内水。

主に下部鉱体, および下柵原鉱床から湧出したもので、A水にくらべて含有酸量の少ないものを集約したものである。

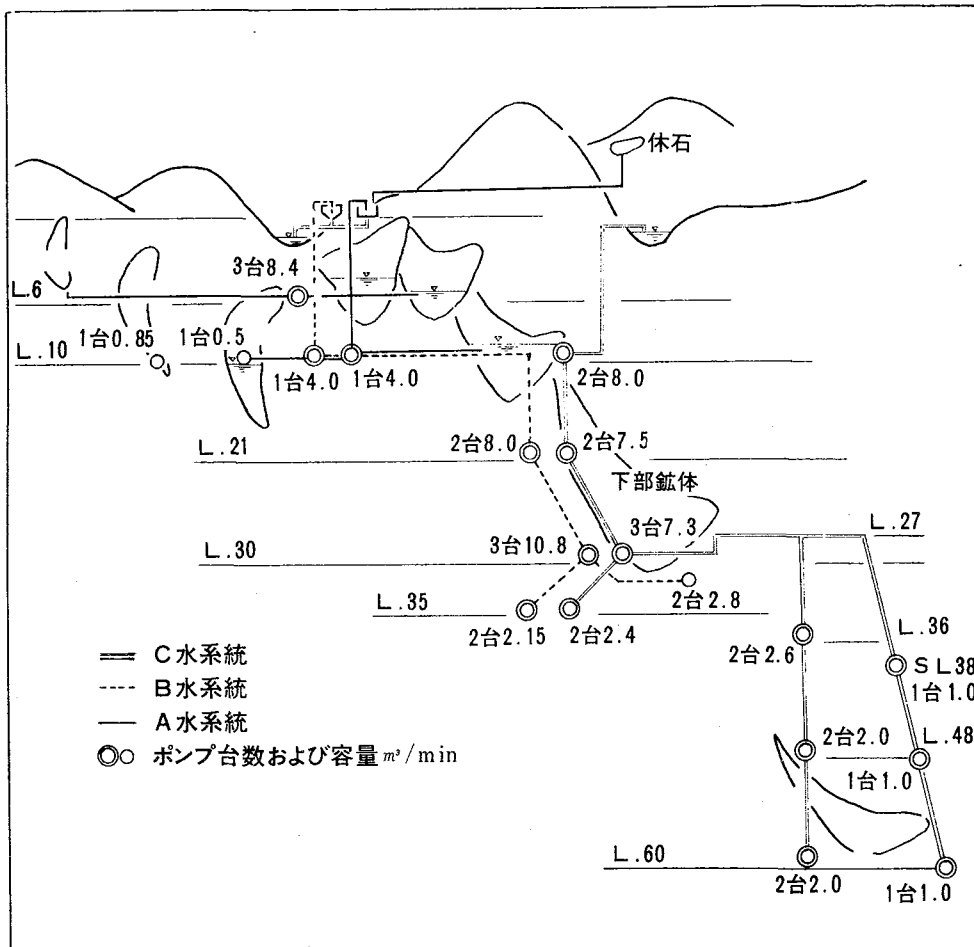
C水… 3,000~4,000 $m^3$ /日

特別な処理を必要としない坑内水。

主として下部鉱体および深部鉱体から湧出したもので、水量は現在ほぼ安定している。このほとんどは断層からのもので坑外に排出後、河川に放流されている。

これらの坑内水はそれぞれL 6, L 10, L 21, L 30の各レベルにある主要タンクに集め各ポンプ室を経て3系統で段階的に揚水し、排水を行なっている。(第10図参照)

第10図 排水系統図



## 8. 湧水環境

### 8.1 気 候

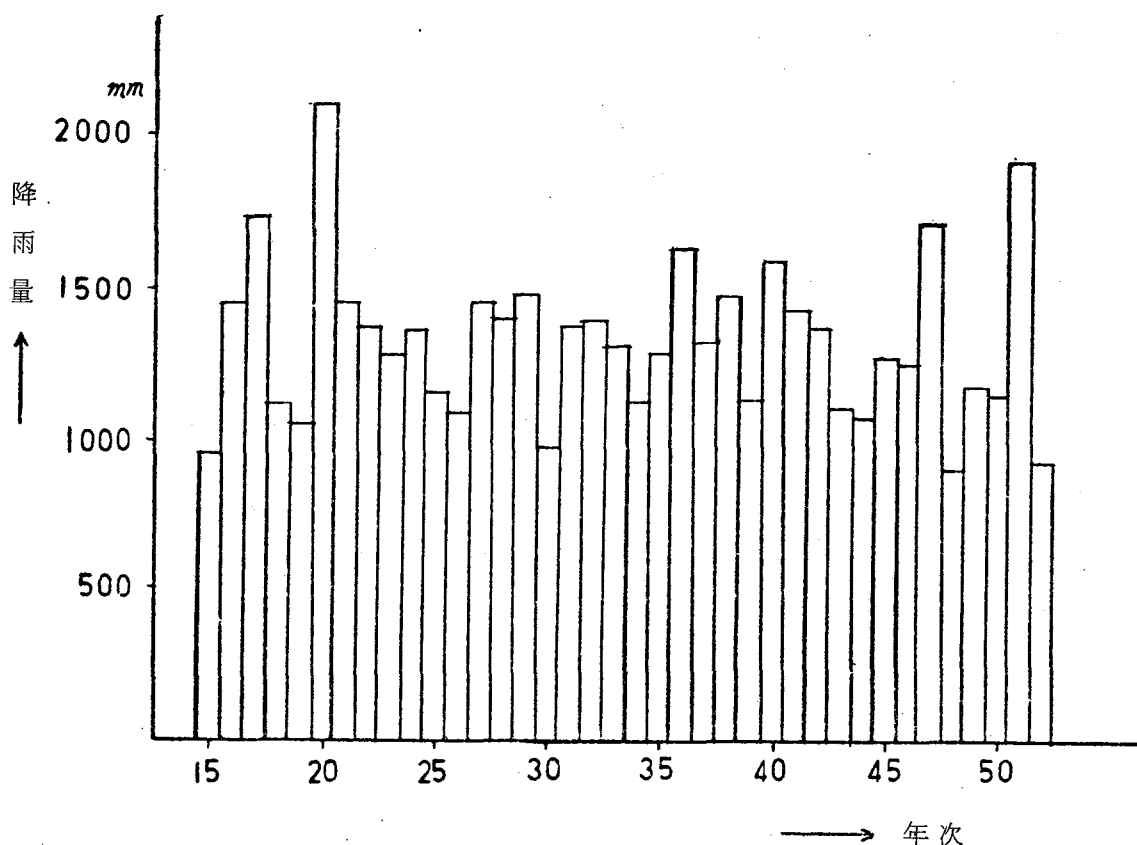
柵原周辺の年間降雨量<sup>\*</sup>の推移を第11図に示す。これを平均すれば約1,300mm/年となり、坑内水の供給源として直接あるいは間接に参与している。

年間の月別降雨量を見ると第12図に示すように4月～9月が多雨期に当り、10月～3月の降雨量は少ない。また1日あたりの最大降雨量としては昭和20年9月に約300mmを記録している。

年間の気温<sup>\*</sup>の状況を見ると第13図に示すように、5月～10月が高温期で平均26℃、後半年は11℃位でその較差は15℃程度である。

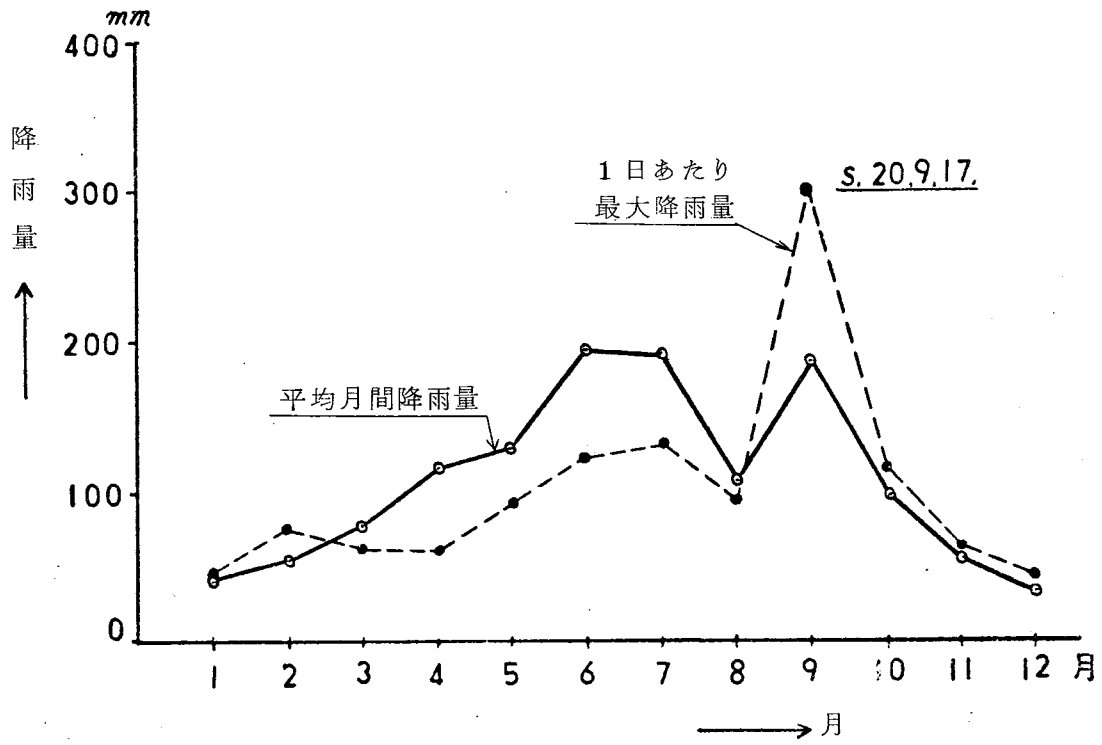
坑内気温は夏でも25℃程度で、その温度較差は夏と冬で約1℃～2℃である。

第11図 年間降雨量の推移（昭和15年～52年）

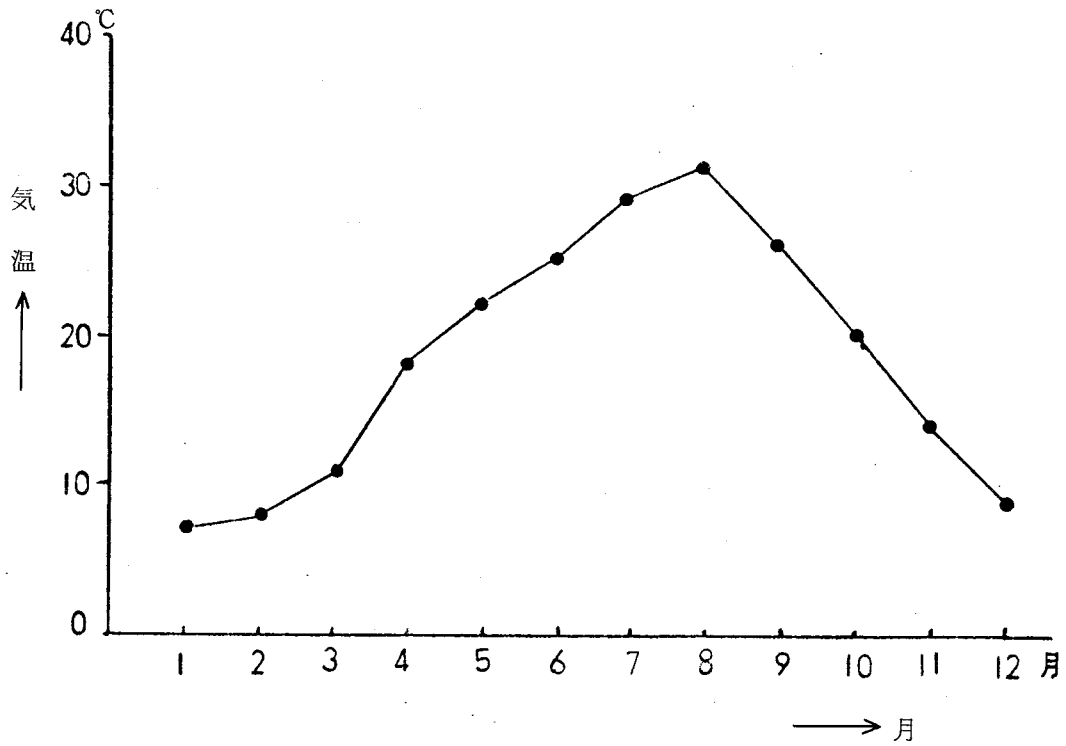


\* 降雨量、気温の測定は鉱水处理場（第2図参照）で行なわれている。

第12図 月別降雨量と1日あたりの最大降雨量（昭和15年～52年）



第13図 年間の気温変化（昭和46～52年）

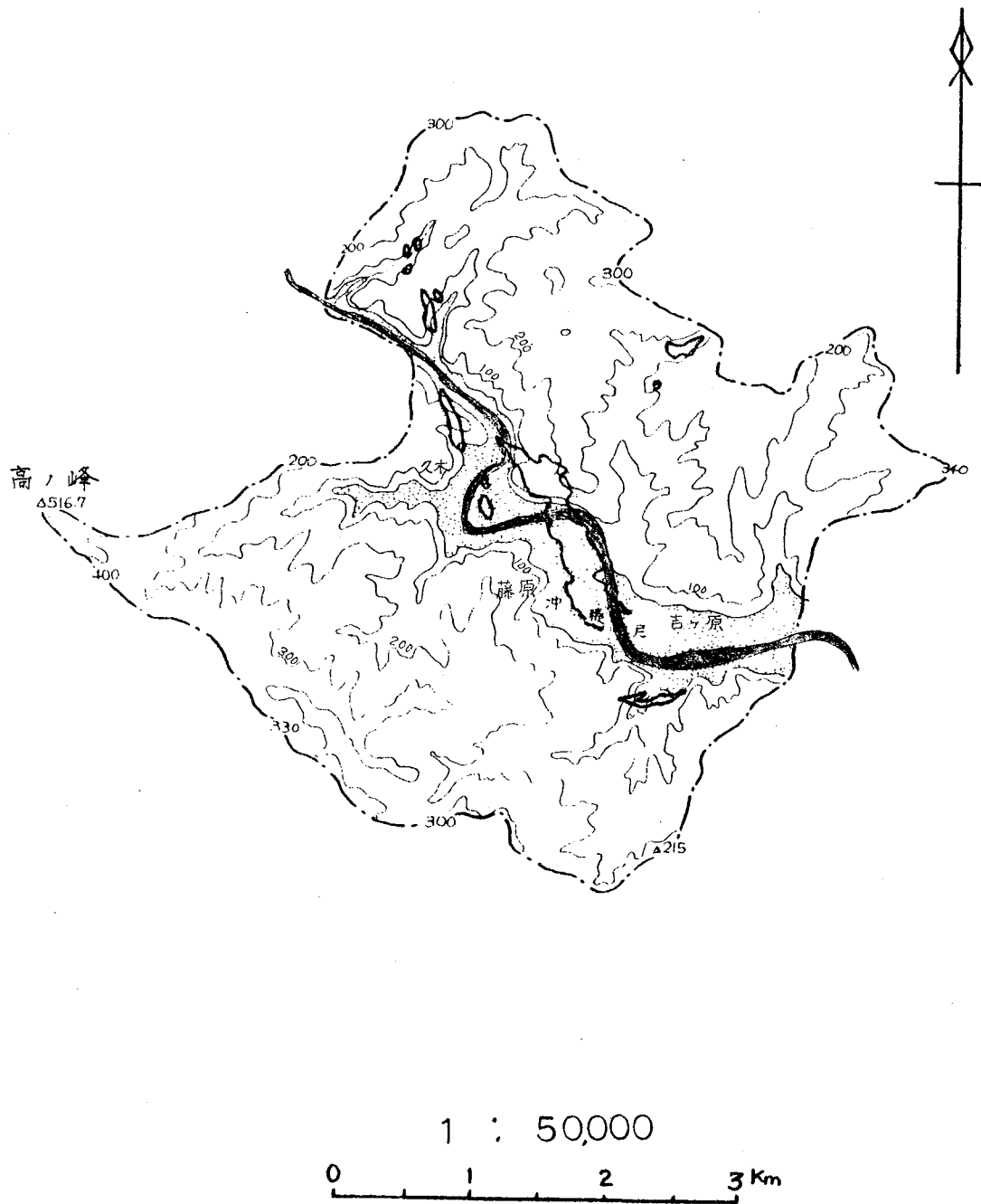


## 8.2 地 形

柵原鉱床に影響を与える概念的な降雨集水域は周辺の地形から約 $18\text{ km}^2$ と考えられ、その外周の分水嶺は標高 $516\text{ m}$ の「高の峰」につらなる海拔 $200\sim 300\text{ m}$ 程度の比較的なだらかな稜線の連続からなり、地形はいわゆる準平原地形を呈する。

(第14図参照)

第14図 鉱山付近集水範囲





表土は山地部においては一部の砂礫層を除けば、主として付近の地質を構成する古期岩類の風化土層および崖錐よりなる。その層厚は厚いところで10数mに達するが、大部分は薄層である。

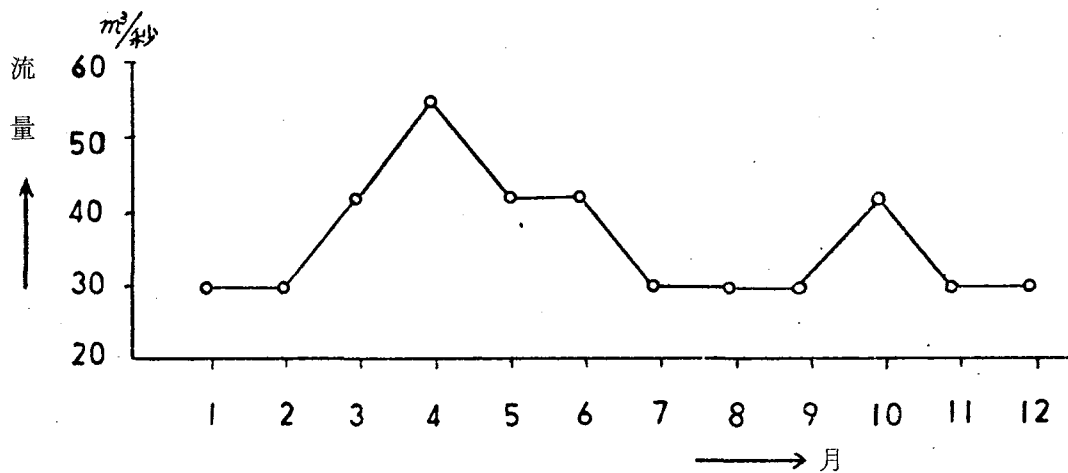
吉井川および谷川沿いにおいては沖積層の面積は約2km<sup>2</sup>で、山地部の面積に比べかなり狭く、その厚さは平均5m程度である。

吉井川はこの集水域の中央部をNW-SE方向に約8km蛇行し、川沿いの沖積層の発達域を流下する。

吉井川の平時の水面標高\*は海拔約52mで、流量は30~40m<sup>3</sup>/秒程度であるが、多雨期の流量は50~60m<sup>3</sup>/秒に達する。(第15図参照)

第15図 吉井川流量の年間変化

(昭和15年~41年)



\* 川水位の測定は昭和橋下(第2図参照)で行なっている。

24

### 8.3 地 質

柵原鉍床の地質は二疊紀の吉ヶ原亜層群と、その地質構造とほぼ調和的に進入した柵原進入岩類、中生代末の流紋岩類、閃緑岩、花崗岩および岩脈群などにより構成されている。(第3図参照)

吉ヶ原亜層群は粘板岩を主体とし、数枚の砂岩および火山岩を挟在する。粘板岩は黒色緻密細粒であるが、鉍山付近では熱変成作用を受けてホルンフェルスとなり、剝理性に乏しく、著しく堅硬となっている。砂岩は中～細粒で厚さ数m～数10mで、粘板岩と互層をなすことが多い。火山碎屑岩は粘板岩中に薄層をなし、岩種としては流紋岩質火山碎屑岩、同角礫岩などであるが、熱変成作用や熱水変質作用を受け原岩が識別できないことが多い。

柵原進入岩類は変輝緑岩と変石英閃緑岩とからなり、柵原周辺に広く発達している。変輝緑岩は暗緑色細粒で有色鉍物は緑泥石、陽起石に変わっていて、鉍床の下盤側に広く発達する。変石英閃緑岩は概して優白質細粒であるが、不均質な岩相を呈し、柵原進入岩類の主体をなしている。

上記の岩層および鉍床を切り、主として東西系の断層が発達し、南北系の断層は比較的小さい。個々の断層の見かけはいろいろあるが、大きいもので幅2m未満、また断層が交叉する付近では破碎帯を形成することがある。

柵原付近の断層については、「10.湧水と地質構造の関係」の項で詳しく述べる。

鉍床は柵原本鉍床(第1.2.3.下部および深部の各鉍体)を中心にその西側および東側に衛星鉍床群が分布する。母岩は上盤側に古生層の粘板岩が、下盤側に柵原進入岩類の輝緑岩、石英閃緑岩が見られる。また「中石」として珪長岩を伴うことが多い。

鉍床の95%を占める硫化鉄鉍は細粒の黄鉄鉍結晶の集合体で、その粒度はきわめて細粒緻密のものから直径1mm程度の「ざらめ」状集合体のものまであり、随伴鉍物として少量の黄銅鉍、閃亜鉛鉍が認められる。磁硫鉄鉍、磁鉄鉍はそれぞれ単独で鉍体を形成することはまれで、硫化鉄鉍鉍体の周囲を10～数10cm程度の厚さで殻状に取り囲んで発達しており、特に鉍体の底部や先端部で厚くなることが多い。代表的な柵原鉍床は柵原部落北方の露頭部からN30°Wの方向で緩く南に落しており、高距約560m、延長約2,000m、幅約450mの範囲に分布する大小の鉍塊からなっている。これらの鉍床は見かけ上、北から第1.第2.第3.および下部鉍体に分れるが、地質構造上からは全く一連の鉍床である。(第5図参照)

第1, 第2, 第3 鉱体はすでに終掘しているが, 下部鉱体は現在も稼行中である。

下部鉱体はその上部では厚さ5~10 m程度で南に下るにつれて厚さを増し, 50~70 mとなりその下部ではほとんど水平になって東西400 m, 南北500 m の規模に発達する。

深部鉱体は下部鉱体より更に南へ約600 m のところにある。地質構造的には下部鉱体の延長にあたり, 高距約200 m, 延長約400 m, 幅約200 m の鉱化帯の中に20 m×40 m程度の硫化鉄鉱床が点在する。この付近では地表から700~900 mの深度となる。

## 9. 湧水状況

### 9.1 鉱体別湧水状況

昭和42年の調査結果から坑内水を発生起源、水質によって、分類すれば、およそ第3表のようになる。

表中の(1) 降雨浸透水とは降雨に直接的に関係して増減するもの。

(2) 河川浸透水とは吉井川水位に関連して増減するもの。

(3) 裂罅水とは主に断層に伴う湧水で、降雨や吉井川水位に関係なく湧出するもの。

を意味する。

第3表 鉱体別湧水状況

(昭和42年の調査結果による。したがって深部鉱体は含まれていない。)

鉱体名	湧水量 ( $m^3$ /日)	発生起源による分類 ( $m^3$ /日)			水質による分類 ( $m^3$ /日)		
		(1)降雨浸透水	(2)河川浸透水	(3)裂罅水	A 水*	B 水*	C 水*
第1鉱体	620	370	220	30	620	—	—
第2 "	60	30	—	30	60	—	—
第3 "	500	—	60	440	500	—	—
下部 "	4,700	—	—	4,700	—	1,700	3,000
下柵原鉱床	300	—	—	300	—	300	—
久木 "	150	70	—	80	120	30	—
下谷 "	190	110	—	80	170	—	20
休石 "	400	220	—	180	400	—	—
計	6,920	800	280	5,840	1,870	2,030	3,020

\* A, B, C水については「7.6 排水対策」の項参照

第1, 第2鉱体, および周辺鉱床のように稼行レベルが比較的浅いか, 水平的にも吉井川に近い鉱体ではあきらかに降雨とか川水位に影響されて増減する湧水が相当な割合を占める。

これに対し, 海拔-100m以下の下部および深部鉱体での湧水はほとんど年中変化なく湧出する地下水で占められる。

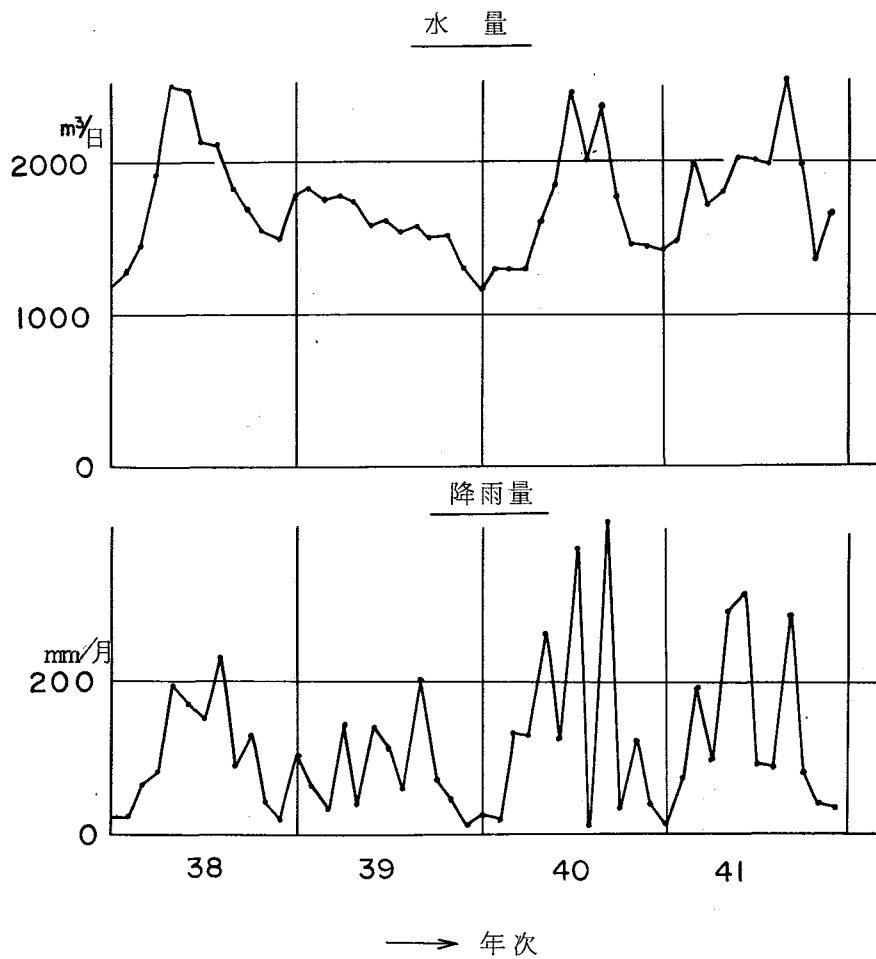
第16図で月別のA水量と降雨量を、また第17図で第1鉱体からの湧水量と降雨量を日単位で対比させると、これらの湧水が降雨に大きく支配されていることが認められる。

次に第18図で吉井川水位と第1鉱体西部の湧水量、および下部鉱体の湧水量(C水)の関係を見ると、第1鉱体の湧水は川水位の変動に大きく影響されるのに対し、下部湧水と川水位の間にはそのような相関性は認められない。

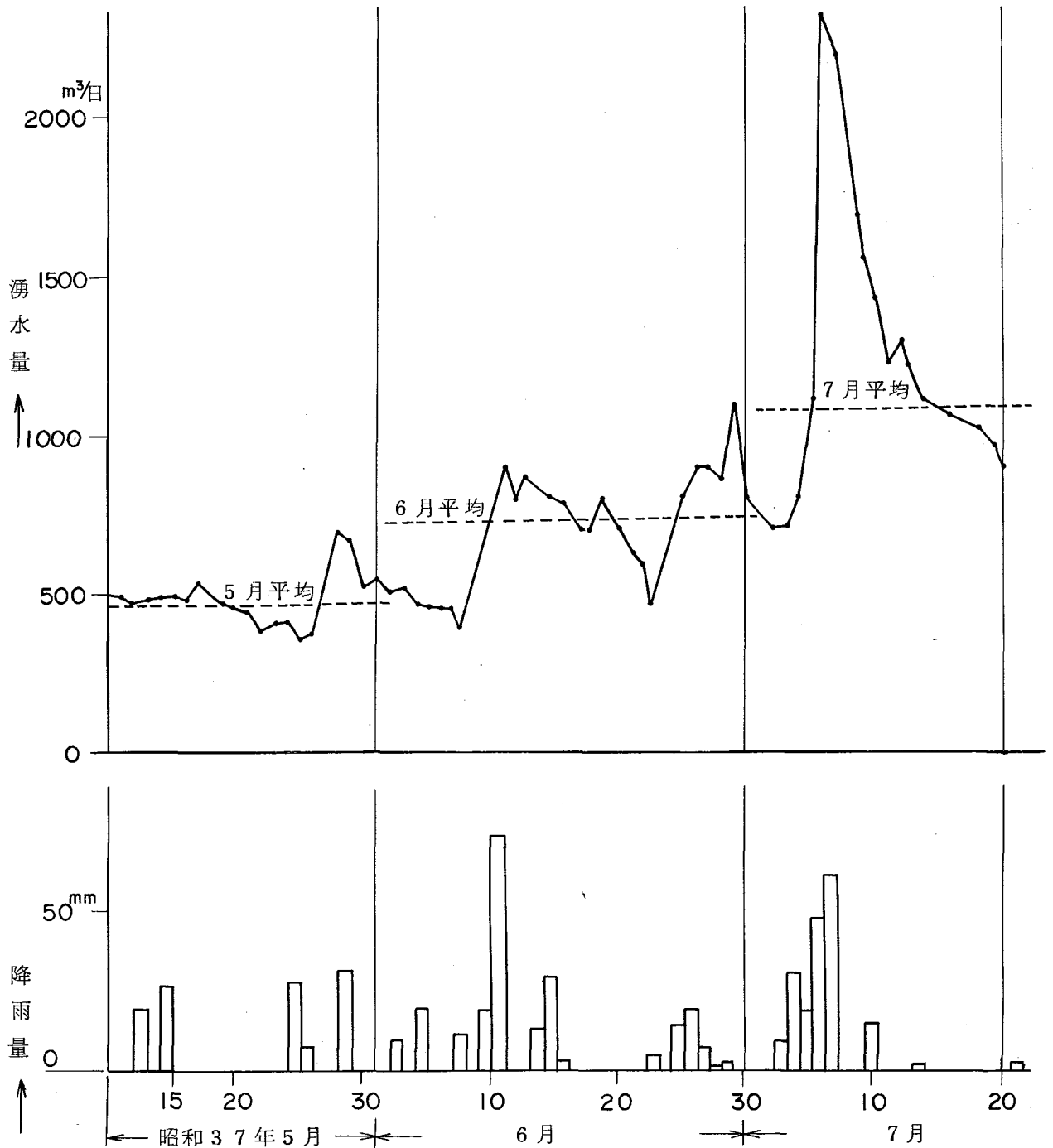
本報告では以下、特にことわらない限り、下部および深部鉱体の裂隙に起因する湧水について述べる。

第16図 降雨量と全A水の水量 (昭和38年~41年)

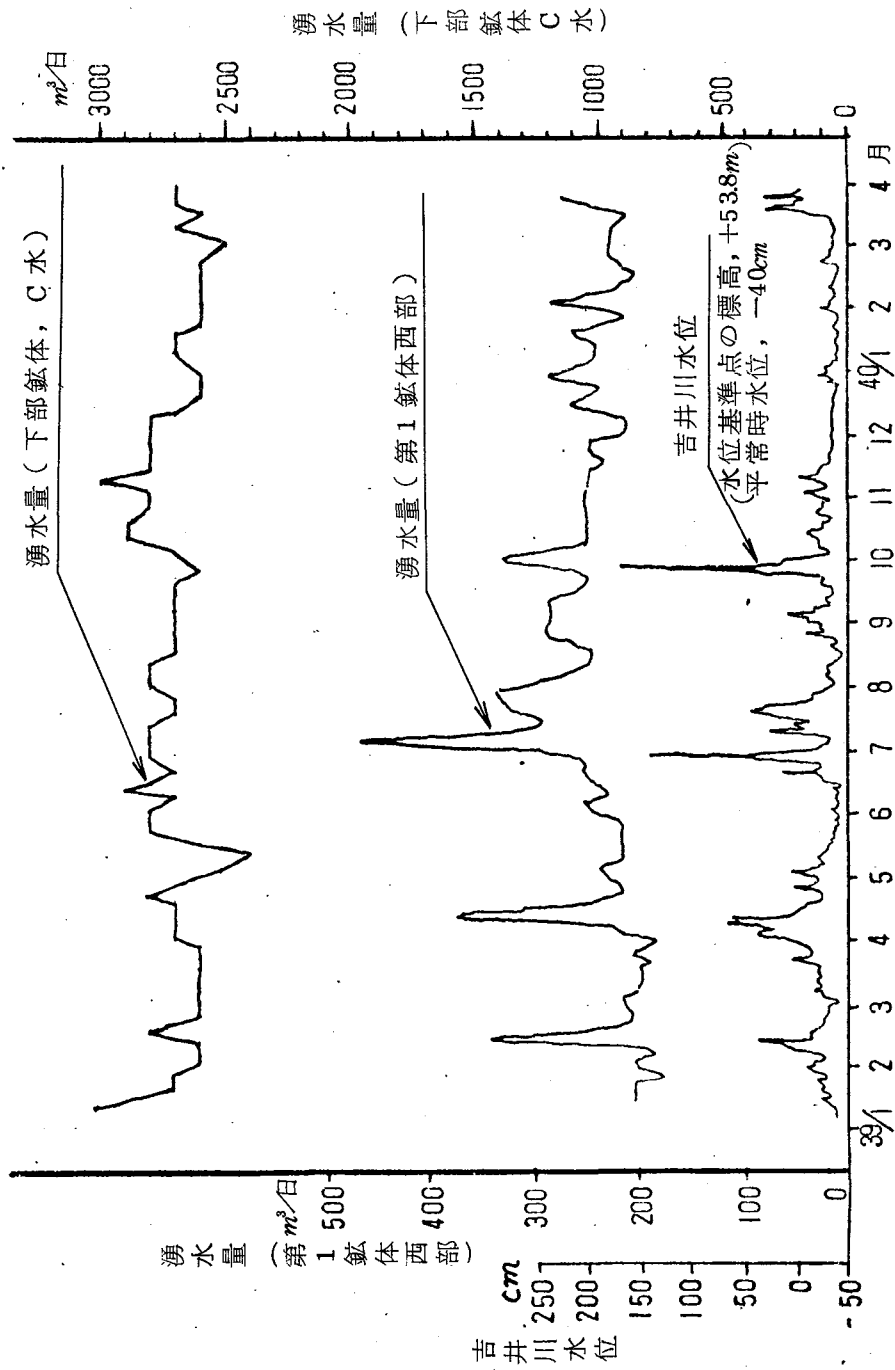
全A水：(第1・2・3鉱体, 久木, 下谷, 休石鉱床)



第 17 図 第 1 鉱体の湧水量と降雨量 (昭和 37 年 5 月 ~ 7 月)



第18図 吉井川水位と湧水量(第1鉱体西部, 下部鉱体C水)  
(昭和39年1月~40年3月)



## 9.2 下部，深部鉱体の開発経緯と湧水状況

下部鉱体および深部鉱体の開発に際して得られた湧水に関するデータを開発段階ごとに要約して報告する。

- (1) 昭和27年から33年にかけて下部鉱体の存在を確認するために実施した坑外試錐孔，35孔のうち11孔に圧力水の湧出をみた。(第19図参照)

昭和29年，L10において，さらには昭和30年以降L21以下のレベルにおいて下部鉱体開発のための坑道展開が行なわれ，各レベルで断層にあたり，湧水量が次第に増加した。昭和34年4月までには，前記試錐孔からの水の湧出は止まった。

昭和35年4月には，下部鉱体関係の坑道延長が約24kmに達し，湧水量は3,000 m<sup>3</sup>/日となった。

- (2) 昭和35年4月，深部鉱体探鉱のためのL30基幹坑道の開さくにあたってB断層の近傍で引立<sup>ひたて</sup>が崩壊し，出水量7～8 m<sup>3</sup>/分という異常出水をみた。(出水位置は第25図参照)

この出水は18日後にコンクリートダムによって止められたが，この異常出水事故を契機に湧水に関する調査体制が強化され，従来から行なわれていた湧水位置，水質などの調査の他に，この出水の原因になったと思われるB断層周辺の坑外試錐孔，No.166.No.210の2孔を，ついで昭和38年からはNo.298を追加して計3孔を地下水面の観測孔として設定し，地下水位の測定を行なうとともに，L30密閉ダム内水圧の測定を開始した。

(水位観測孔の位置は第19図参照)

この異常出水前後の状況を当時の報告から引用する。





かわらや  
L 3 0.河原屋向探鉱坑道の異常出水について

『昭和35年4月26日午前8時頃、L 3 0河原屋向探鉱坑道から突然大量の水が湧出する事故が発生した。これはその前日25日1の方で約2mの掘進発破を行なったところで、発破前には5mの先進ボーリングを実施しているが、ほとんど水はなく異常がなんら認められなかったところである。発破後2の方、3の方でローダーによるずり取り作業を完了したが、完了時も異常はなく、わずかの湧水を下水により排出していた程度であった。また3の方の係員が作業後の巡視で26日午前7時30分、すなわち事故の約30分ぐらい前に現場付近を通ったが異常はなかった。』

事故発生直後の現場は坑道引立から約3mぐらい奥まで断層面らしい斜面から剝離したような状態で崩壊しており、その奥から大量の水が流出していた。その詳細を見極めようとしたが、かなりのずりが落ちており、そのずりをのり越えて流れてくる水のさらに奥の状況は知る事ができなかった。

出水直後の水は白濁しており、水温27℃、PH6.9、出水量は約7.5 m<sup>3</sup>/分であった。この水は完全に閉塞すればそのダム内の水圧は40 kg/cm<sup>2</sup>以上になることが予想されたので、完全なるコンクリートダムの完成をまって閉塞したが、この間約18日間を要し、全出水量は200,000 m<sup>3</sup>となった。

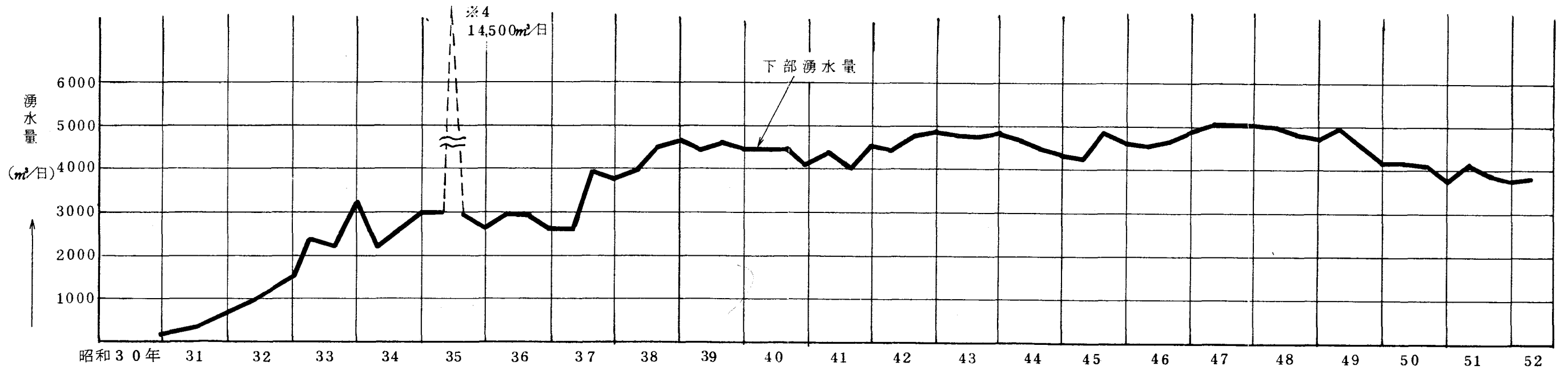
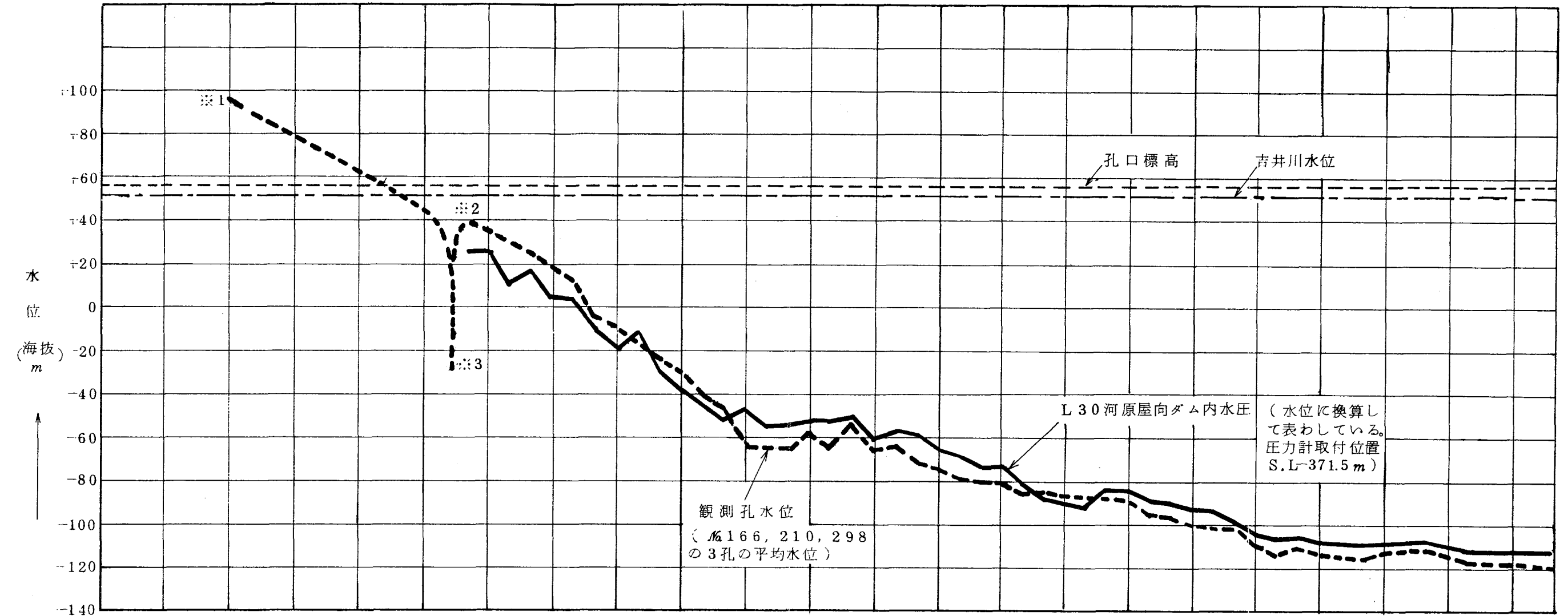
当時このレベルのポンプの配置状況は逐次増強中の段階で、処理能力は約4 m<sup>3</sup>/分程度であり、平時出水量を加えて10 m<sup>3</sup>/分近くに増えている水はとても揚水しきれるものではなかった。しかし幸いなことにこのL 3 0以下にはこのレベルを含めて約20,000 m<sup>3</sup>の空洞があり、とくに中央立坑の建設起業のため約10,000 m<sup>3</sup>の空洞が開さくされた直後で揚水能力不足分の水は一時ここに貯水することができた。このため新ポンプ設置の時間的余裕ができ、コンクリートダムの施工もできて坑内水没の最悪事態は防止できたのである。』

第20図に出水事故以後の水位観測孔、3孔中の平均水位、およびL 3 0出水箇所  
の密閉ダム内の水圧の変化を示す。

密閉ダム内の水圧については、この圧力を水頭に換算し、圧力計の取り付け位置（S.L. - 3715m）から、その水頭の水面位置を海拔で示している。なお、図中には下部鉱体関係の湧水量を併記した。

- (3) 昭和36年8月、L 2 7において、下部鉱体より南方にむかい、2本の探鉱坑道の掘進を開始し、この両線は連絡坑道により昭和38年11月に結ばれたが、

第20図 観測孔3孔中の平均水位，L30密閉ダム内水圧と下部坑内湧水量



※1 …… 試錐孔掘さく当時の自噴圧を水位になおしたもの

※2 …… ダムのバルブ閉切後に示した最高の水位

※3 …… L30で出水中，L21へ自圧揚水しながら測定した水位

※4 …… 昭和35年4月 L30河原屋向探鉱坑道の出水

この間の坑道開さく長は約5 kmにおよんだ。

この吉井地区に分布する主な断層は第24図に示す通りであるが、いわゆるA断層帯が地域のほぼ中央を巾広く走っており、この断層帯に起因するとみられる湧水が最大なものであった。

また探鉱坑道の掘進と併行して坑内外ともに、試錐探鉱を次々に実施し東西600 m、南北300 m、高距220 m (L45~L60)位の範囲で鉱化帯(深部鉱体)を確認した。

観測孔中の水位、およびL30密閉ダム内の水圧はL30運搬坑道、およびL27における深部探鉱坑道の展開による湧水量の増加にともなって下がり続け、昭和39年12月にこれらの坑道展開が一段落した時には、観測孔中の水位は昭和35年のL30における異常出水中の水位よりさらに35 m下がった。

- (4) 昭和39年12月から41年にかけては鉱床上盤である粘板岩中の坑道開さくが主体で比較的湧水が少なく、さらには試錐孔からの湧水の止水を積極的に実施したため、湧水量がむしろ少なくなった。

このため昭和40年後期から41年にかけて観測孔の水位が一時上昇した。

- (5) 昭和41年以降、ふたたび探鉱坑道の開さく、および試錐による湧水の増加が目立ちはじめ、観測孔水位、およびL30密閉ダム内の水圧の下降傾向があらわれた。

昭和42年にはL27吉井地区における坑道展開範囲は水平的には広大な面積を持つに至ったが坑道の分布はきわめて疎で試錐孔をのぞけば、垂直的にはL27の一平面にすぎない。また、このレベルでは上盤の粘板岩中を掘進したためか、坑道掘進に際しては相当な破碎帯を抜いたにもかかわらず、L30の様な異常出水は見られなかった。

- (6) 昭和42年以降、深部鉱体開発のため、河原屋探鉱立坑(L27~L60間)、および深部探鉱斜坑(L27~L56間)が開さくされ深部L27~L60間で、L48、L56などの探鉱坑道が展開された。

湧水量は昭和42年以降4500~5000 m<sup>3</sup>/日に達し、観測孔水位、L30密閉ダム内の水圧は引き続き低下傾向を示したが、昭和47年以降、試錐および探鉱坑道掘進量の減少と止水工事などで湧水量は漸次減少し、昭和50年以降、4000 m<sup>3</sup>/日程度で推移している。

昭和49年以降，観測孔水位は海拔 $-110 \sim -120 \text{ m}$ ，L30密閉ダム内の水圧は $2.6 \text{ kg/cm}^2$ （海拔 $-110 \text{ m}$ の水位に相当）前後を示し，大きな増減はみられない。

以上の観測結果は昭和35年のL30探鉱坑道における出水事故をもたらしたと思われるB断層周辺の坑外試錐孔中の水位変化，および，L30坑内密閉ダムの水圧と下部鉱体の湧水状況を中心に，下部および深部鉱体の開発経緯と湧水状況を概説したものであるが，坑内の湧水箇所全部がこの断層帯に分布しているわけではなく，必ずしも前記の測定結果が下部，および深部鉱体全体の水頭を代表しているとは言えない。

たとえば，昭和52年7月には，B断層周辺の観測孔平均水位が海拔 $-120 \text{ m}$ を示しているのに対し，これらより北西に約 $800 \text{ m}$ はなれた坑外試錐孔中の水位は海拔 $-72 \text{ m}$ を示しており，約 $50 \text{ m}$ の水位差がある。鉱床およびその周辺の地下水を考える上では更に多くの水位観測孔を設定すると共に，より高い頻度の測定が要求されよう。

しかし，湧水調査がさかんに行なわれた当時の担当者の見解，および，今回の調査から考えられることとして，次の点があげられる。

- 1) 柵原本鉱床を切る数多くの断層の分布状況から，これらの断層と水位観測中の断層との水理的な連絡が充分考えられ，各断層がたがいに交錯して脈状，あるいは管状の水みちで下部の坑道へ通ずることが考えられる。
- 2) 観測孔中の水位とL30坑内密閉ダムの水圧の換算による推定水位は似た値を示し，同じ変化の傾向を示す。すなわち，下部，深部鉱体の開発に関して湧水量が増加した昭和48年頃までは，観測孔中の水位，L30密閉ダムの水圧はともに低下傾向を示してきたが，湧水量が減少しはじめた49年以降は水位，水圧ともに安定しており，あたかも，坑内湧水量とその水源への水の供給がバランスしはじめたかのような印象を与える。しかしこの点についての判断は，追跡調査を含めた，さらに幅広い調査の結果を待って行なうべきであろう。
- 3) 坑道掘進時の湧水状況を鉱床の上盤である粘板岩と下盤の輝緑岩中の湧水について考えると，この両者にはかなり明確な違いがある。すなわち，両者はともに断層に関係した湧水であっても輝緑岩中では水が断層を中心にした，ごく狭い範囲から湧出する傾向があり，止水時の圧力は高い値を示す。これに対し，粘板岩中ではクラックが発達しており，水は広い範囲に分散して湧出する傾向があり，止水時の圧

力は低い。

トレーサーによる水みちの探索は当鉱山でも食塩、ローダミン、フルオレセインなどを使い、数多く行なわれたが、ほとんどの場合、顕著な結果が得られなかったため、詳しい報告が残っていない。

たとえば、昭和35年のL30出水事故当時には出水点上部に位置する坑外試験孔に食塩を投入し、これを坑内で検出しようとしたができず、また昭和46年には下部鉱体南部L27の排水路に食塩を投入し、下位の深部鉱体L52でこの検出を試みたが、検知できなかった。

しかし、トレーサーの使用については、過去の調査体制、機器類が不充分であったことを考慮すると、その選定、使用量、および使用方法などについて改善の余地が大きく残されており、これからの対応も考えられる。

### 9.3 下部、深部鉱体の湧水箇所

既調査資料および今回、実施した湧水状況の概要調査から得られた下部鉱体および深部鉱体の湧水位置、水量などを記入した湧水状況図をL10 (S.L. - 74 m), L21 (S.L. - 238 m), L27 (S.L. - 327 m), L27吉井地区, L30 (S.L. - 374 m), L48 (S.L. - 637 m), L56 (S.L. - 757 m), の各主要レベルおよび深部探鉱斜坑 (L27~L56間) について第21図~第28図に示す。

既調査資料については柵原鉱山において坑内湧水に関する調査がさかんに行なわれた昭和35年から昭和47年にかけて得られたデータが主体となっているが、特に縮尺1/1000の坑道図に、断層、湧水位置、水量などを記入した調査結果の整理図である「下部、深部鉱体断層図」を主要な基礎資料としている。

今回、簡単な坑内湧水状況の現地調査を行なったが、ここでは調査者が坑道を歩いてみて、岩盤から地下水が流出しているのを直接、確認できる湧水地点のみを図中に記載するにとどめた。したがって、現在でもかなりの湧水がある箇所でも止水処置がほどこされていたり、パイプで直接遠方の集中タンクへ送水されているものについては、現状調査の結果としては図中に記載されていない。

なお、第24図中では昭和51年に行なわれた応力解放法による地山応力の測定位置を示した。この測定結果によれば、最も大きい地山応力はほぼ水平で東西に近い方

向をとり、その値は  $241 \text{ kg/cm}^2$ 、鉛直応力は  $110 \text{ kg/cm}^2$  と計算された。(ヤング率を  $7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比を 0.125 とした) また、地山鉛直応力はこの地点の推定されるかぶり圧とよく一致している。

現状の概要調査結果を要約すると次のようになる。

1) 旧資料で出水が記録されている箇所はほとんど止水あるいは集水の処置がほどこされている。現在、観察できる湧水箇所の大部分は滴水程度で、その他数箇所では  $10 \sim 25 \text{ l/分}$  程度の湧水がみられた。

2) 現在見られる湧水箇所は過去に出水が記録されている箇所の付近である。

すなわち、

断層、およびその近傍、

鉱体と母岩の境界、および地質境界

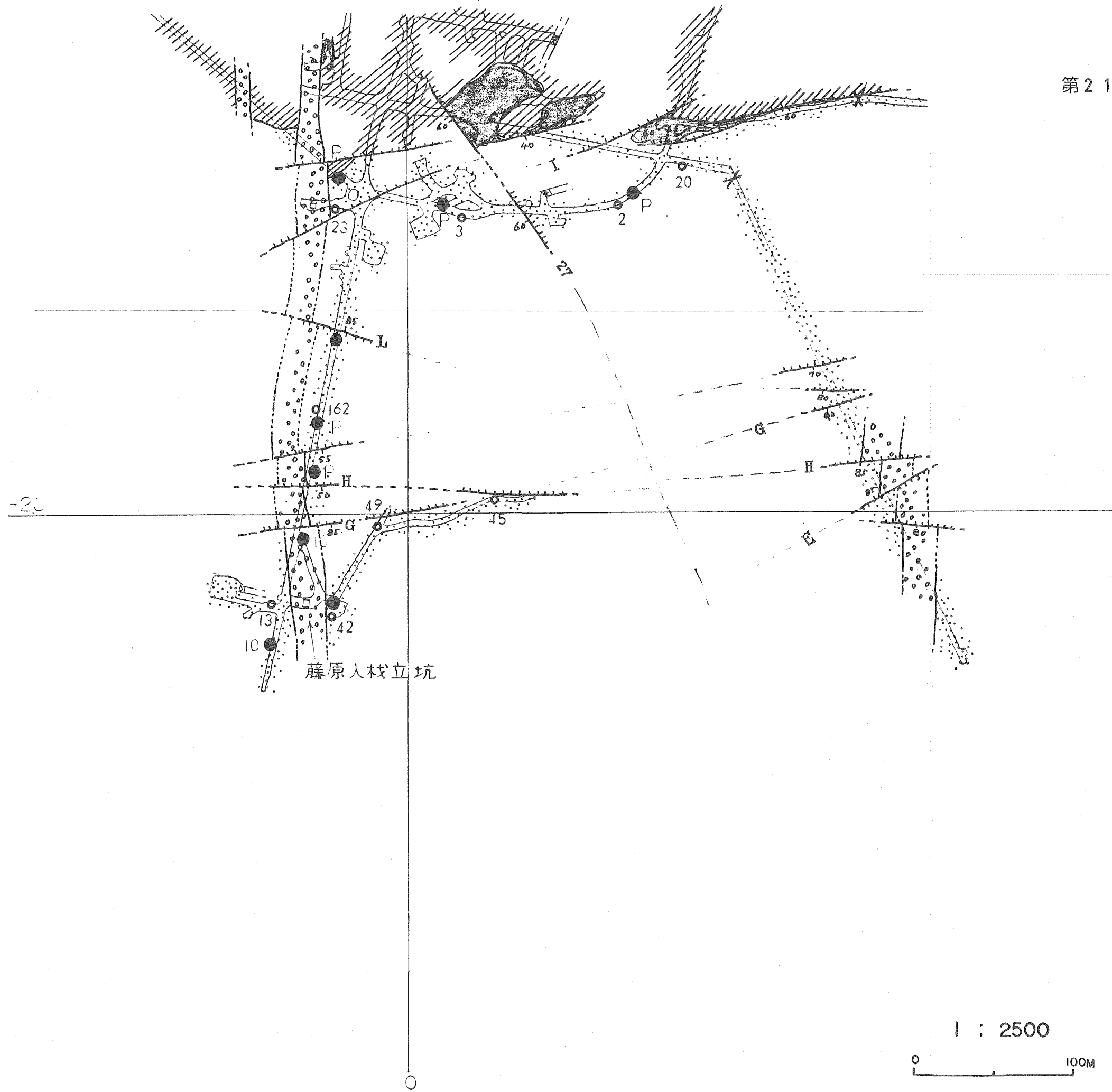
に湧水箇所がほぼ限定されている。

3) しかし、鉱床上盤の粘板岩中では付近に断層が認められない地点にも湧水が見られ、クラックの発達した粘板岩の中を水が分散して湧出する傾向が認められる。

4) L27、L30 の下部鉱体南部には過去に多量の出水が記録されている B 断層、A 断層に起因する湧水地帯があるが、特に L30 では鉱床下盤の輝緑岩が広く発達しており、大出水のあった B 断層に沿った部分は現在でも多くの湧水箇所が見られる。

5) 深部鉱体の坑道については、その平面的なひろがり小さく、開発途上の湧水が主に試錐孔からのもので占められたためか、現在では深部探鉱斜坑の一部の湧水を除くと、その他は、滴水程度で全体に水が少ないという印象を受けた。

第21図 湧水状況図 (L10)



- 凡 例
- 玢 岩
  - 花 崗 斑 岩
  - 珪 長 岩
  - 石 英 珪 長 岩
  - 石 英 閃 綠 岩
  - 輝 綠 岩
  - 角 礫 岩
  - 粘 板 岩
  - 鈎 床
  - 断 層
  - 湧水箇所 (既調査資料より)
  - " (現状の概要調査より)
  - 50 湧水量 (l/min)
  - P 滴 水

1 : 2500



L10 (SL-74m)



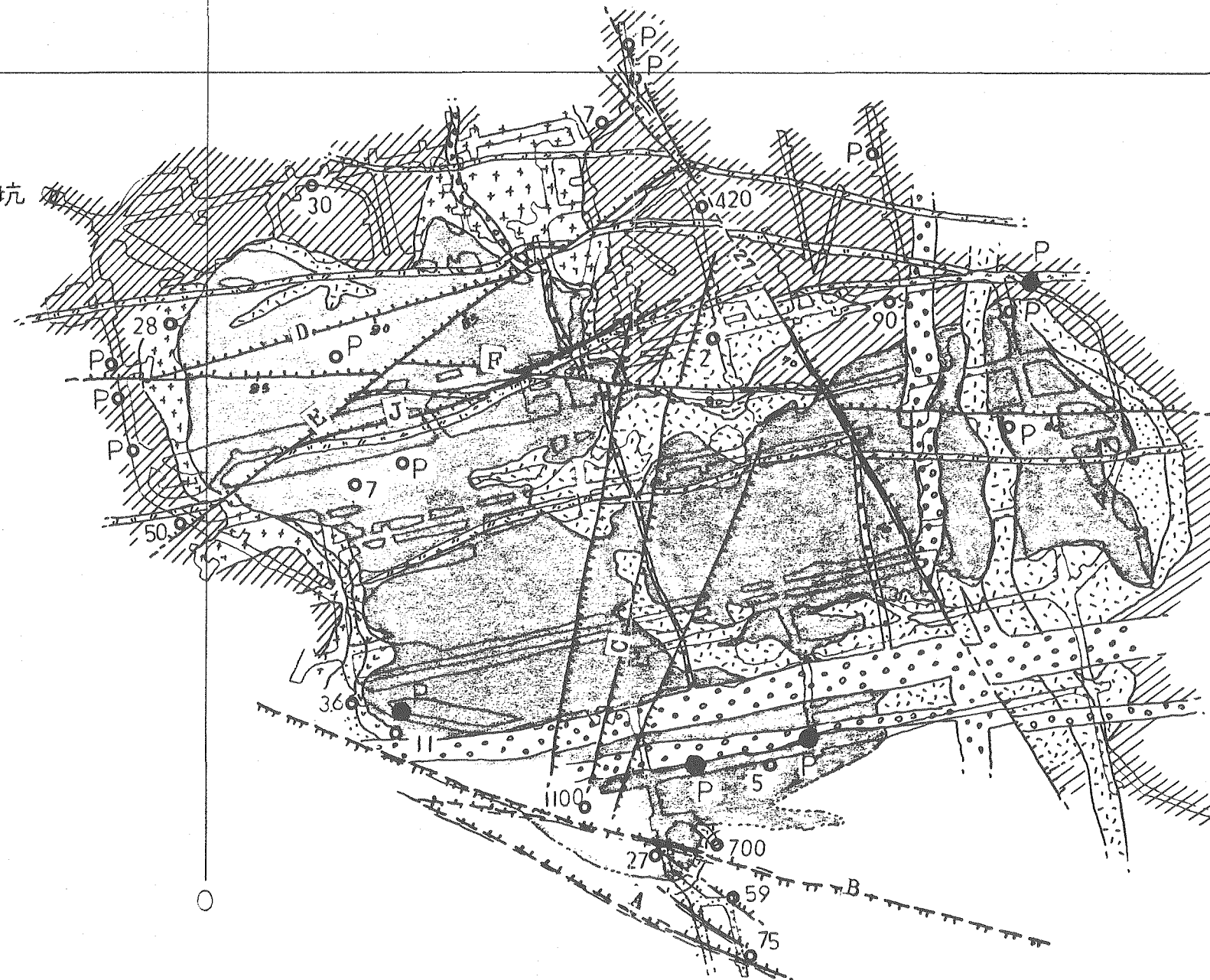
第22図 湧水状況図 (L21)



第23図 湧水状況図 (L27)

-20

藤原人杖立坑



凡 例

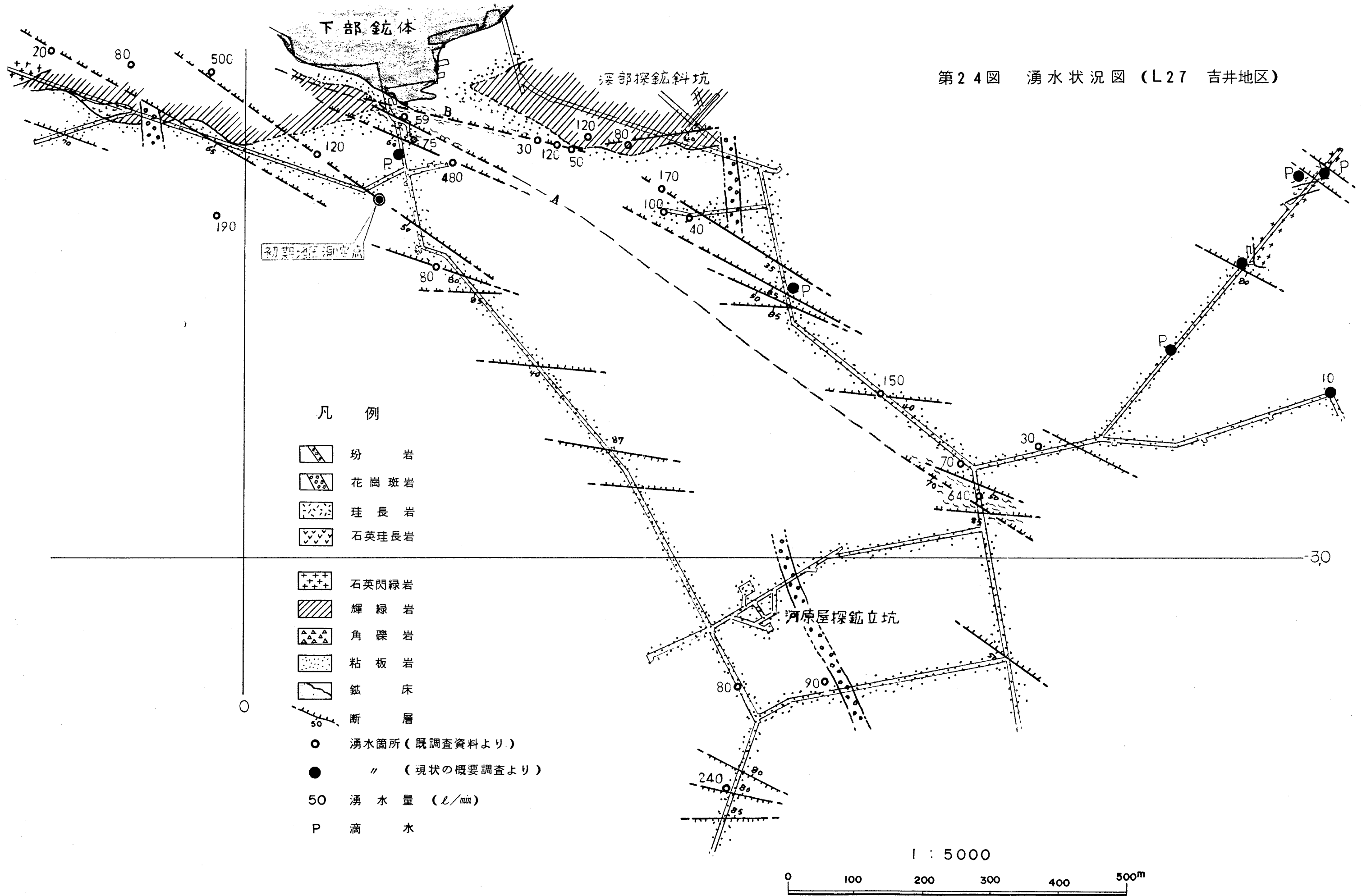
- 玢 岩
- 花 崗 斑 岩
- 珪 長 岩
- 石 英 珪 長 岩
- 石 英 閃 綠 岩
- 輝 綠 岩
- 角 礫 岩
- 粘 板 岩
- 鈺 床
- 断 層
- 湧水箇所 (既調査資料より)
- 湧水箇所 (現状の概要調査より)
- 50 湧 水 量 (l/min)
- P 滴 水

1 : 2500



L27 (S.L.-327m)

第24図 湧水状況図 (L27 吉井地区)



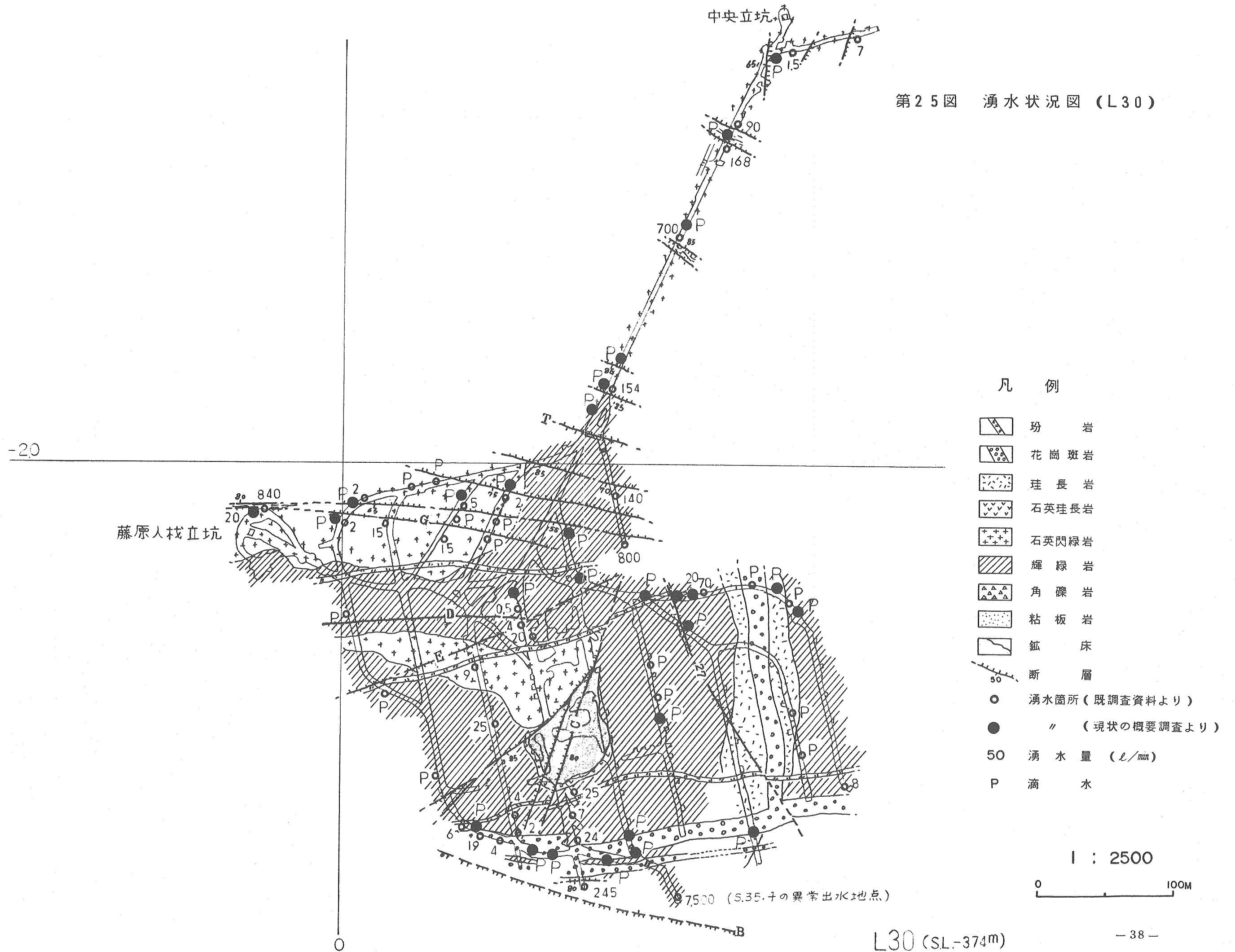
凡 例

- 玢 岩
- 花 崗 斑 岩
- 珪 長 岩
- 石 英 珪 長 岩
- 石 英 閃 綠 岩
- 輝 綠 岩
- 角 礫 岩
- 粘 板 岩
- 鉱 床
- 断 層

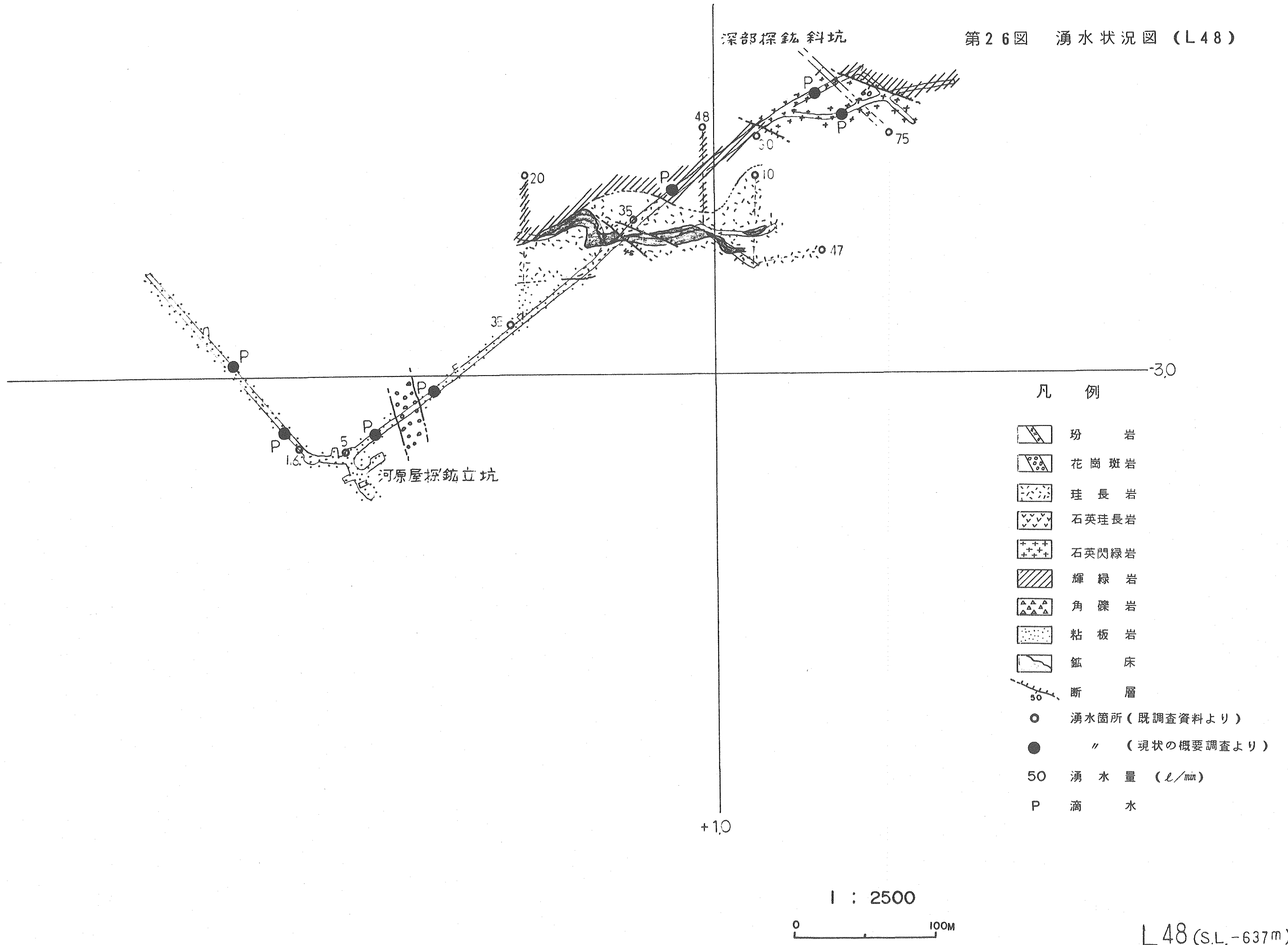
- 湧水箇所 (既調査資料より)
- " (現状の概要調査より)
- 50 湧水量 (L/min)
- P 滴水

L27 吉井地区 (SL.-322m)

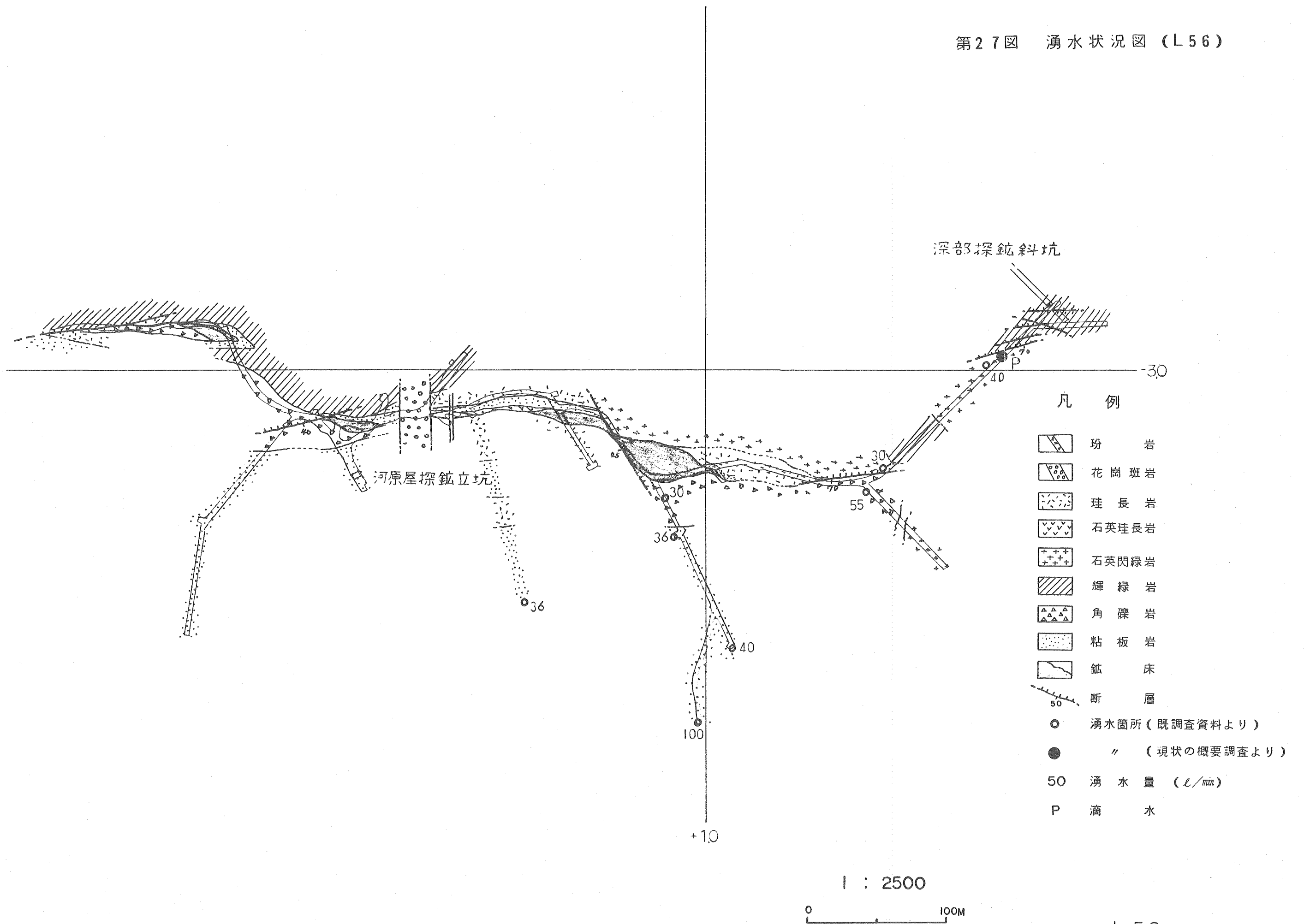
第25図 湧水状況図 (L30)



第26図 湧水状況図 (L48)

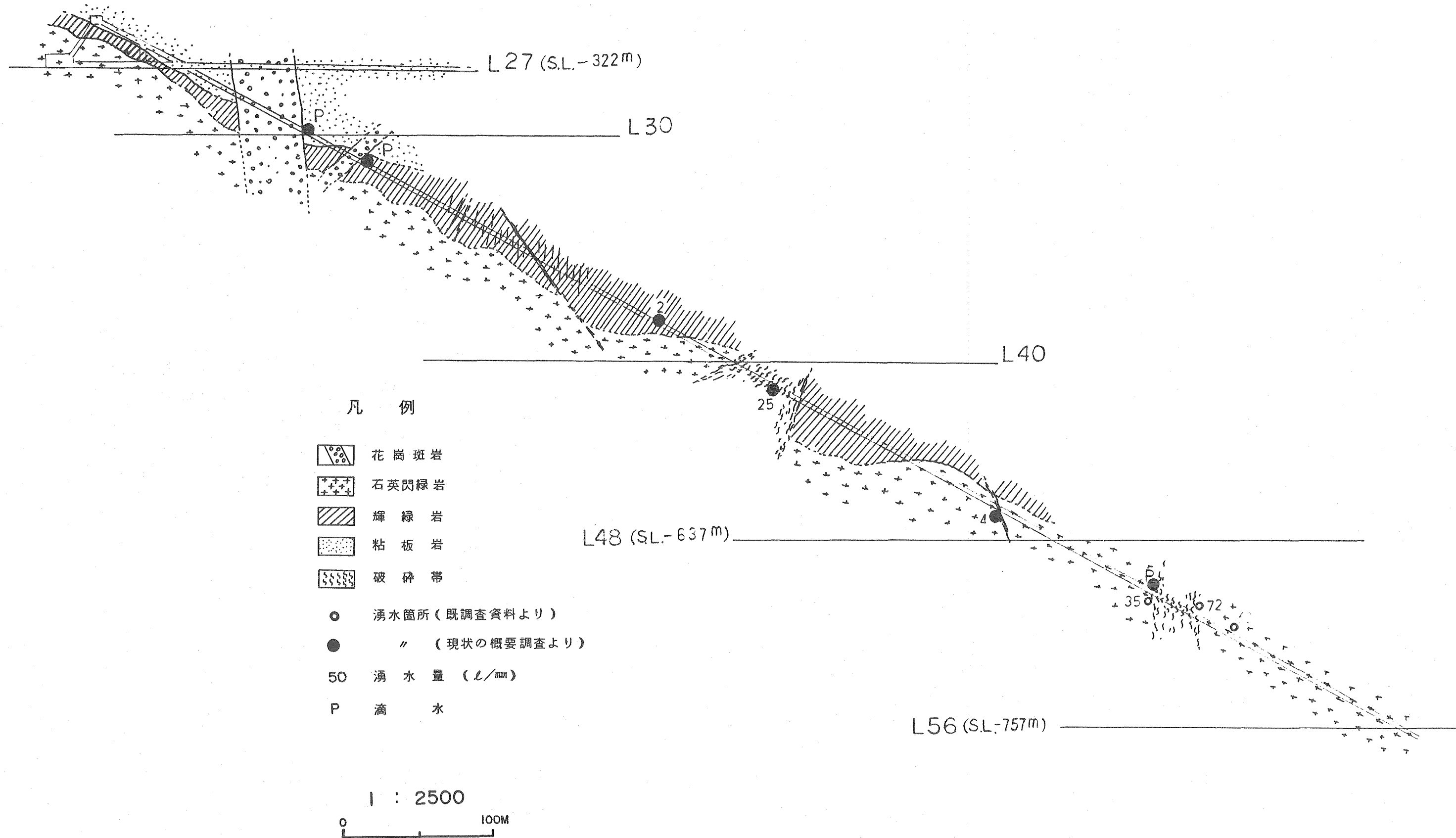


第27図 湧水状況図 (L56)



L56 (S.L.-757m)

第28図 湧水状況図（深部探鉱斜坑断面図）



## 10. 湧水と地質構造の関係

### 10.1 湧水と裂隙の関係

鉦山付近の表土以下を構成する岩石はいずれも緻密堅硬な不透水性のもので、水の存在場所および通路は裂隙以外に考えられない。しかも各岩石ごとの生成進入時の内因的営力によって生じた節理とか層理面などの裂隙についてみても乱された部分以外はほとんど滞水していない。

柵原本鉦床（第1，第2，第3，下部，深部鉦体）の90%以上を占める湧水は断層およびそれにもなり破碎帯のもたらす裂隙水であると考えられる。

裂隙水の存在する場所が海水面以上であれば、それがどこかに流れ去ることも考えられるが、柵原本鉦床の分布域はその大部分が海水面以下で坑道などで破らない限りどこにも流れ去る出口を考えることはできない。したがって、坑道や試錐孔が裂隙にあたるまでは地下水は裂隙を満たし、ほぼ静止に近い状態にあったとみることができるとができる。

次に水を湧出する裂隙の状態を岩質の上から分類すれば、主として鉦床の下盤として分布する火成岩体や鉦体および岩脈の内部では小さなクラックが少なく断層そのものが明確で止水する場合の圧力が高いが、粘板岩を主体とする堆積岩内では全体に小さなクラックが発達している。そして断層近くの岩石は幅広く破碎され、付近全体として一つの破碎帯を形成し、大きな空隙率を有すると思われる。このような堆積岩中の湧水箇所ではその湧水量が多い場合でも止水時の圧力はそれ程高くない。この原因としてはそれぞれの岩体の破壊に対する物理性や節理が異なり、その内部に発達する割れ目の状況が相違するためと考えられる。

次に断層を成因的な面から見れば、張力による裂隙では単一の面をそなえた断層ができやすく、また剪断面では両面が強大な圧力でずれ動くため、圧碎されて幅広い破碎帯を持つ断層になりやすい。そしてこの破碎帯内には角礫や粘土が充たされている。

そのような多数の断層が交叉しているために水みちの連続、不連続を生じこれが湧水量の大小、および湧水圧の強弱を生じる原因となるようである。



## 10.2 裂罅系の解析

坑内で確認された断層は非常に多く、それらを理論的に解析することは困難であるが、戦後、広域にわたって実施された坑外地質調査や航空写真による主要裂罅線の判読などを加味して得られた柵原付近の裂罅系に関する解釈を次に述べる。

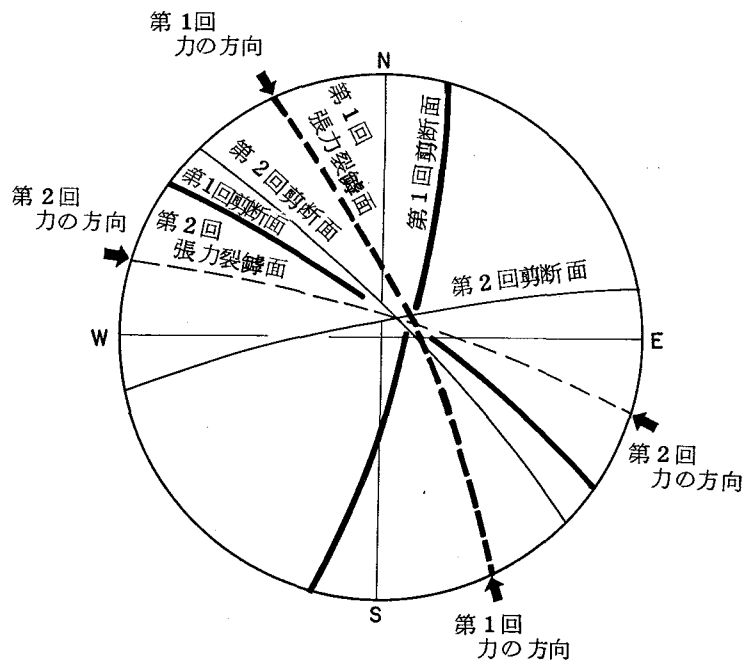
柵原付近では鉱床が生成され、地質状況が現在とほとんど変わりなくなってから後に、少なくとも2回、方向の異なる横圧力を受けて、剪断断層、張力裂罅が生じたと思われる。

これらの裂罅系と坑内でみられる主な断層との関係をまとめると第4表および第29図のとおりである。

第4表 裂罅系の解釈

横圧の方位	断層方位		断層呼称
	張力	剪断	
第1回 N 20° W	N 20° W	N 10° E N 50° W	27 C A
第2回 N 70° W (→N 80° W)	N 70° W(→80° W)	N 40° W(→N 50° W) N 80° E(→N 70° E)	(A), B, D, E, J

第29図 裂罅系概念図



第1回は $N20^{\circ}W-S20^{\circ}E$ 方向からの横圧力と考えられ、この力により、 $N10^{\circ}E$ および $N50^{\circ}W$ の2方向の剪断断層ができ、同時に $N20^{\circ}W$ の張力裂罅ができたと考えられる。

第23図、および第24図に示したL27における断層を例にとると、 $N10^{\circ}E$ 系はC断層に相当し、 $N50^{\circ}W$ 系はA断層に、 $N20^{\circ}W$ 系は27断層などがそれに相当すると考えられる。

第2回目の力はおそらく $N70^{\circ}W-S70^{\circ}E$ ぐらいの方向からの横圧力で、これによっては $N40^{\circ}W$ および $N80^{\circ}E$ 方向の剪断面と $N70^{\circ}W$ 方向の張力裂罅ができるはずであるが、既に第1回目の力で上記の割れ目ができているため $N40^{\circ}W$ の剪断面のかわりに $N50^{\circ}W$ の割れ目がふたたび滑り、そのため付近全体の部分応力が $N70^{\circ}W$ から $N80^{\circ}W$ 方向へ変わったような形となって、 $N80^{\circ}W$ 、 $N70^{\circ}E$ などの断層ができたと考えられる。

$N70^{\circ}W$ 系はB断層に相当し、 $N80^{\circ}E$ 系( $N70^{\circ}E$ 系)にはD、E、J断層などが相当すると考えられる。

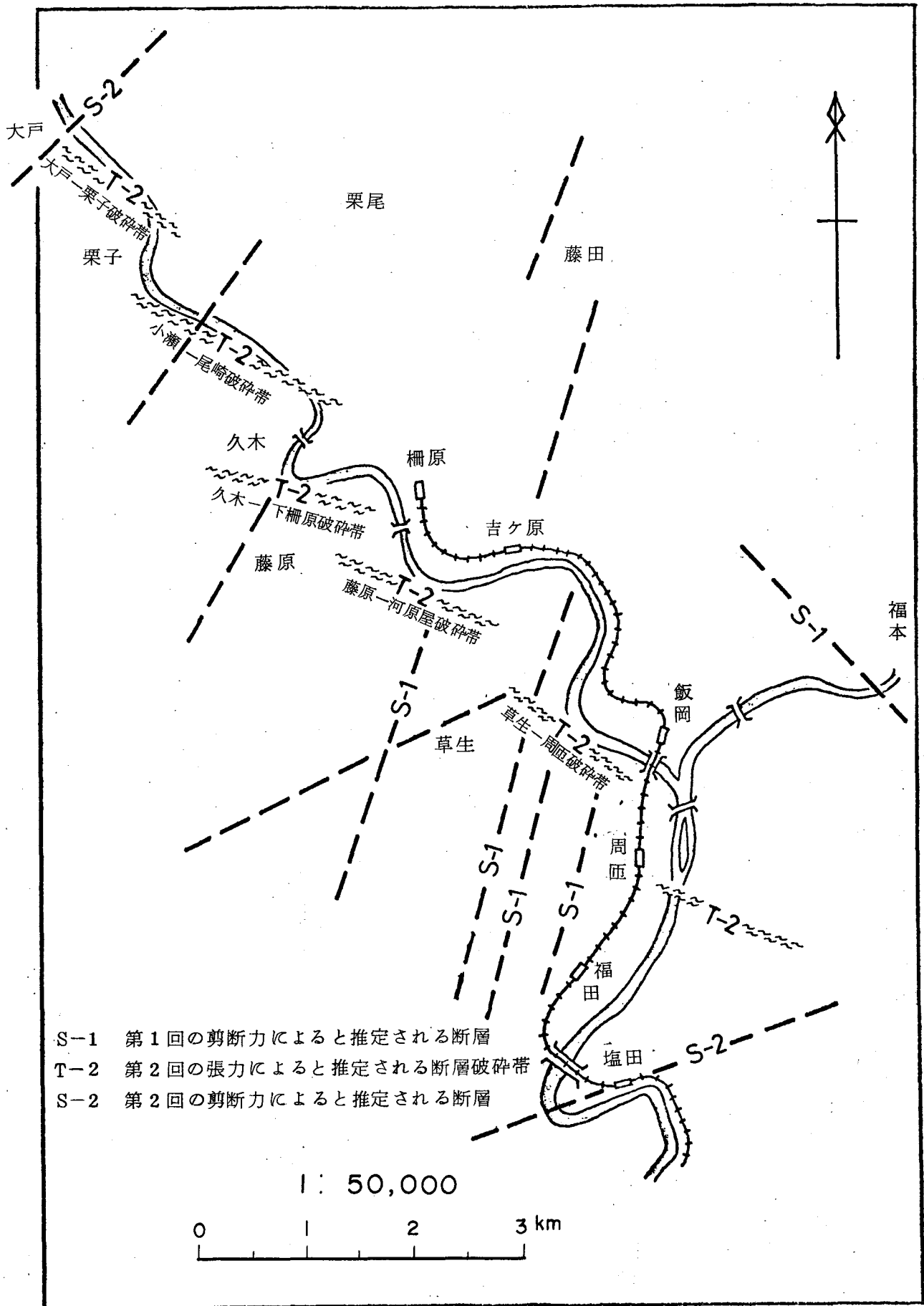
以上のように坑内の断層群を解釈した場合、更に広い地域にわたってどのような位置を占めていると考えられるかを第30図で説明する。

河原屋(かわらや)から周匝(すさい)の西にかけての地域に見られる $N10^{\circ}E$ 方向の断層と、福本付近に見られる $N50^{\circ}W$ の断層が上記第1回の力による剪断断層と考えられる。大戸(だいと)を通る $N50^{\circ}E$ の断層と塩田を通る $N70^{\circ}E$ の断層は少し方向が異なるが一応、第2回の力による剪断断層とみる。

大戸から周匝にかけてのほぼ $N40^{\circ}W$ 方向のゾーン中に $N70^{\circ}W$ 方向の短かい破碎帯が雁行状に並んでいるのが見られる。大戸-栗子(くりご)、小瀬(こせ)-尾崎、久木(ひさぎ)-下柵原、藤原-河原屋、草生(くそう)-周匝などの破碎帯である。この $N40^{\circ}W$ のゾーンの方向は第2回の力による剪断面の方向とほぼ一致し、 $N70^{\circ}W$ 方向は同じ力による張力裂罅の方向と一致している。すでに第1回の力によって $N50^{\circ}W$ 方向の割れ目ができているところなので、それがすべり $N70^{\circ}W$ 方向の張力裂罅と一緒になり、雁行状に破碎帯を形成したものと思われる。したがって、これらの破碎帯は張力裂罅の性質を多分にもっており、多量の裂罅水を保有している可能性がある。

下部鉞体の南は、丁度、この藤原-河原屋破碎帯にあたるので、B断層、A断層などに起因する坑内湧水が多かったものと推定される。

第30図 柵原付近の断層系概念図



## 11. 湧水の性質

### 11.1 水質

吉井川河水と自由面地下水,\* および下部鉱体内の湧水についての水質を第5表に示す。

第5表 河水, 自由面地下水および下部坑内湧水の含有成分比較表

(昭和33年7月調査)

成分	吉井川河水	自由面地下水	下部湧水
Na ppm	3.23	43.0	69.4
Ca "	5.69	21.2	2.1
Mg "	—	6.5	0.64
Al "	0.11	1.2	1.32
Fe "	0.095	0.4	0.15
SiO <sub>3</sub> "	12.0	34.0	37.0
Cl "	—	10.5	54.1
SO <sub>4</sub> "	4.57	59.0	54.8
全CO <sub>2</sub> "	—	60.0	59.0
HCO <sub>3</sub> "	—	56.0	—
PH	7.2	6.3	9.0
比抵抗 Ω-cm	10.000 ~20.000	5,000 ~15,000	340 ~3,000

また, L30, 河原屋向探鉱坑道湧水と吉井川河水の水質比較を第6表に示す。

\* 鉱山付近の井戸水

第6表 河水、およびL30河原屋向坑道湧水の含有成分比較表

(昭和35年5月岡山衛生研究所依頼)

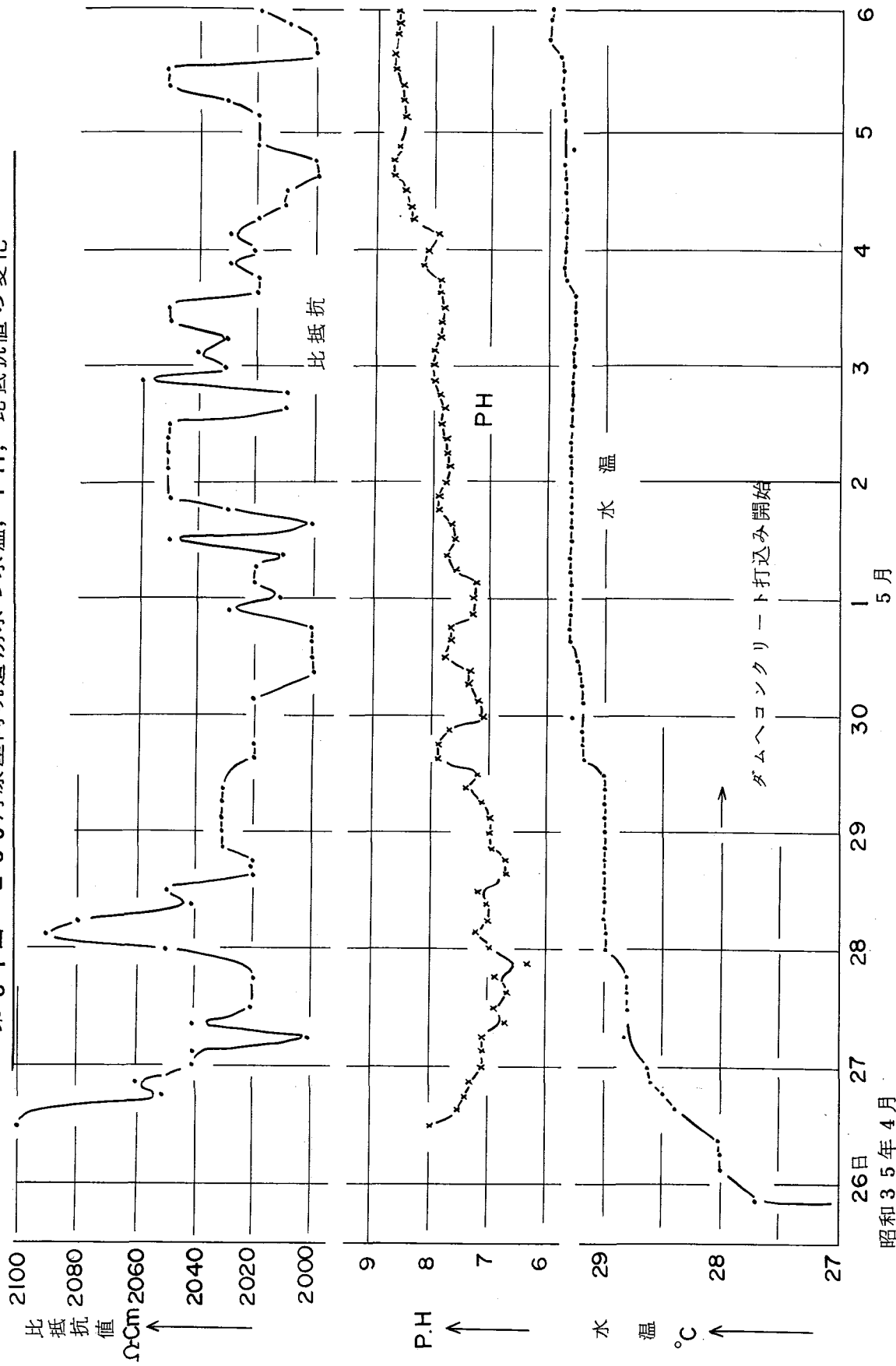
成 分	吉井川河水	L30河原屋向湧水
アンモニア性窒素 ppm	0.06	検出せず
亜硫酸性窒素 "	0.01	"
硝酸性窒素 "	0.01	ほとんどなし
塩素イオン "	7.81	60.35
過マンガン酸カリ消費量 "	6.32	3.79
鉄 "	0.45	0.7
弗素 "	0.2	5.0
珪酸 "	8.0	26.0
硫酸イオン "	13.4	56.8
硬度	16.0	22.0
水素イオン濃度	6.8	8.8
アルカリ度 度	12.0	7.0
酸度 "	4.0	0
色 "	11.0	1
濁り "	2.0	2.3
蒸発残留物 ppm	64.8	277.6

第5表および第6表から

- (1) 吉井川河水はきれいな水であるのに対して、L30河原屋向湧水、下部湧水は多くの無機成分を含む。
- (2) 自由面地下水は比抵抗値では河水に近く、成分別にみると下部湧水に近い。いわば河水と湧水の間存在的存在である。
- (3) 下部湧水は河水にくらべて、Na, SiO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>の含有量が多いが、反面、比抵抗値は河水の約 $\frac{1}{10}$ である。

L30、河原向探鉱坑道出水直後の水温、PH、水比抵抗値の変化は第31図に示すとおりである。20万m<sup>3</sup>の水を湧出してなお比抵抗値は2,000~2,060Ω-cmを、またPHは8以上を示しており、その成分に顕著な変化が見られなかったことか

第31図 L30河原屋向坑道湧水の水温, PH, 比抵抗値の変化



ら、この水は直接的に坑内に流入した吉井川河水ではないと考えられる。

下部鉱体の主な湧水点における水質について、昭和42年に集約された調査結果を第7表に示す。

第7表 下部鉱体湧水の化学分析結果

(注) 下部鉱体の主な湧水点の代表的な値を示す。

レベル	PH	mg/l Na	" Ca	" Mg	" Al	" Fe	" Cl	" SO <sub>4</sub>	" CO <sub>3</sub>	" SiO <sub>2</sub>	Ω-cm 比抵抗
L10	8.9	30	2.9	0.8	0.45	0.03	14.2	34.7	9	30	2,700
L21	9.1	46	2.3	0.6	0.60	0.16	31.2	41.1	31	35	2,600
L24	8.9	60	2.8	0.9	1.21	0.12	16.3	51.5	70	61	2,300
L27	9.2	96	1.9	0.3	0.60	0.05	61.0	56.7	44	41	2,100
L30	8.9	96	1.9	1.1	0.50	0.76	61.0	57.6	75	32	2,000

この調査報告書では断層からの湧水が坑道に流れたり、鉱体の中を通る以前に湧水点で採取して、その水比抵抗値を測定した結果によると下位のレベルになるにつれて比抵抗値の減少傾向があり、このことから裂隙水に含有される無機の化学成分の量が下位のレベルほど多くなるという解釈ができる。

深部鉱体の湧水については、その水質に関して集約した調査報告がないが昭和45、46年にL48、L52で実施された試錐孔からの湧水の化学分析結果第8表をみるとかなりのバラツキがある。しかし、深部鉱体の坑道展開範囲はごく一部に限られており、データも少ないので、水質に関する以上の調査結果を総合すると、一般的には下部および深部鉱体における湧水の水源としては、吉井川河水や降雨浸透水が考えられるが、これらが直接的に坑内に流入してくるのではなく、いったん地下のある場所に貯留され湧出してくるものと思われる。また、この貯留容積はL30で、大量の水を湧出したにもかかわらず、その成分に顕著な変化がみられなかったことなどから、相当大きなものと考えられる。

第8表 深部鉱体湧水の化学分析結果

(昭和45~46年)

レベル	PH	mg/l Na	" Ca	" Mg	" Al	" Fe	" Cl	" SO <sub>4</sub>	" CO <sub>3</sub>	" SiO <sub>2</sub>	Ω-cm 比抵抗
L48	8.5 ~9.8	92 ~94	1.6 ~2.0	0.7 ~3.6	Tr	0.3 ~0.7	30.0 ~56.0	11.3 ~15.4	70 ~103	8 ~29	1,940 ~2,300
L52	8.2 ~9.5	80 ~85	2.4 ~3.0	0.2 ~1.8	Tr	0.2 ~2.1	37.6 ~53.3	10.3 ~16.4	68 ~79	20 ~26	1,750 ~2,300

### 11.1 水 温

一般に深層地下水の水温はおよそ、深度100mまでで17~18℃、200m位までで19~20℃といわれ、深度をますにしたがって増加する地下増温率に応じた傾向を示すといわれている。

前述した昭和42年に集約された調査報告によると、柵原における裂隙水もほぼこれに一致する。すなわち、坑外観測孔で測定した水温の垂直変化状況をみると、地表を基準とした場合、第9表のとおりで地表下100m付近までは変化していないが、それ以下については上記の増温傾向を示している。

(注 観測孔5孔間の温度のバラツキはほとんど認められなかった)

第9表 地表下深度と試錐孔中水温の関係

地表下深度 (m)	水 温 (°C)
20	18.5
50	18.2
100	18.1
150	18.8
200	19.5
250	20.6
280	21.4

また下部鉱体における湧水温度を巨視的にながめた場合、第10表のようになるとしている。

第10表 下部坑内湧水の水温

レベル	地表下深度 (m)	水 温 (°C)
L 6	14	16.8
L 10	73	17.7
L 21	237	20.7
L 24	282	22.7
L 27	326	24.3
L 30	373	26.6



深部鉱体については、水質と同様に、集約された調査報告はないが、L48およびL56における湧水温度はおよそ第11表のようになる。

第11表 深部坑内湧水の水温

レベル	地表下深度 (m)	水 温 (°C)
L48	762	29.3
L56	882	32.5

昭和35年のL30河原屋向探鉱坑道の異常出水時における水温は当初27°Cから2日後29°Cとなり最高29.5°Cまで上がっている。

下部鉱体の湧水点における水温は第10表に示したように、下のレベルに行くにしたがって上昇するが、L30においては異常出水以前に測定された湧水の水温は27.8°Cが最高であった。また昭和33年10月にL29の2箇所測定された岩盤温度は27.8°Cおよび25.3°Cであった。

L30河原屋向探鉱坑道における湧水の水温が岩盤温度より高いことについての当時の担当者の見解を要約すると次のようになる。

- 1) 密閉ダム構築用コンクリートの水和熱だけでは29.5°Cに達した湧水の水温上昇を説明できない。(試算によると水温を0.1°C程度、上昇させる熱量を発生しているにすぎない。)
- 2) したがって、この水は高温部を通過してL30に湧出したものとする。
- 3) 今までに知られている高温部としては第1鉱体、および第2鉱体の火災地域が考えられるが、採掘の経験からこの付近に大量の水を貯留している空洞は考えられない。さらには、これら火災地域の影響を受けた水は必ず酸性化しており、L30河原屋向探鉱坑道の湧水のようなPH8前後を示す水は考えられない。
- 4) この水が火災地域を通過したものでないとするならば、水温が周囲の岩盤温度より高い値を示す原因については水の貯留場所をL30よりさらに下位の地下深所に求める以外ない。
- 5) 一般に、地下増温率は36mの深さで1°C上昇と言われており、柵原の場合もこれと同程度の増温率とした場合、水温30°Cの地下水が貯留されてい

る場所はL30よりさらに100 m 下部，すなわち地表下500 mの深所とも想像される。

- 6) 地表下500 mの深所に貯留されている水が，断層内の水みちを通過してL30まで上昇したと仮定すると29℃以上の水温も不思議ではない。

坑内湧水の水温に関する以上の調査結果をみると，坑内湧水というものを単純に断層などの裂隙を経て上からくる地下水とするだけでは不十分で，湧水点よりさらに下位の裂隙中に貯留されている地下水の湧出も考慮する必要があると考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) 出 村 収：柵原鉍山の坑内水とその対策  
日本鉍業会誌， vol. 77， №. 875 ( 1961 )， P. 15～22
  
- 2) 五十嵐省一郎：柵原鉍山下部鉍床における異常出水について  
第12回全国鉍山・製錬所現場担当者会議 採鉍講演集  
( 1961 )， P. 31～54