

## 第 II 章 調 査 内 容



## 第1節 第一次調査

### 1.1 地質調査

地質調査では、フィールド調査と坑井のコア、カッティングス調査の2種類の調査を実施した。フィールド調査では主要ルートの2千分の1ルートマップ(付録参照)を作成し、これに基づいてフラクチャー解析、変質帯調査、湖成層の堆積調査を実施した。さらに本地域の主要貯留層となる第三系の岩質と構造を知るために、広域地質調査も実施した。

坑井のコア、カッティングス調査としては、既存5坑井(P R - 1, 2, 5, 8, RC - 1)から適宜選び出し、コアの密度、孔隙率、熱伝導率、カッティングスの帯磁率、Hg, Asを中心とした化学分析、X線回折分析および流体包有物調査を実施した。

これらの調査の結果以下に示す事が明らかになった。

- ① 本地域の地質層序は、下位から基盤花崗岩類、コルディリェーラン火山噴出物、タラ凝灰岩、セリートス・コロラドス流紋岩、アロヨ・エルカラコル層(湖成層)、メサ・エル・ネファウェテ流紋岩であり、主たる地熱貯留層はコルディリェーラン火山噴出物の下部層(安山岩が主体の地層)中に存在する。
- ② 断裂系の調査によれば、地表からコルディリェーラン火山噴出物上部まではNE-SW系の正断層系(正確にはnormal-slip with small lateral component fault)がよく発達し、これらの断層はNW-SE系の横ずれ断層によって切られている。以上の断層はカルデラ形成後の隆起に伴って形成されたもので、(Figll. 1-1)隆起の中心は、引張りフラクチャーや古応力場復元によればPR-1~PR-8周辺と想定される(Figll. 1-2)。
- ③ 地表および坑井カッティングスの変質帯調査によれば、地表ではカオリナイトを主とするNE-SW性の酸性変質帯で特徴づけられるのに対し(Figll. 1-3)、坑井の深度1,000 m以深の変質鉱物は緑泥石、方解石、混合層鉱物等の中性~アルカリ性熱水変質作用が卓越し、変質作用の中心はPR-1~PR-8周辺と想定される。
- ④ 坑井コア、カッティングスの岩石物性値測定および化学分析を実施したところ、HgとAsの高濃度部分は逸泥を伴うフラクチャー部分とよく対応することが判明した。また、流体包有物の最低充填温度から描いた地下温度断面をみると、当地熱地域の沸騰地熱流体はPR-1~PR-8の地下深部より上昇していることが推定された。

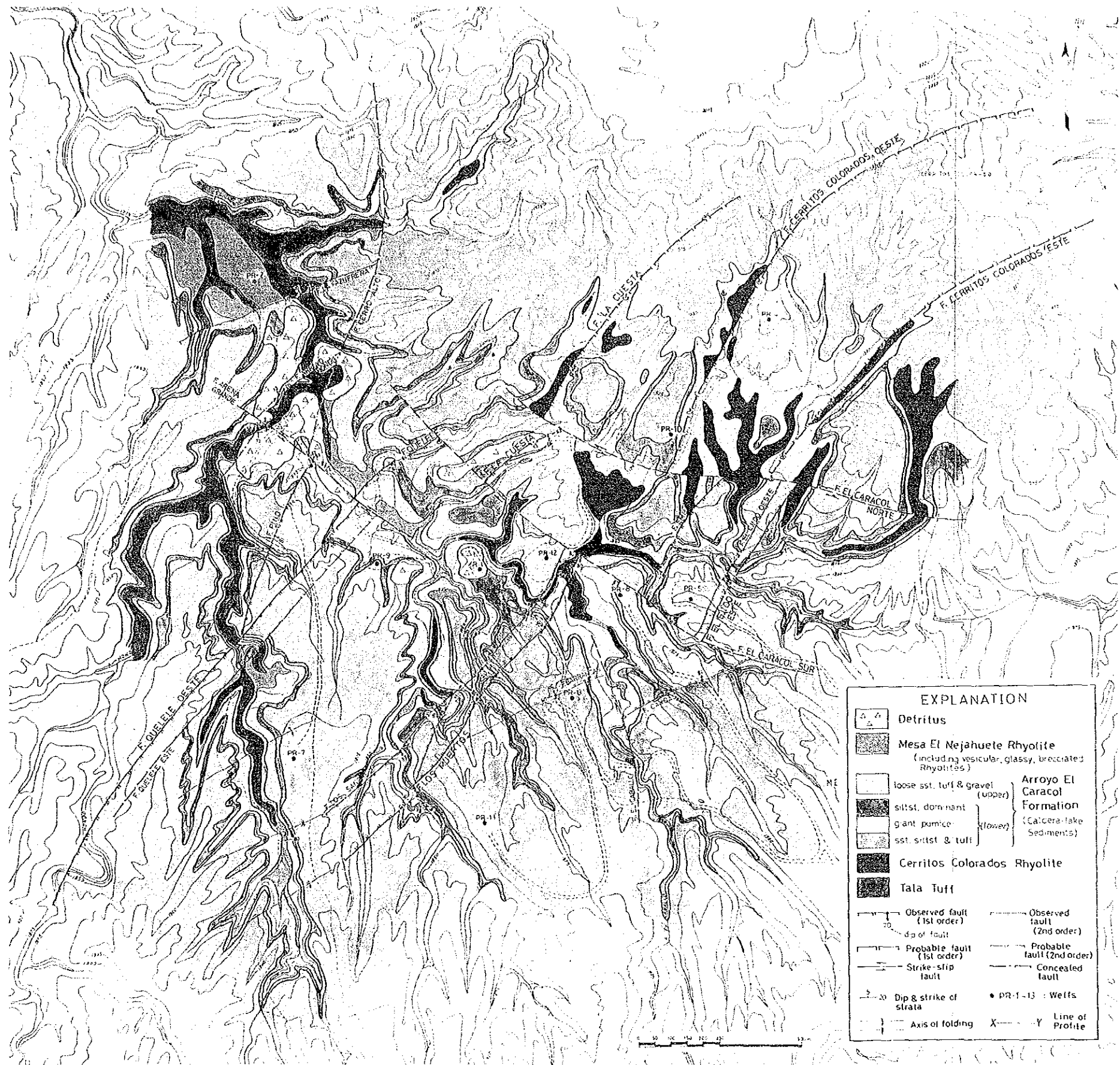


Fig. II. 1-1 Geological Map



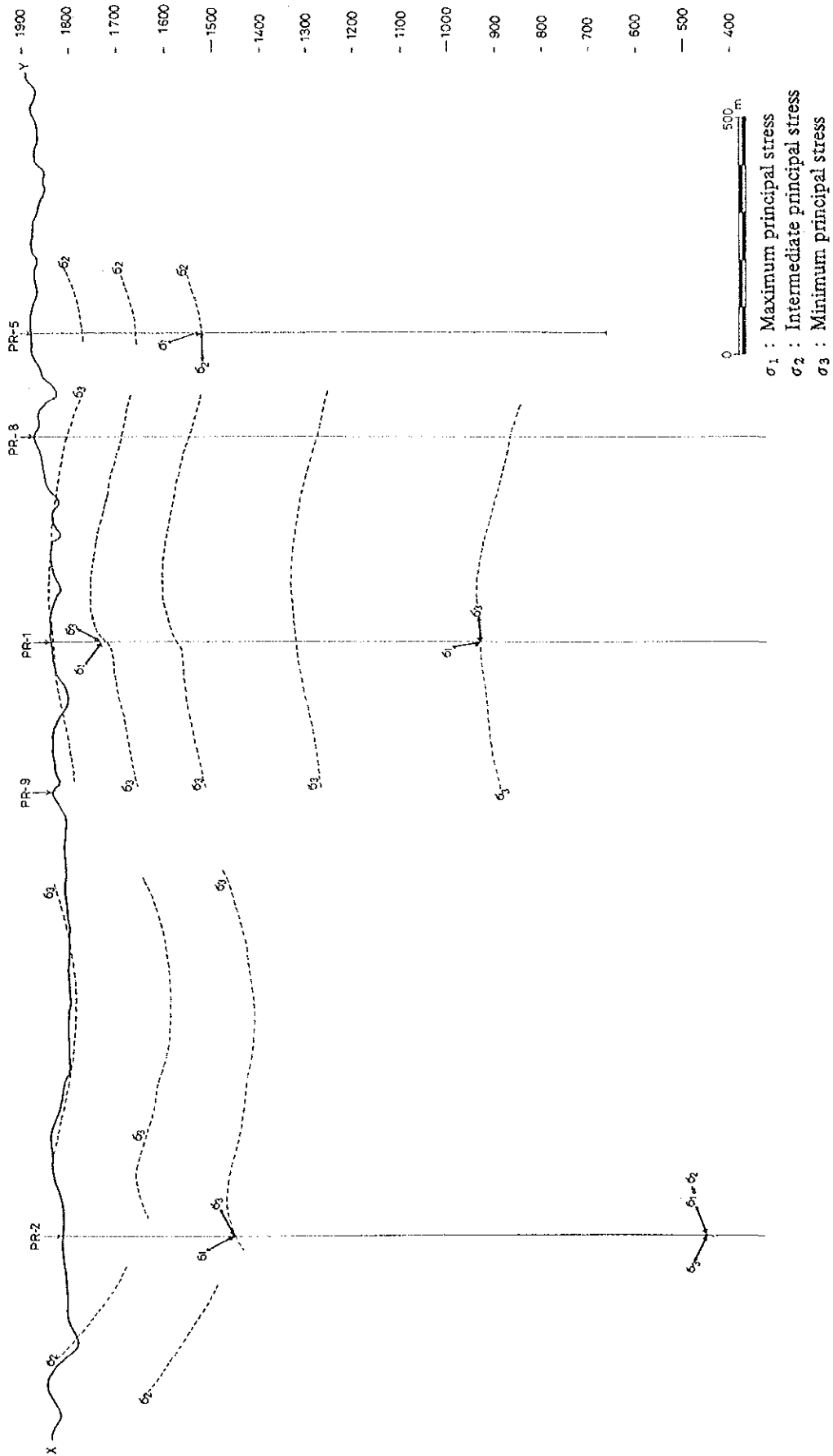


Fig. II. 1-2 Stress Trajectory Restored by Remnant Magnitization and Fracture Orientation of Cores

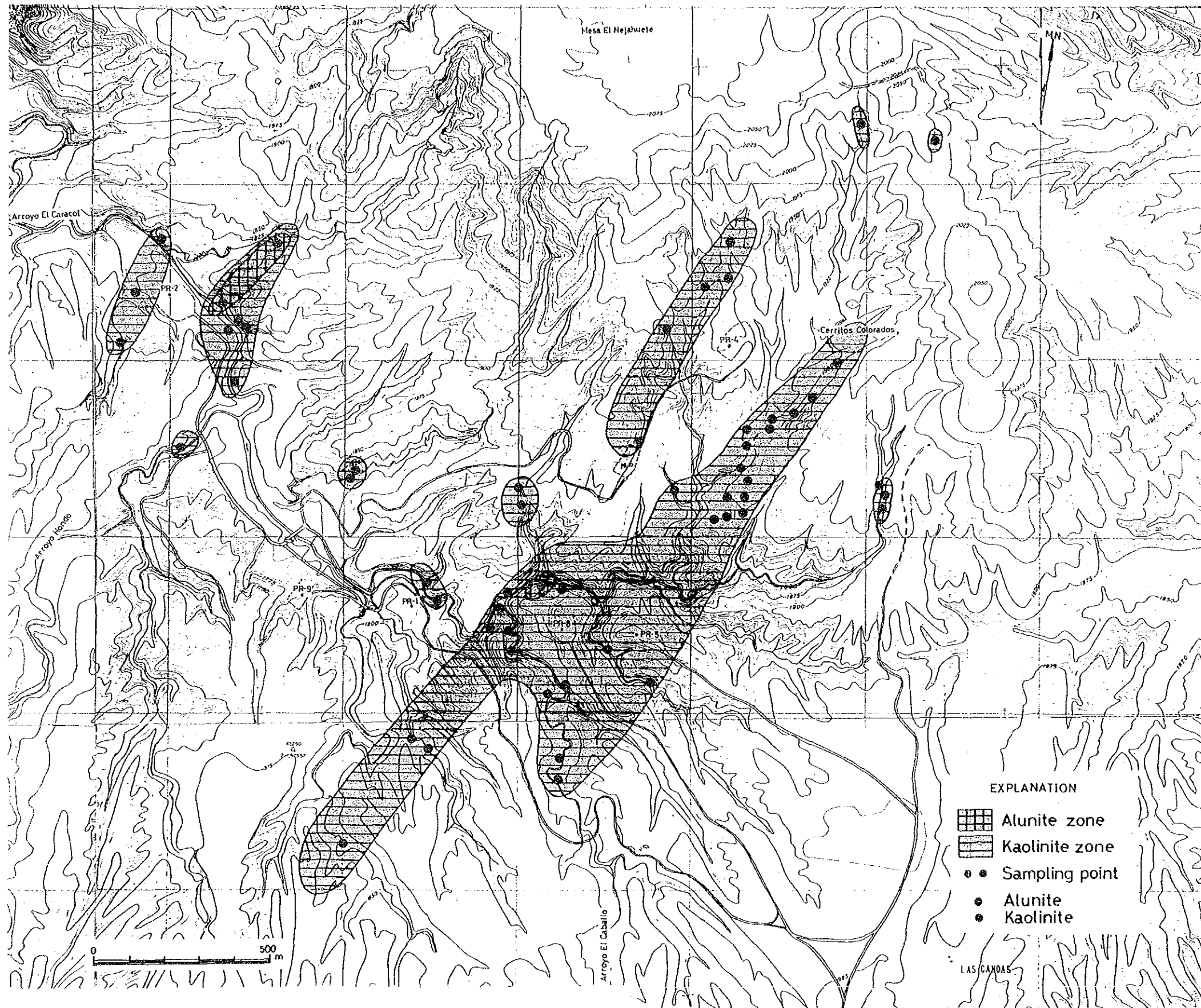


Fig. II. 1-3 Zoning Map of Rock Alteration





## 1.2 地化学調査

地化学調査は、ラ・プリマベラ地域の土壌中水銀濃度の測定およびC F Bが既に掘削した地熱井の噴出流体の化学分析とを行うことによって、当地域内のフラクチャー分布や地熱活動の広がりやを推定し、さらに地熱流体の化学的特徴に基づいて、地熱貯留層の温度や流体の流動機構を推定することを目的として実施された。

調査項目は、以下のとおりである。

- ① 土壌水銀調査 ( 9.6 Km<sup>2</sup>、 272 地点 )
- ② 坑井流体調査 ( P R - 1 および P R - 8 )

上記調査は、それぞれ昭和60年7月～9月および同61年1月～2月の2回に分けて実施された。それらの結果は、以下に示すとおりである。

- ① 土壌中の水銀濃度は過去から現在までに地下から供給された火山性起源の水銀の蓄積を示すが、本地域では70 ppbを境界として2つのグループに区分でき、70 ppb以上の高濃度地点が調査地域東部に、NE-SW性の方向性を持って分布する(Fig. 1-4)。

このことはこの高濃度分布地域の地下にNE-SW性のフラクチャーが存在していることを示す。すなわち、Fig. 1-1 地質図に示すようにNE-SW方向の断層を明瞭に反映している。

- ② P R - 1、P R - 8についての地化学温度計を検討するとNa-K-Ca温度が妥当であり、P R - 1では約300℃、P R - 8では約280℃と推定される(Table 1-1)。
- ③ P R - 1、P R - 8の他にP R - 2、P R - 4、P R - 5の化学分析値も加味し、

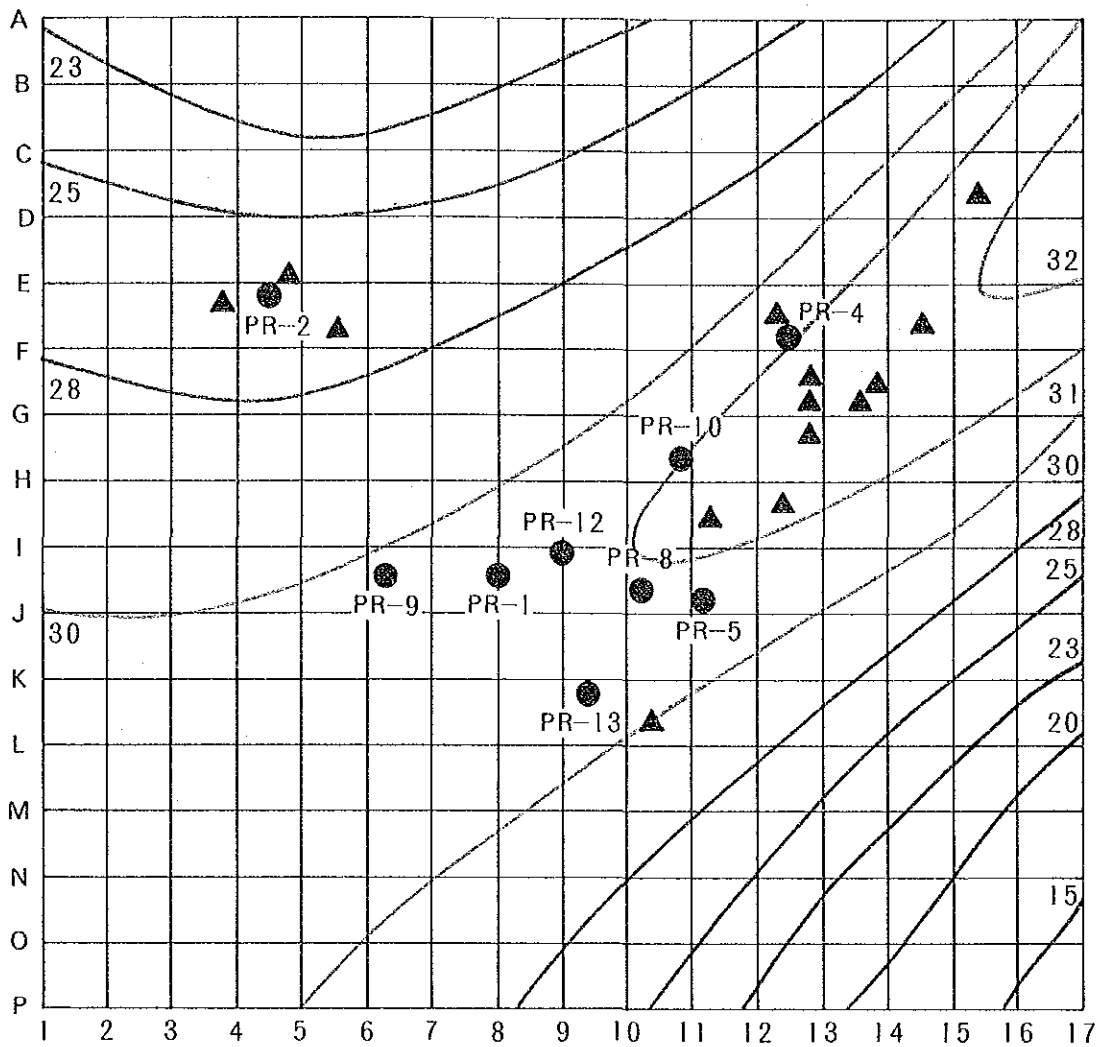
C1-エンタルピー、C1-Bの関係を検討すると、深部熱水はP R - 1付近から上昇しており、P R - 8→P R - 5の方向に流動し、さらにNE性のフラクチャー沿ってP R - 4の方向へ流れながら、徐々に地表水の影響を受けていくと考えられる(Fig. 1-5)。

P R - 1の熱水が最も本質的な深部熱水に近いことは、同位体組成の $\delta^{18}\text{O}$ 値が高く、He/Ar比が高いことから立証されている。

Table II. 1-1 Chemical Geothermometer

Geothermometer				(°C)
Well	Quartz-maximum steam loss	Na/K (Fournier)	Na/K (Truesdell)	Na-K-Ca
PR-1	> 288	301	299	297
PR-8	> 274	263	247	280





15~32 : trend value (ppb)

● : fumarole

▲ : well

A~P, 1~17 : number of measuring point

Fig. II. 1-4 Result of the Third-order Trend Surface Analysis for Mercury Concentration Value



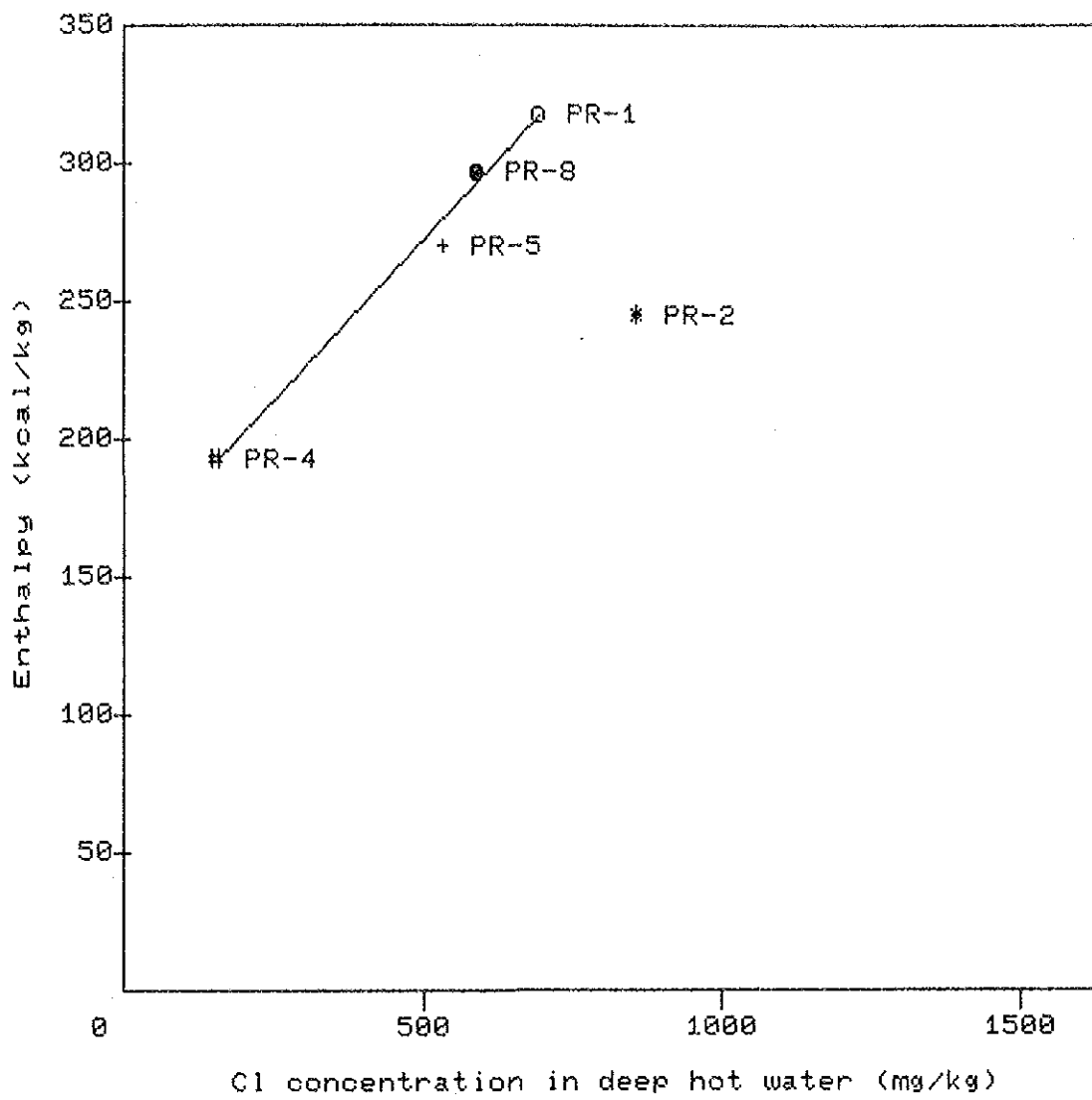


Fig. II. 1-5 Relationship between Enthalpy and Chloride Concentration in Deep Hot Water in the La Primavera

### 1.3 重力探査

シェラ・ラ・ブリマペーラカルデラ内の地下構造を把握する目的で、重力探査を実施した。この探査では、La Coste & Romberg社製のG型重力計No.178を使用して重力測定を行い、最終的には2次元断面解析まで実施した。その結果を要約すると以下のとおりである。

- ① シェラ・ラ・ブリマペーラカルデラ地域の精密重力調査によるブーゲー異常をみると、カルデラ内は低重力異常で特徴づけられ、局部的に高重力異常が認められる(Figll. 1-6)。2次元断面解析によれば、この高重力はカルデラの再隆起に伴うもので、NE-SW方向の長軸をもつ楕円形ないし矩形を示すものと想定される(Figll. 1-7)。
- ② カルデラ外縁部のうち北壁と西壁は重力異常に明瞭にあらわれているが、南壁は地質図に描かれている場所より南側に位置する。また、局所的な低重力異常はタラ凝灰岩や湖成層の厚い部分に相当する。
- ③ 広域的なブーゲー異常図によると(Figll. 1-8)、“基盤岩類”や第三系分布地域ではNW-SE性あるいはNS性の構造が卓越しているので、地熱徴候地域の地下におけるコルディリエーラン火山噴出物下部や基盤岩類の構造の主構造もこの方向であると推測される。この方向は①で述べた方向と調和していないが、①の方向性はごく最近(おそらく数万年前)に形成されたもので、浅部の岩質に左右されているためと考えられる。

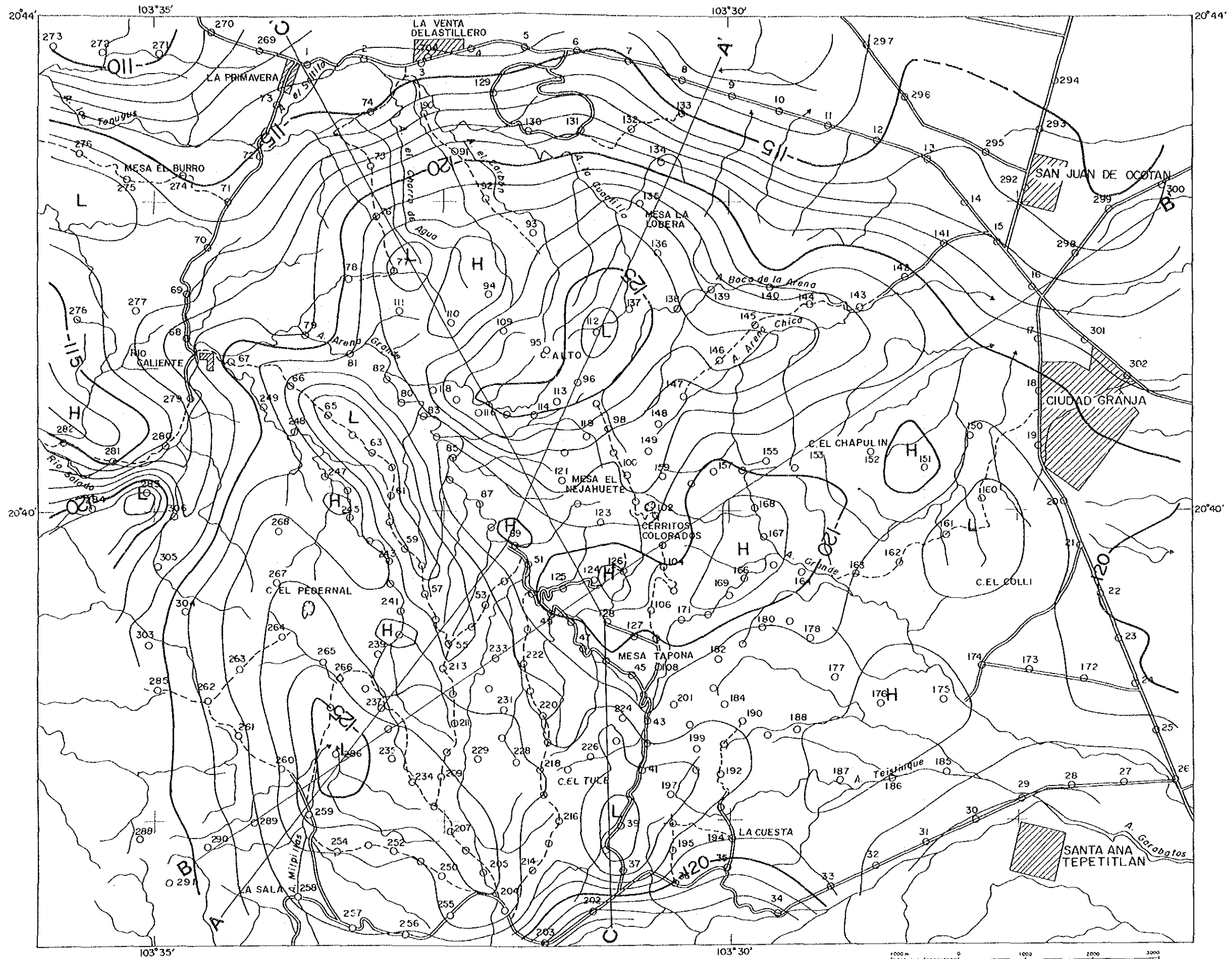


Fig. II. 1-6 Bouguer Anomaly Map ( $\rho = 2.00 \text{ g/cm}^3$ )

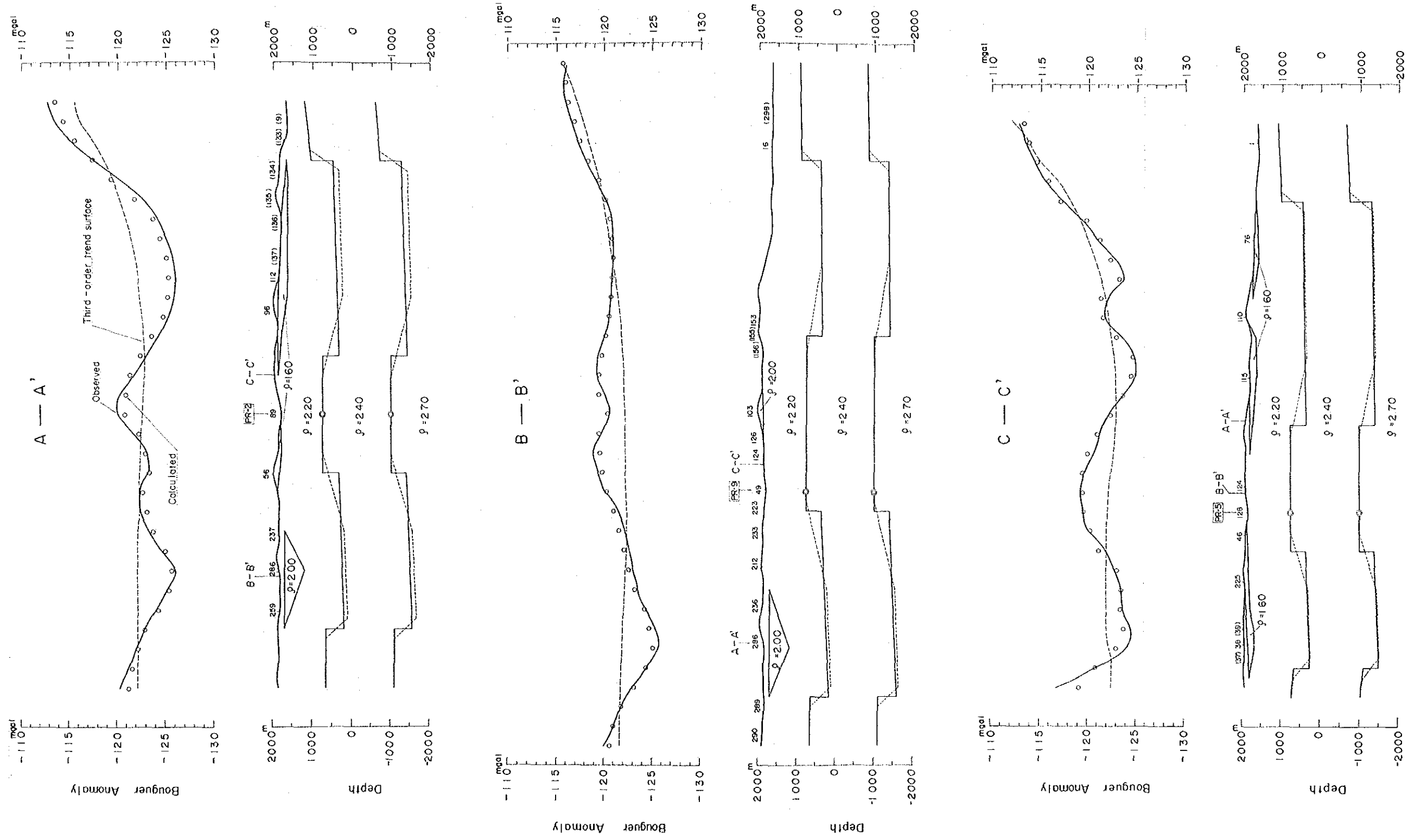


Fig. II. 1-7 Two-Dimensional Gravity Analysis, Lines A-A', B-B' and C-C' are Shown in Fig. II. 1-6



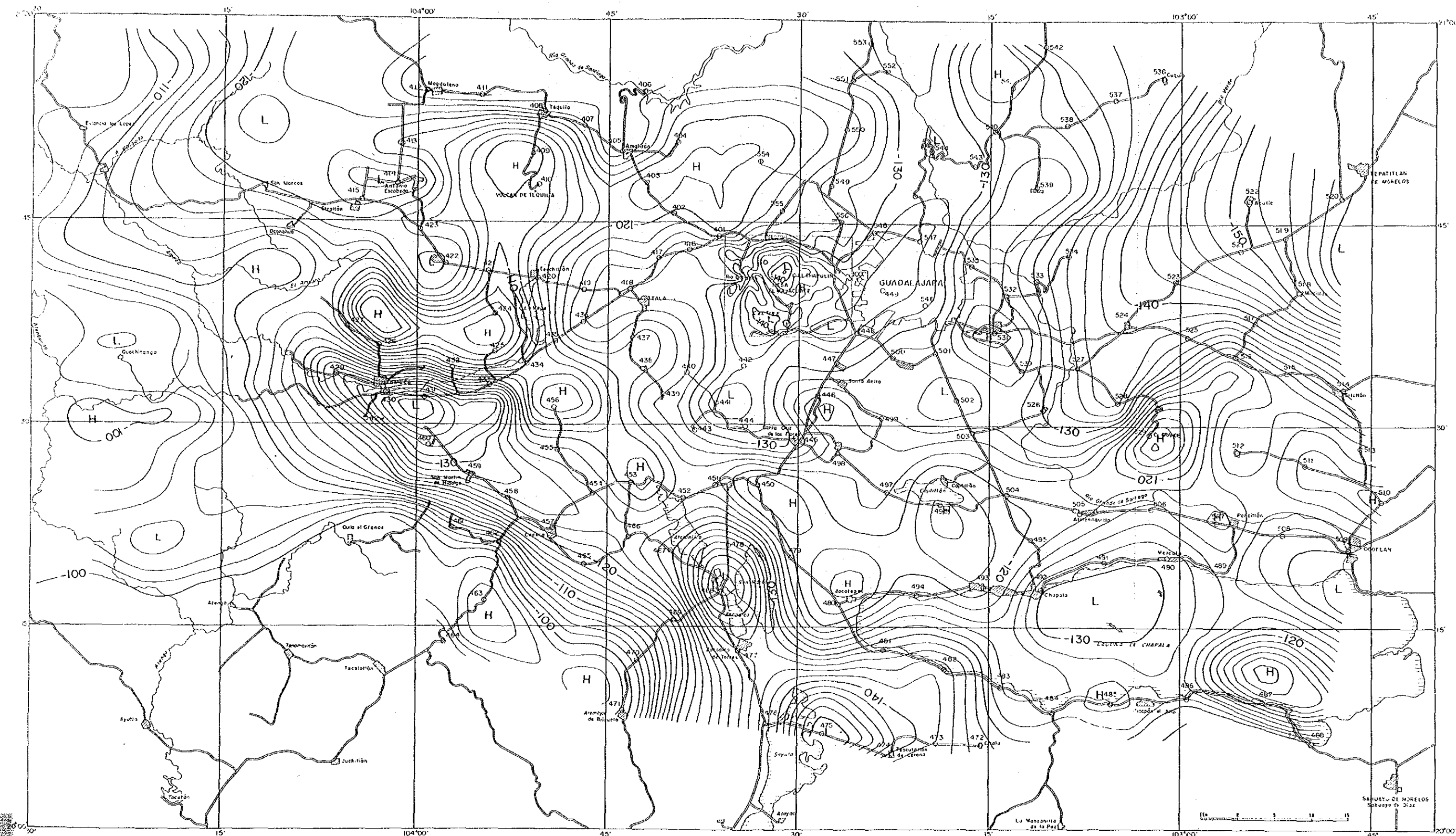


Fig. II. 1-8 Regional Bouguer Anomaly Map ( $\rho = 2.20 \text{ g/cm}^3$ )



#### 1.4 電磁探査

地熱徴候地域の深部までの比抵抗分布および比抵抗構造を明らかにし、地熱貯留層に関する情報を得ることを目的として、リモートリファレンス方式MT法(Magneto Telluric Method、地磁気地電流法)による電磁探査を実施した。

その結果は以下のとおりである。

- ① 今回実施したMT法電磁探査では精度の良い信号がとれ、インバージョン解析による比抵抗・深度曲線も良好な結果となった。これは、本地域は典型的な水平3層構造(浅部から高比抵抗-低比抵抗・高比抵抗)であり、構造指標解析でも一部を除いて1次元構造であることも一つの要因となっている(Fig. 1-9)。
- ② インバージョン後の比抵抗・深度曲線を基に、水平比抵抗分布を描くと、主たる貯留層は5~20 $\Omega$ -mの低比抵抗で特徴づけられ、特に、PR-1~PR-8の南方には、垂直的にのび、up-flowによると思われる低比抵抗異常域も検出された(Fig. 1-10)。
- ③ 比抵抗構造は、深部にいくほどNW-S E性が顕著となるので、本地域の地熱流体の存在はこの方向に規制されていると考えられる。
- ④ インバージョン後の比抵抗、層厚解を連結すると1次元モデル断面図が得られ、さらに、2次元モデル解析も実施された。これらの断面解析によると、②で述べたup-flowがより明瞭になるとともに、蒸気噴出の大きい坑井が低比抵抗帯中に掘削されており、中深度における低比抵抗帯はフラクチャーの卓越した地熱貯留層として注目される。(Fig. 1-11~12)。

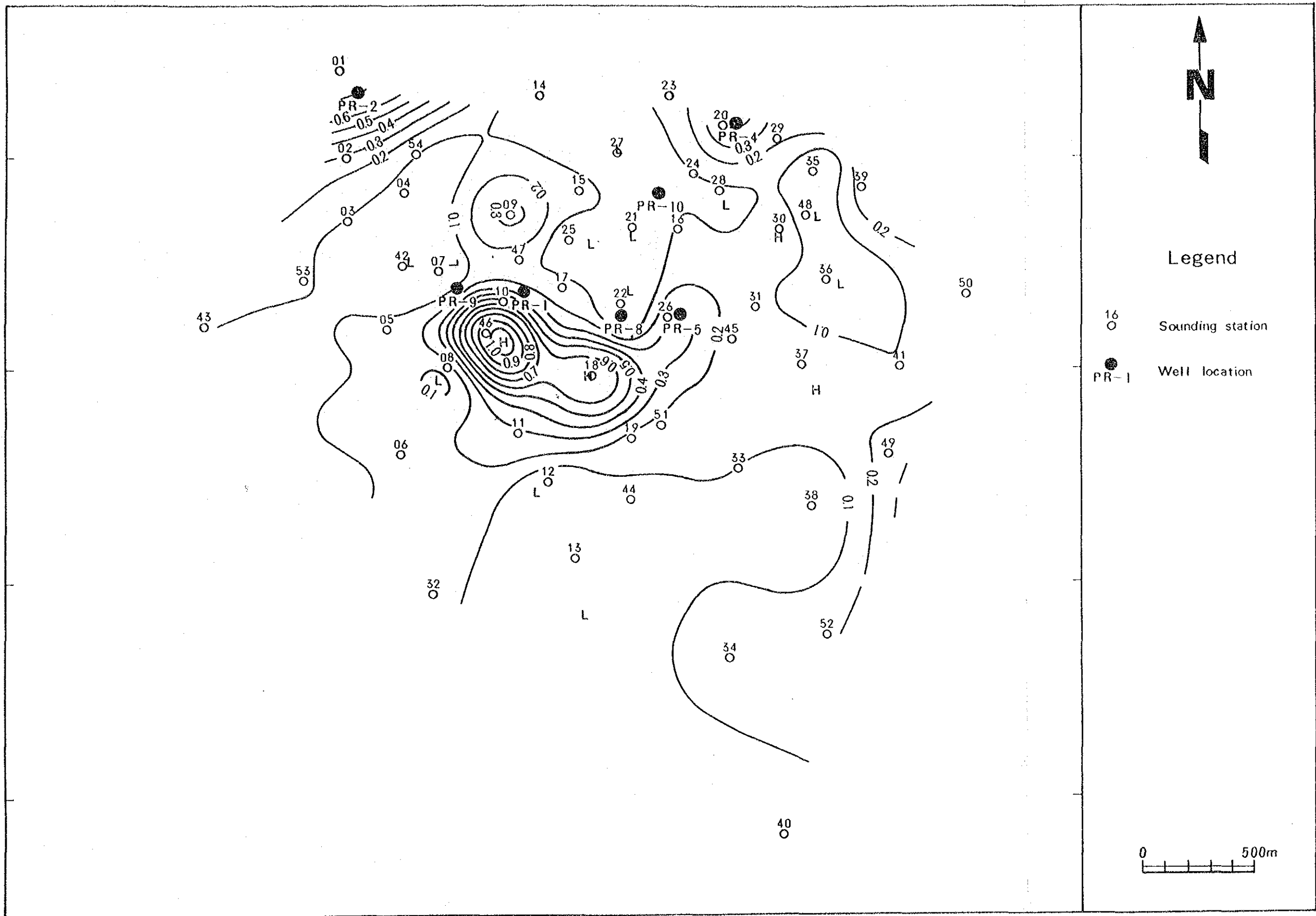


Fig. II. 1-9 Distribution Map of Tipper Magnitude, period=30 sec

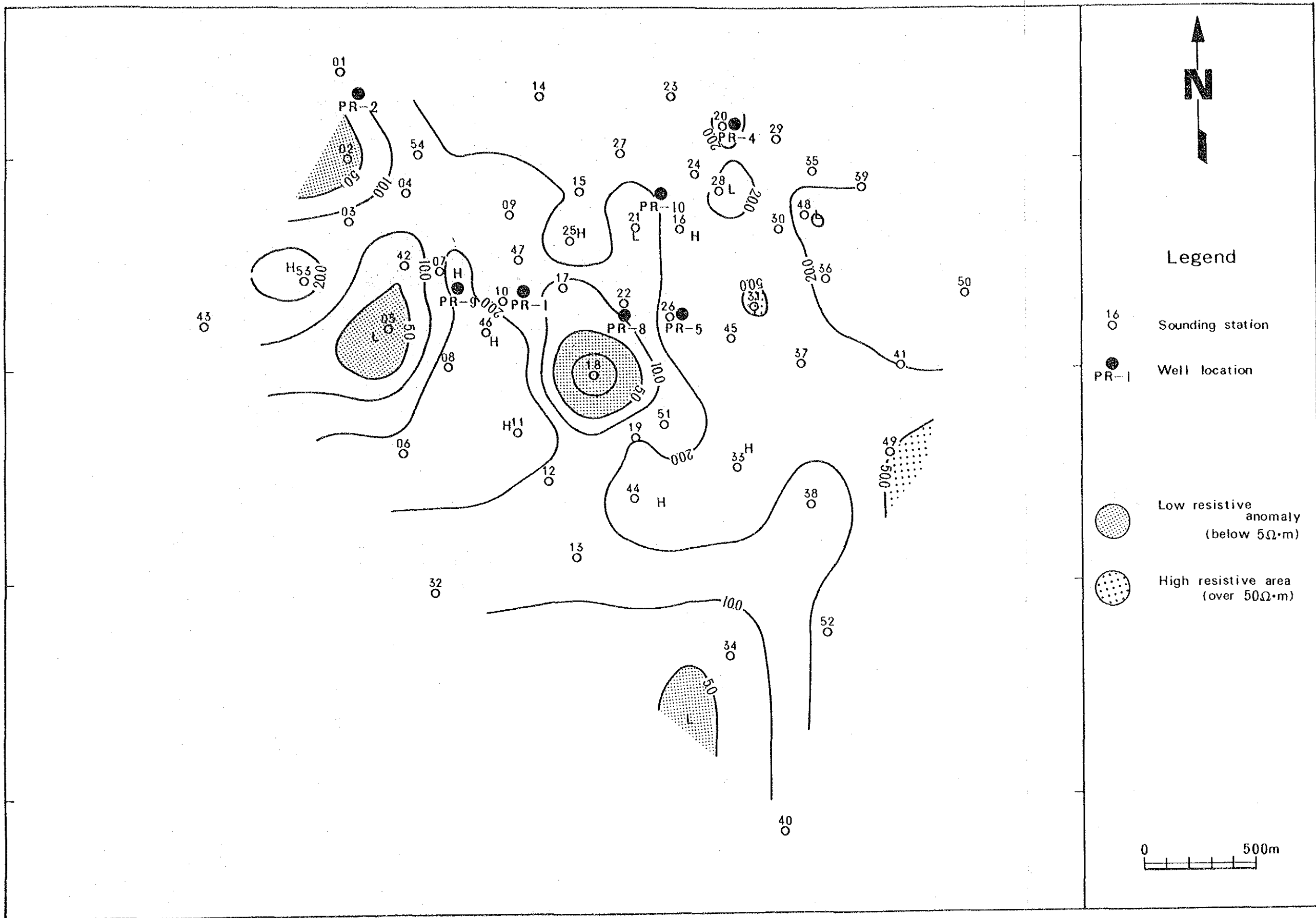


Fig. II. 1-10 Resistivity Map (TE mode; SL -500m)



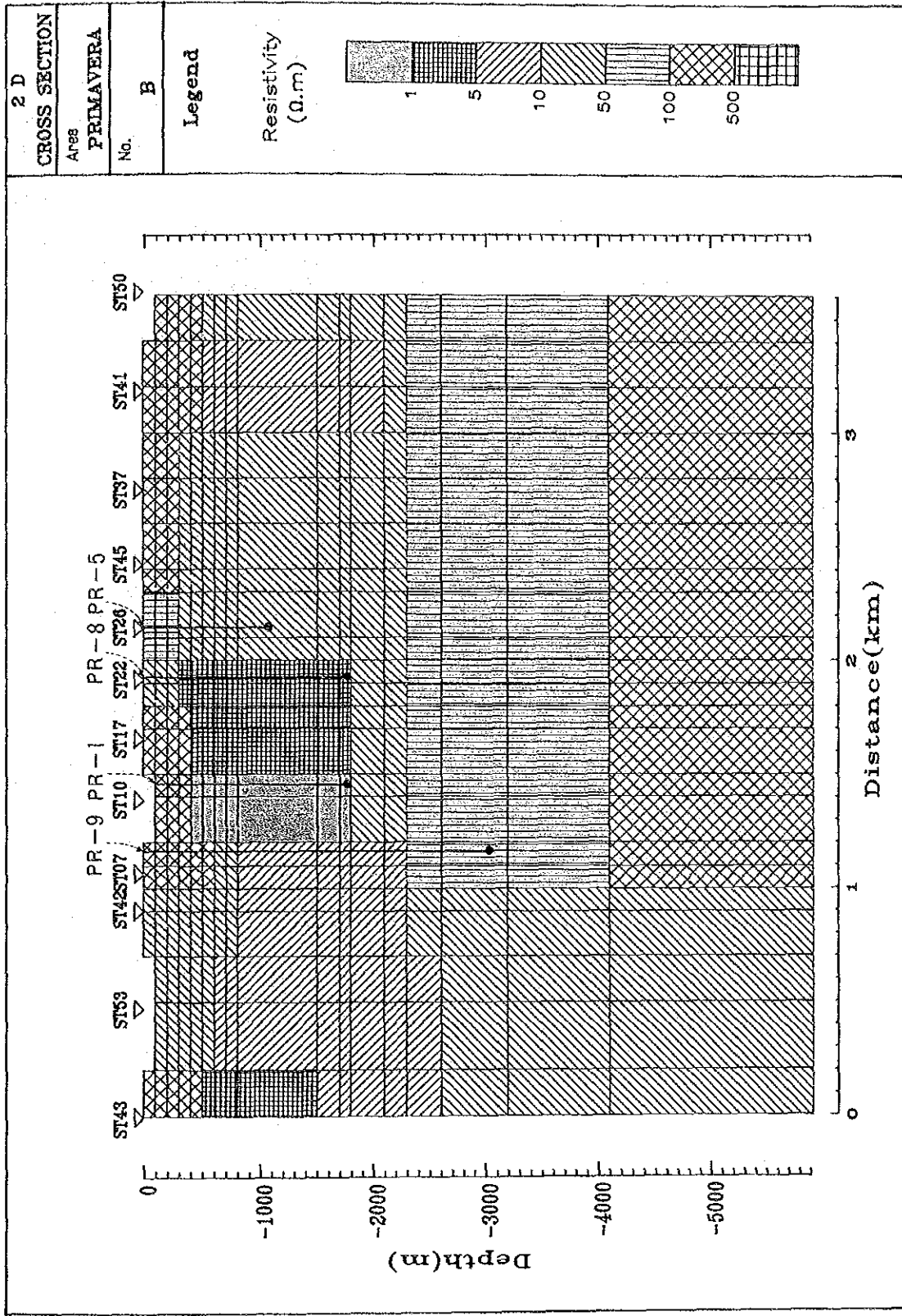


Fig. II. 1-11 2-D Model Cross Section, Line B

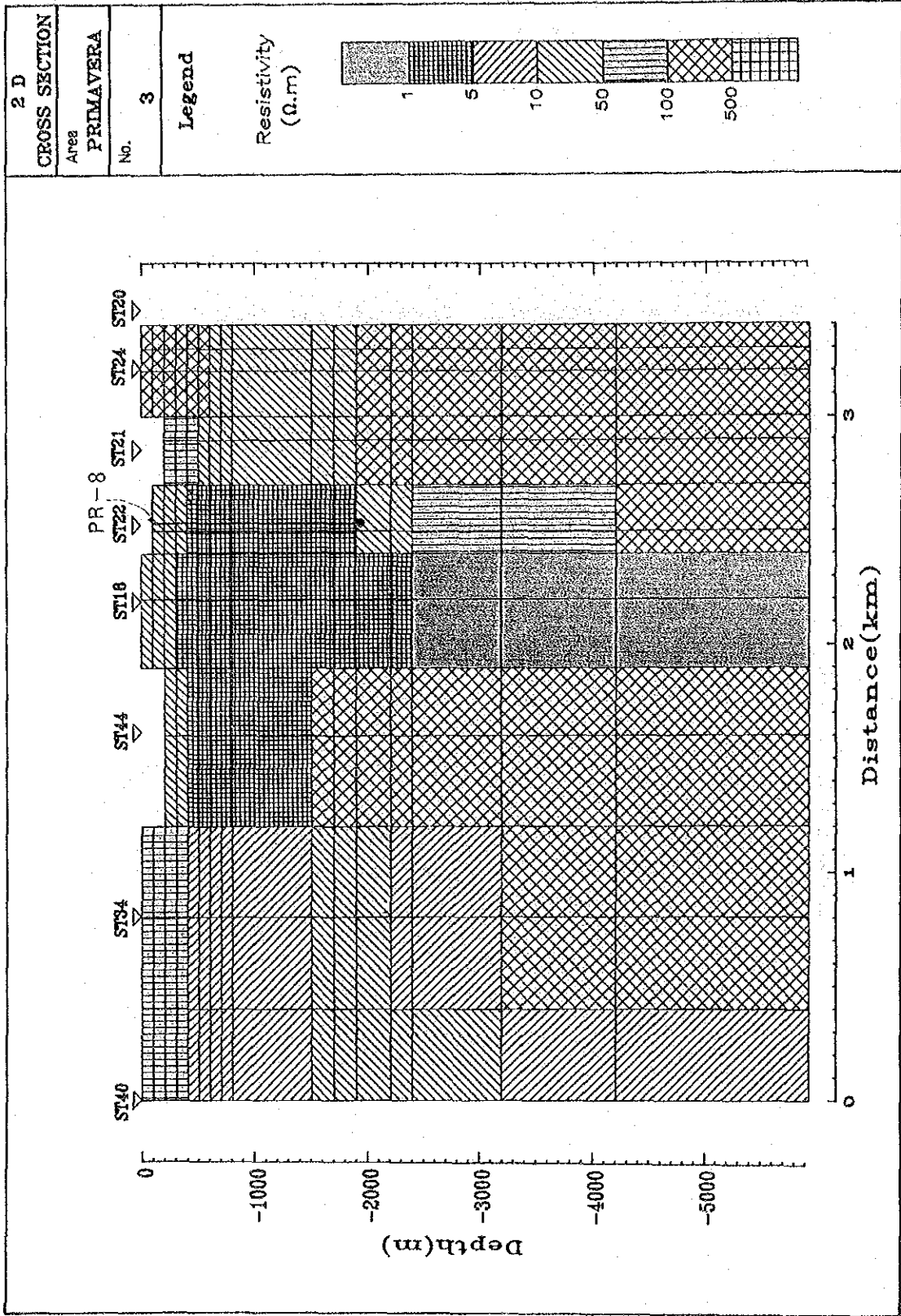


Fig. II. 1-12 2-D Model Cross Section, Line 3



## 1.5 坑井試験

坑井試験では、蒸気の噴出をみたPR-1およびPR-8でプロダクションテストを実施し、坑内温度・圧力を測定し、両坑井の坑井内の状況を明らかにすると共に、坑井周囲の地層の透水量係数の算出を試みた。その結果は以下のとおりである。

- ① PR-1の噴出状態を2段階に変えた条件下での坑井内温度・圧力を測定した結果、 $kh$ は $7.6 \times 10^{-13} (\text{m}^3)$ ときほど大きな値でなかったものの、深度1,800m以深の流体温度は $299^\circ\text{C}$ と高い値を示した。このために、噴気流体は坑井近傍の地層内でフラッシュし、坑井内はすべて2相フラッシュ流となっている(Fig.1-13)。
- ② PR-8については噴出条件を変化させた状態での測定はできなかったが、静止状態の圧力値も加味して $kh$ を求めたところ $2.1 \times 10^{-13}$ であり、深度1,750mでの坑内温度は $231^\circ\text{C}$ であった。この坑井からの噴気流体もPR-1と同様坑井近傍での地層内フラッシュ流である(Fig.1-14)。
- ③ PR-1については、深度1,400～1,450m間に圧力勾配が変化する部分が認められ、PR-8については深度1,750m以深測定機器が降下しなかった状態であった。これらはいずれも坑井内異常(孔明管の影響とか埋没)に起因する可能性が大きい。

PR-1

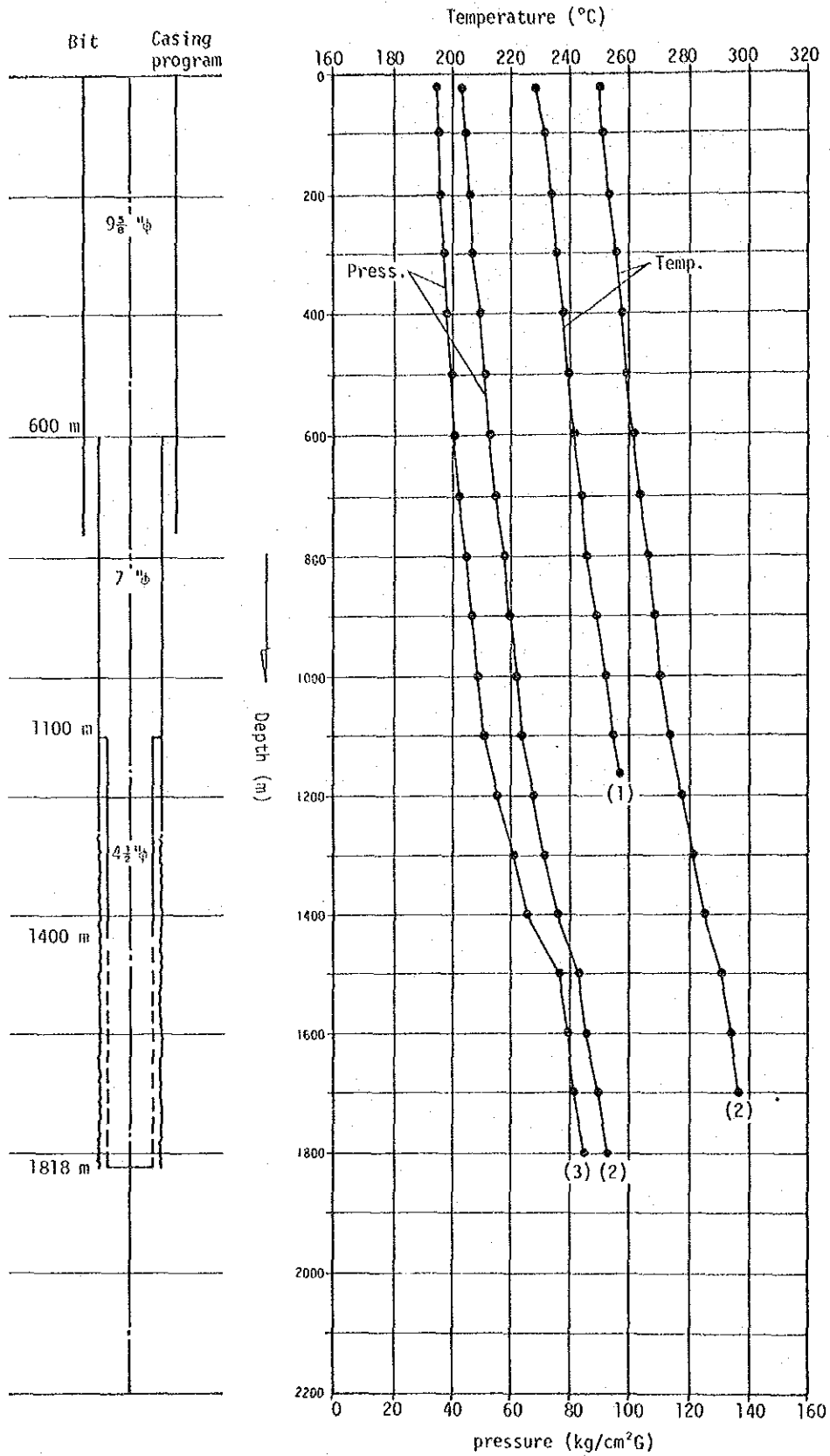


Fig. II. 1-13 Downhole Temperature and Pressure Curves of PR-1 in the Producing Condition

PR-8

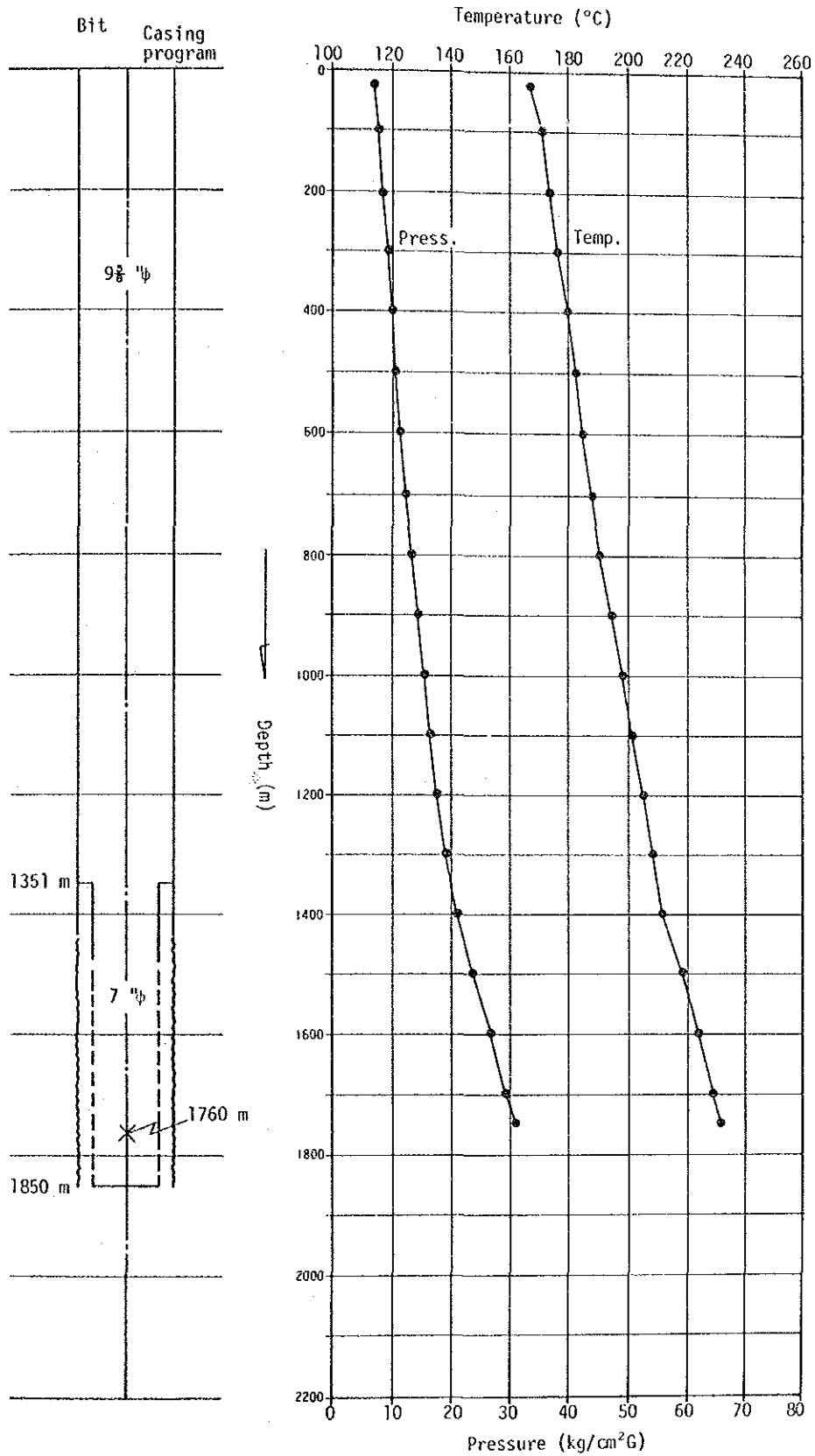


Fig. II. 1-14 Downhole Temperature and Pressure Curves of PR-8 in the Producing Condition

## 第2節 第一次調査によるPR-12井、PR-13井の掘削地点選定

### 2.1 第一次調査による地熱貯留層の解析

本地域の地熱貯留層構造について、貯留層構造の主要素であるフラクチャーと温度に着目し、第一次調査の結果をとりまとめると以下のとおりである。

#### (1) フラクチャーについて

- ① 本地域の主たる貯留層はコルディリェーラン火山噴出物の下部層（安山岩が主体の地層）であり、この層は深度約1,000 m以深、2,800 m以浅に存在する。
- ② 断裂系調査によれば、地表からコルディリェーラン火山噴出物上部層（深度1,000 m位）までは、NE-SW性の正断層がよく発達し、NW-SE性の横ずれ断層によって切られている。これらの断層はカルデラ形成後の隆起に伴って形成されたもので、隆起の中心は古応力場の復元や引張りフラクチャーの観察によりPR-1～PR-8井周辺と想定された。

地表でみられる酸性変質帯の方向、土壤水銀の高濃度分布の方向および高重力異常方向も上記NE-SW性の断層と調和している。

- ③ ②で述べた断裂系が地下のどの辺まで延長できるかを、コアの残留磁気測定とフラクチャー観察によって応力場を復元して検討した結果、地下1,000 m程度までは地表でうけた応力場と調和的な応力場を示すことから、コルディリェーラン火山噴出物上部までは延長できると判断された。
- ④ ところで、本地域の主たる貯留層であるコルディリェーラン火山噴出物下部層のフラクチャーの性格については、地熱徴候地域の地表調査だけではわからない。そこで、電磁探査によるこの層準での比抵抗構造を検討すると、低比抵抗帯がNW-SE性を示すことが明らかになった。

この方向性は、シェラ・ラ・プリマベラカルデラ周辺に露出するコルディリェーラン火山噴出物下部層にNW-SE性のフラクチャーが発達している事実や広域重力探査においてNW-SE性のブーゲー異常が卓越していることと調和的である。したがって、PR-1やPR-8の主流入点はこのようなフラクチャーによるものと推定された。

以上①～④でとりまとめたように、地下1,000 m程度までのフラクチャーはNE-SW性であるのに対し、1,000 m以深ではNW-SE性のフラクチャーが卓越する。このようなフラクチャー群は、シェラ・ラ・プリマベラカルデラ形成後の uplift

(カルデラ形成で陥没した基盤岩類がその後再び隆起する現象)で形成されたものであり、upliftの中心部はPR-1、PR-8付近に位置することが明らかとなった。温泉、噴気孔、変質帯等の地熱徴候は浅部のNE-SW性の断層に伴うものであり、PR-1、PR-5、PR-8の地下深部の逸泥はNW-SE性のフラクチャーに伴って生じたものである。また、NW-SE性の深部フラクチャーは、upliftの影響を直接受けるために高角の引張りフラクチャーになりやすい。

また、地表でみられるNW-SE性の断層はこの深部フラクチャーと違う性質のフラクチャーであり、両者が連結しているかどうかは不明であった。

## (2) 地下温度について

- ① カッティングスを用いた流体包有物の最低充填温度測定結果によるとPR-1～PR-8付近に300℃近くの高温のup-flow帯が認められ、当地域の地熱流体はこの付近の地下深部から上昇していることがわかった。

また、PR-1、PR-8についての地化学温度計を検討すると、Na-K-Ca温度が妥当であり、PR-1では約300℃、PR-8では約280℃と推定された。

- ② 一方、PR-1、PR-8の坑井試験によると、両坑井ともに噴気流体は坑井近傍の地層内でフラッシュし、坑井内では二相フラッシュ流であることも判明した。さらに、坑井の段階的圧力測定から坑井周辺の透水量係数を算出したところ両坑井ともに $10^{-13}$  (m<sup>3</sup>)オーダーの値となり、透水性が良いとはいいがたい。しかし、透水性が大きくないにも拘らず優勢な蒸気が得られているのは高温のためと推定された。

- ③ PR-1, 2, 4, 5, 8のCl-エンタルピー、Cl-B同位体組成およびガス比を検討すると、高温の流体はPR-1付近から上昇し、PR-8→PR-5の方向に流動し、さらに、NE-SW性の断層に沿ってPR-4の方向へ流れながら、徐々に地表水の影響を受けていくという機構が推定された。

なお、PR-2の熱水はこれとは別の機構で生じた独立の貯留によるものと考えられた。

以上のように本地域ではuplift帯とup-flow帯とはともにPR-1、PR-8付近にあり、いわゆるタテ型の貯留層を形成しているものと考えられた。この事は、電気探査(MT法)の低比抵抗帯がPR-8の南、測点18の地下において、垂直的に深部まで延びていることから支持された。

### (3) 地熱貯留層の拡がり

2.1で述べたように、本地域の主たる貯留層のフラクチャーはNW-S E性であり、uplift帯とup-flow帯が一致した縦型貯留層である。したがって、貯留層の拡がりを把握するには、NW-S E性フラクチャーの延びと地下温度分布を考えればよいことになった。これらを把握する情報としては次のようなものがあげられた。

- ① 電磁探査によれば、地熱貯留層は中深度の低比抵抗帯で特徴づけられ、50-m以下であればPR-1~PR-8を中心として南北に幅1.5 km、東西に幅約1 kmの範囲に限られる。
- ② 地表およびコア調査によって古応力場を復元すると、upliftを反映した応力背斜軸はPR-1の北側を通りNW-S E方向になる（Fig. II. 2-1参照）。この軸はPR-1を中心として長さ約2 kmに達する。
- ③ 坑井の掘削結果によると、PR-10はPR-8の北方約600mの地点で深度1,250 mまで掘削されたが、坑内温度は最高144℃であるとの報告がある。
- ④ PR-2から噴出する熱水の化学性状は他の坑井のものとは異なり独立した貯留層によるものと考えられている。

以上①~④から貯留層の拡がりを推定すると、

北はPR-10付近まで（上記①，③の結果から推定）

南はPR-8の南約1 kmまで（上記①の結果から推定）

東はPR-1の東約1 kmまで（上記②の結果から推定）

西はPR-2の手前まで（上記②，④の結果から推定）

となった。このように縁辺部を区切り、かつ、貯留層の主たる方向性をNW-S Eと考えると、NW-S E方向に約2 km、NE-S W方向に約1.5 km、面積が約3 km<sup>2</sup>の貯留層が考えられた（Fig. II. 2-2）。しかし、この想定は今後の坑井掘削やシミュレーションによる貯留層評価によって変更されるべきものである。いずれにせよ、本地域の貯留層はPR-1~PR-8付近を中心とした縦型の貯留層で、その延びはNW-S E方向であり、このゾーンからはずれると、温度もフラクチャーにも恵まれなくなると考えられた。

以上の地熱貯留層の概念図をFig. II. 2-1に示す。

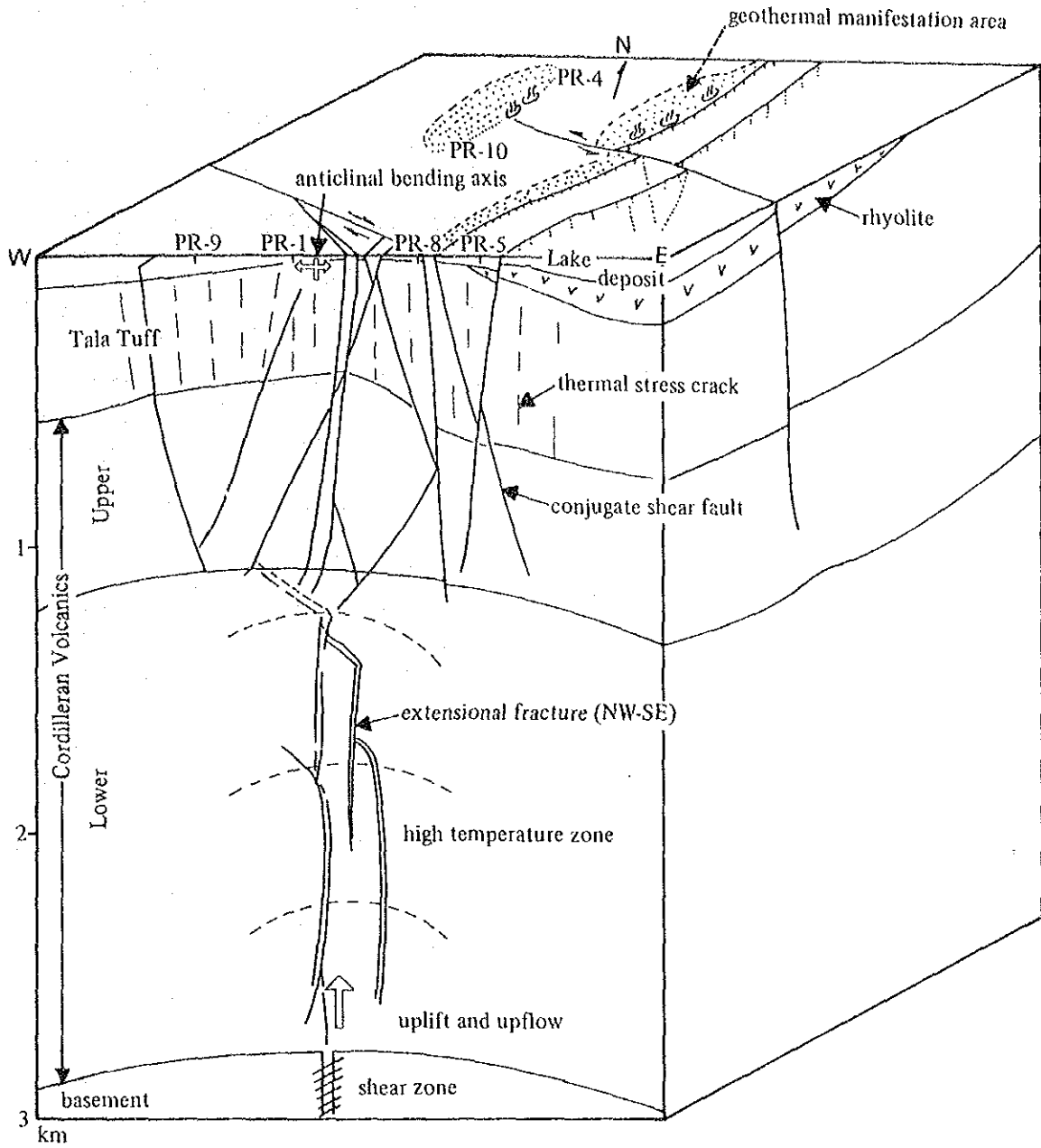


Fig. II. 2-1 Conceptual Geothermal Reservoir Model in the La Primavera

## 2.2 第一次調査による調査井の掘削地点選定

### (1) 掘削地点選定の基本的な考え方

ラ・ブリマペーラ地熱地域において、第一次調査として地質調査、地化学調査、重力探査、電気探査（MT法）および坑井試験を実施した結果、地下1,000m位までのフラクチャーはNE-SW性の正断層系が主体であり、変質帯調査、土壤水銀調査、塩素濃度・エンタルピー相関図および重力探査等から得られたNE-SW性の構造方向と一致する。一方、地下1,000m以深のフラクチャー・パターンは、“基盤岩類”や第三系の構造解析および電気探査（MT法）による低比抵抗帯の方向からNW-SE性の高角フラクチャーと推定された。このようなフラクチャー群は、シェラ・ラ・ブリマペーラカルデラ形成後のupliftで形成されたものであり、upliftの中心部はPR-1、PR-8近傍に位置することが判明した。

流体包有物の最低充填温度、地熱井の流体の化学性状調査およびPR-1、PR-8の坑内温度測定の結果によれば、高温のup-flow帯もまたPR-1、PR-8の近傍にあり、本地域では、uplift帯がup-flow帯にはほぼ一致した縦型の貯留層となっている。

この縦型貯留層を評価し、発電開発規模を策定するためには、さらに2本の調査井（深度2,000m）をこのup-flow帯に掘削する必要があるため、この調査井のターゲットを2地点選定した。このうち1本は、昭和61年度に予定していた深度750mの温度調査孔3本に代るものであった。すなわち、従来の計画によれば、昭和61年度にCFEが深度750mの温度調査孔3孔を掘削することになっていたが、

- ① 昭和60年度の調査によって、地熱流体のup-flow帯が明らかになったこと。
- ② CFEによって深度600～3,000mの坑井が既に7本掘削され、熱的広がり把握されていたこと。
- ③ 深度700mまでは、逸泥が多発するTala Tuffが堆積しており深度750mの温度調査井を掘削しても貯留層の熱流量が把握しにくかったこと。

などのため、温度調査孔を掘削するよりは、むしろup-flow帯にむけ調査井を掘削することが重要であるという結論に達した。

それまで、フラクチャーの発達したup-flow帯に掘削された坑井はPR-1とPR-8のみであり、他の坑井（PR-2、5等）はこのup-flow帯からはずれた場所に掘削されていた。本地熱開発計画調査の目的の一つである発電開発規模を策定するためには、まず、up-flow帯の規模を把握する必要があると判断された。この場所に調査井を掘削し、



貯留層評価のため有効な資料を収集するのが、調査井掘削の目的とされた。

## (2) ターゲットの選定

上記の目的に沿い、昭和61年度以降掘削する調査井のターゲットとして2地点(A及びB点)を設定した。

選定に当っては、

- ① PR-1、PR-8 および今回の2本の調査井の掘削により開発可能範囲の設定が可能になる。
- ② さらに4本の調査井から得られた資料に基づき、貯留層の評価、地熱発電開発規模についての具体的な解答が求められる。

ことを目標とした。

このためには、開発範囲を把握する上に必要な地点であること、高温流体を含むフラクチャーに富む地点であることが必要な条件となった。

A、B2地点の位置をFig. II. 2-2に示すが、各点の選定理由は次の通りであった。

### A、B点共通の理由

- ① 開発可能範囲を把握する上に必要な地点である。
- ② いずれにもup-flow帯(250℃以上)の中に入る。
- ③ 深部フラクチャーの発達の可能性大きい。

### A点選定の理由

- ① 地表の断層分布から推定された地壘(断層に挟まれた部分が高まっている構造)上にあり。
- ② かつ、引張りフラクチャーが発達している部分

### B点選定の理由

- ① MT法の低比抵抗異常帯に入る。
- ② uplift帯の背斜状曲げの軸部近くに位置する。
- ③ かつ、巨大軽石層の隆起部に当る。MAHOOD(1980)は巨大軽石層基底の構造等高が本地域中央部で最も高いことを指摘しているが、これは、カルデラ形成後のinsurgent upliftの頂部がこの付近に位置していることを示す。

掘削ターゲットを選定するに当り、CFEでは地表で見られる特定の断層をそのまま地下深部まで延長して、その断層をねらうという方式を採用しているが、この方式は断層の規模が大きいかつ、地表から地下深部まで同質の地層から成っている場合には有効であ

る。しかし、本地域のように、地表と地下深部とでは構成地層が異なると、フラクチャーの方向性や性質が異なるし、地下深部における高温高圧のためにフラクチャー自体も変化する。したがって、本地域では、特定の断層に注目する方式よりも、各調査結果を総合的に解釈して深部フラクチャー発達部分にターゲットを設定する方法の方がより良いターゲット設定方法と考え、ターゲットの選定を行った。

A点は、PR-1と約200m、PR-8と約250m、B点はPR-1と約300m、PR-8と約270m離れている。A・B点ともup-flow帯内にあり、地下深部から流体が供給されているので、生産井どおしのとりあいの懸念はないと考えられた。

### (3) 調査井の調査計画

(2)に述べたA、B2地点について実際に現地にて踏査し、調査計画を立案した。

PR-12：A点を現地で確かめたところ、地形的に平坦な部分はA点より若干南に位置するので、ここをPR-12の坑口と設定した。本坑井は垂直井深度2,000mでその後CFEにより掘削された。坑井の仕様はFig. II. 2-3、坑井調査計画はTable II. 2-1のようになった。

PR-13：B点を現地で確かめたところ、地形的にけわしい場所であり、rigの立つスペースがないことが判明した。そこで、次にこのB点を、PR-5やPR-9からのサイドトラック、PR-8敷地からの傾斜掘りを考えたが、メキシコでの傾斜掘りは不可能であるとの結論に達した。したがって、B点を変更し、B点の選定理由のうちの①MT法低比抵抗異常帯を尊重し、B点の南西約150mの点をPR-13の坑口と設定した。本坑井は垂直井深度2,000mでその後JICAの管理、財政支援の基に掘削された。坑井の仕様はPR-12と同じで坑井調査計画はTable II. 2-2のようになった。

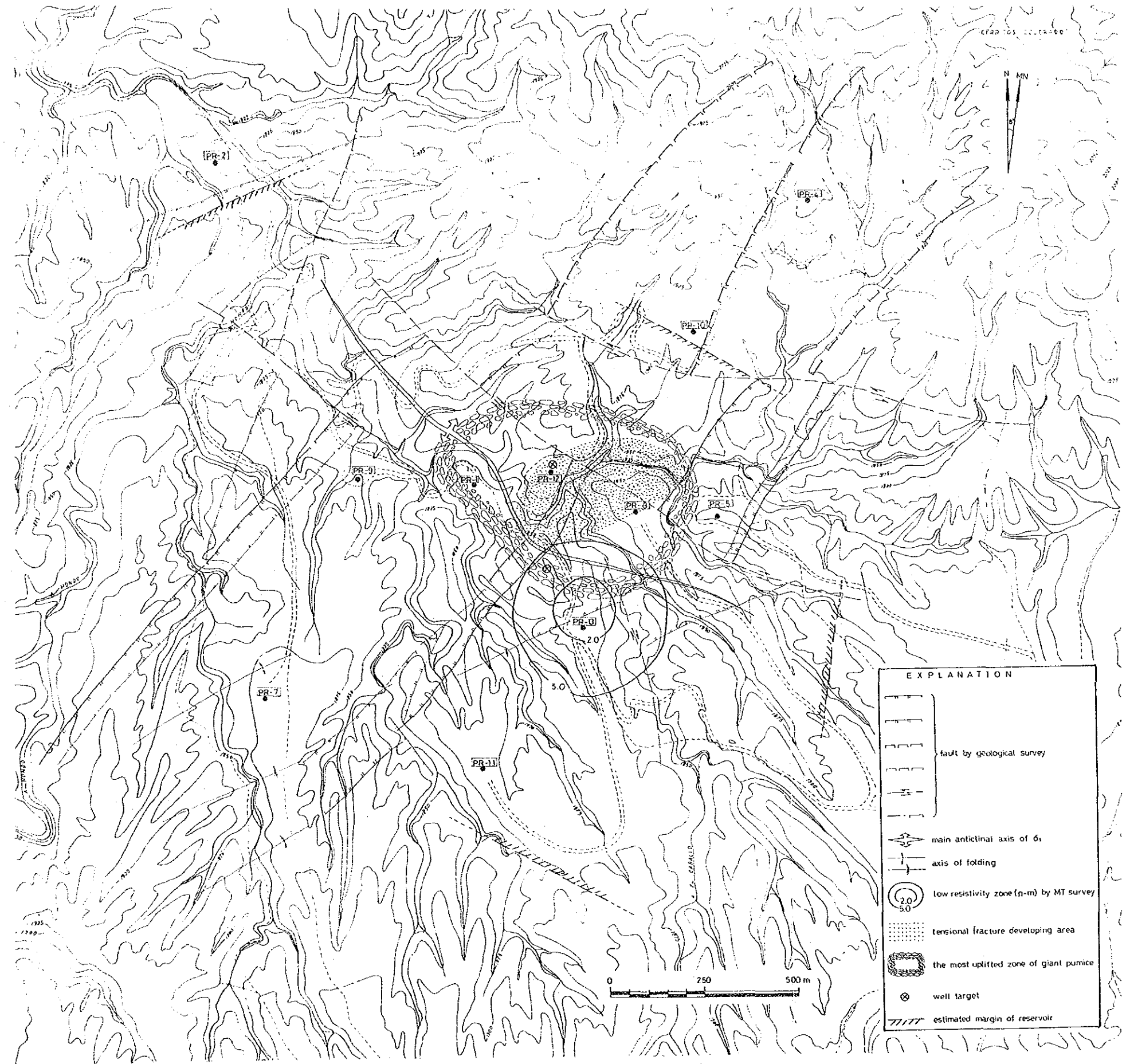


Fig. II. 2-2 Selection of Well Target of PR-12 and PR-13



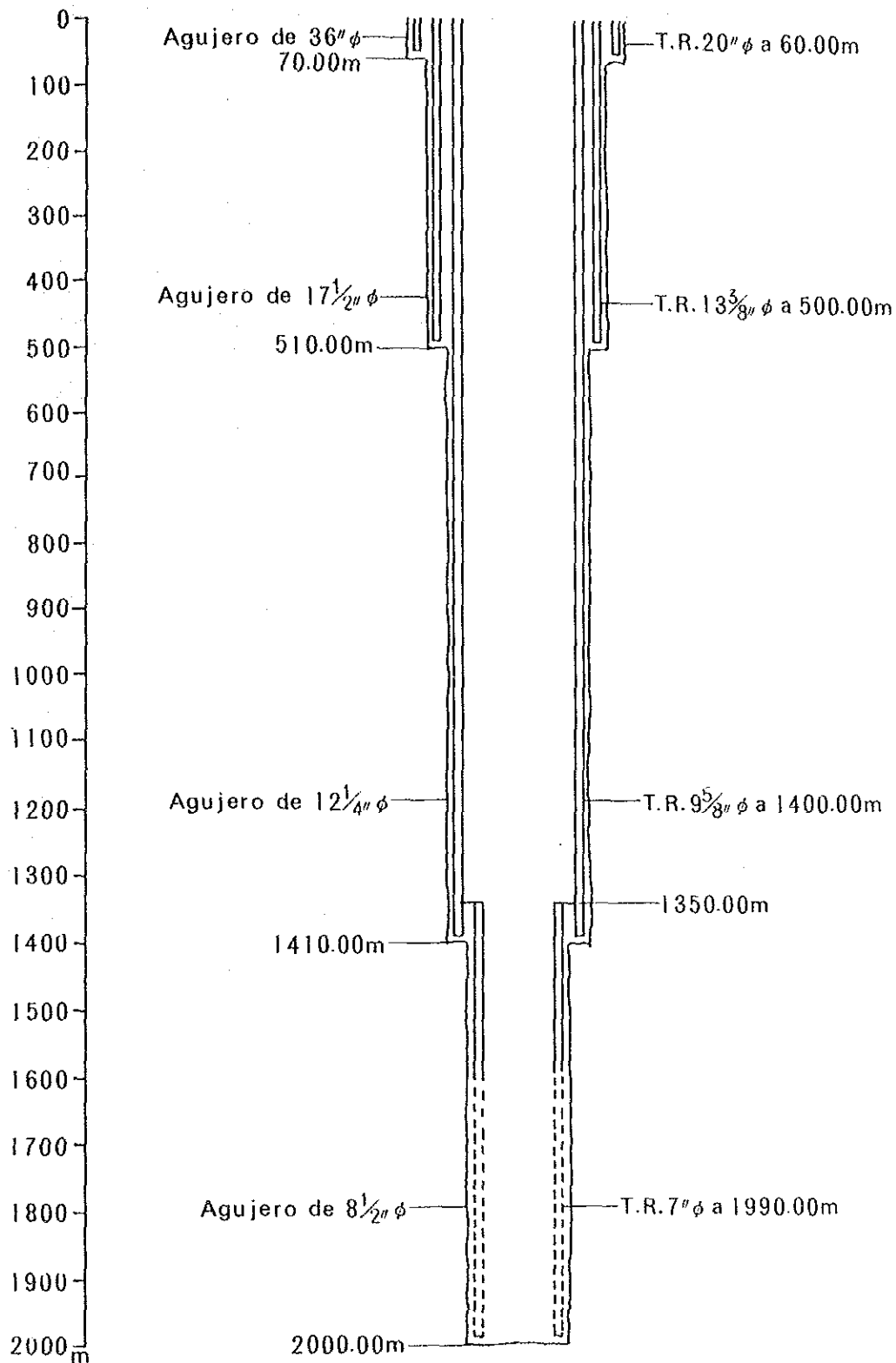


Fig. II. 2-3 Well Layout of PR-12 and PR-13

**Table II. 2-1 Respective Undertaking for an Exploration Well PR-12**

JICA	CFE
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determination of the well position and completion depth</li> <li>2. Analysis of fluid inclusion, X-ray and Hg, As concentration of cuttings</li> <li>3. Physical property and fracture analysis of cores</li> <li>4. Chemical analysis and geophysical test of wellbore fluid which will carry out after the finish of PR-12 well.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Drilling works</li> <li>2. Core sampling at 1,400, 1,700 and 2,000 m (each 1 ~ 3 m long of core)</li> <li>3. General geological survey</li> <li>4. Downhole temperature and pressure logging</li> <li>5. Measurement of physical characteristics of geothermal fluid</li> </ol>

**Table II. 2-2 Respective Undertaking for an Exploration Well PR-13**

JICA	CFE
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determination of the well position and completion depth</li> <li>2. Supervision of the drilling work</li> <li>3. Payment of the contract value</li> <li>4. Analysis of cuttings and cores</li> <li>5. Chemical analysis and geophysical test of wellbore fluid together with PR-11</li> <li>6. Analysis and evaluation of the results</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Drilling works</li> <li>2. General geological survey</li> <li>3. Downhole temperature and pressure logging</li> <li>4. Measurement of physical characteristics of geothermal fluid</li> </ol>

### 第3節 第二次調査

#### 3.1 PR-12井の掘削および調査結果

##### (1) 調査概要

PR-12井は前節で選定したターゲットをねらい、昭和61年9月13日からCFEにより掘削された。掘削は昭和62年1月17日深度2,303mで終了した。この掘削中の逸泥調査、地質調査、検層およびその後JICAによって実施されたコア・カッティングス調査、化学性状調査、坑井試験等の結果をとりまとめるとFig. 3-1のようになる。

PR-12井の調査結果は以下のとおりである。

- ① 逸泥は、深度471m以浅、1,182m、2,015m、2,156mで顕著なものが認められた。深度471m以浅の逸泥はタラ凝灰岩中の節理や引張りフラクチャー、1,182mの逸泥はLos muertos断層、2,015および2,156mの逸泥は背斜軸部の縦型フラクチャーによるものと考えられる。
- ② カッティングスのHg, As化学分析を行ったところ、深度2,000m以深に濃度の高い部分が認められた。これらは2,015m以深の逸泥に対応している。
- ③ カッティングスのX線回折分析によると、本坑井の坑底までモンモリロナイト、セリサイトが認められ、深度1,650mで濁沸石が認められた。これらの鉱物の生成温度は250℃以下で安定なので、現在の地層温度(320~330℃)よりも約80℃低い。すなわち、変質時期から現在にかけて地層温度が上昇したことを示している。
- ④ 流体包有物の物質化温度は静止温度検層値とほぼ一致していて、1,000m以深で275℃以上になる。
- ⑤ 坑井から噴出する流体の化学性状調査を実施し、He, Ar, N<sub>2</sub>ガス比およびCl-エンタルピー図による考察を行うと、PR-12の流体は本地域で最も深部熱水に近い値をとる。このことはPR-12がup-flowの中心部に位置していることを示す。
- ⑥ 地化学温度計のうちNa/Kによるものが、静止温度検層値に最も近く、320~330℃を示す。
- ⑦ 噴出状態における坑井試験を実施した結果、深度2,020m以深測定器が降下できなかった。この事は坑底には約300mの埋没があることを示し、この埋没のため噴出流体温度は220℃と地層温度よりも約100℃低く、かつ、 $kh = 2.7 \times 10^{-13} (\text{m}^3)$ と低い。

- ⑧ 坑井内は2相フラッシュ流を呈し、流体は坑井周囲の地層内でフラッシュしている (Fig.1.3-2)。

PR-12はJICAの第一次調査の結果を基にターゲットが選定されたので、掘削前の予測と掘削結果の比較を行った。次に、その対比と本坑井の坑井能力について述べる。

(2) ターゲット選定理由および掘削結果

PR-12のターゲットを決定した理由は、次の5点であった。

- ① 開発可能範囲を把握する上に必要な地点である。
- ② 250℃以上のup-flow帯の中に入る。
- ③ 深部でフラクチャーが発達している可能性が大きい。
- ④ 地表の断層分布から推定された地盤上にある。
- ⑤ 引張りフラクチャーが発達している。

これらの理由に対し、PR-12を掘削した結果は以下のとおりである。

- ① 後述するように、掘削結果はフラクチャー、温度ともに良好であり開発範囲には勿論含まれる。
- ② 温度測定、流体包有物の均質化温度および地化学温度計のいずれもが300℃以上を示し、特にHe/ArやCl-エンタルピー等の化学性状からするとPR-1よりも本質的な深部熱水に近く、up-flowの中心に位置していた。
- ③ 深度1,700m以深において2,015m、2,156mに逸泥があり、これがフラクチャーであることはカッピング中のHg・As濃度や静止温度曲線が対流型を示すことから支持された。
- ④ Figs 1.1-8 および 1.1-14によれば、PR-12の部分が最も隆起している (upliftの中心) ことが明らかとなった。
- ⑤ Figs 1.1-8 および 1.1-16(b)に示すように、PR-12のフラクチャーは背斜軸部に発達する縦型引張りフラクチャーであることが推定された。

以上のように、ターゲット決定時の選定理由はすべて満足した結果となった。そこで次に本坑井の能力について考察する。



### (3) PR-12の坑井能力

坑井試験を実施した時の測定値をTable II.3-1に示すが、ここに示された値を基に、流体が等エンタルピー変化をするものとして、本坑井の坑口での坑井能力を求めた。その結果を流量-坑口圧特性としてFig.II.3-3に示す。この図によると坑口圧 $7\text{ kg/cm}^2\text{G}$  ( $8\text{ ata}$ )で $25\sim 26\text{ t/h}$ の蒸気量が得られることになる。

しかし、次のような状況から考えると、本坑井の能力は現状でも坑口圧 $7\text{ kg/cm}^2\text{G}$ で $30\text{ t/h}$ 以上、もし、埋没部分を浚渫すればPR-1やPR-9程度になるものと期待される。

- ① Table II.3-1からわかるように噴出時間が経過するにつれて乾き度が増している。このことは測定が温度回復途中であることを示す。
- ② 噴出を継続すると埋没ざくが次第に放出されてきており、これが透水性の増加（流体温度の上昇）になっている。
- ③ 元来、本坑井の流入点での地層温度は $330^\circ\text{C}$ を超えており本地域内ではPR-1、PR-9に匹敵する高温地帯である。また化学性状調査によれば本質的な深部熱水に最も近い。このような状況にも拘らず流体温度が $220^\circ\text{C}$ と低いのは坑内埋没による透水性の低下に起因している。

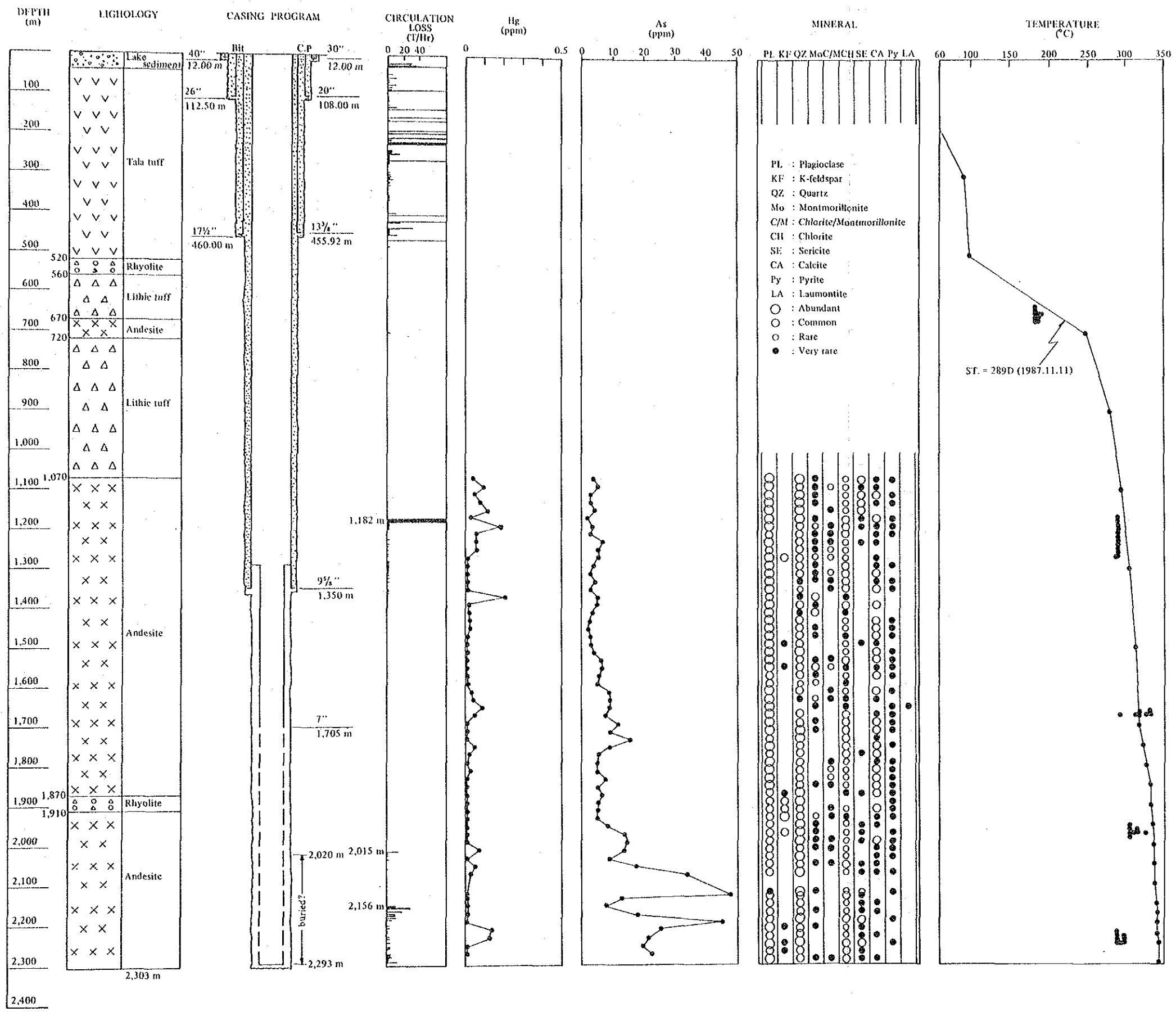


Fig. II. 3-1 Integrated Column of PR-12



PR-12

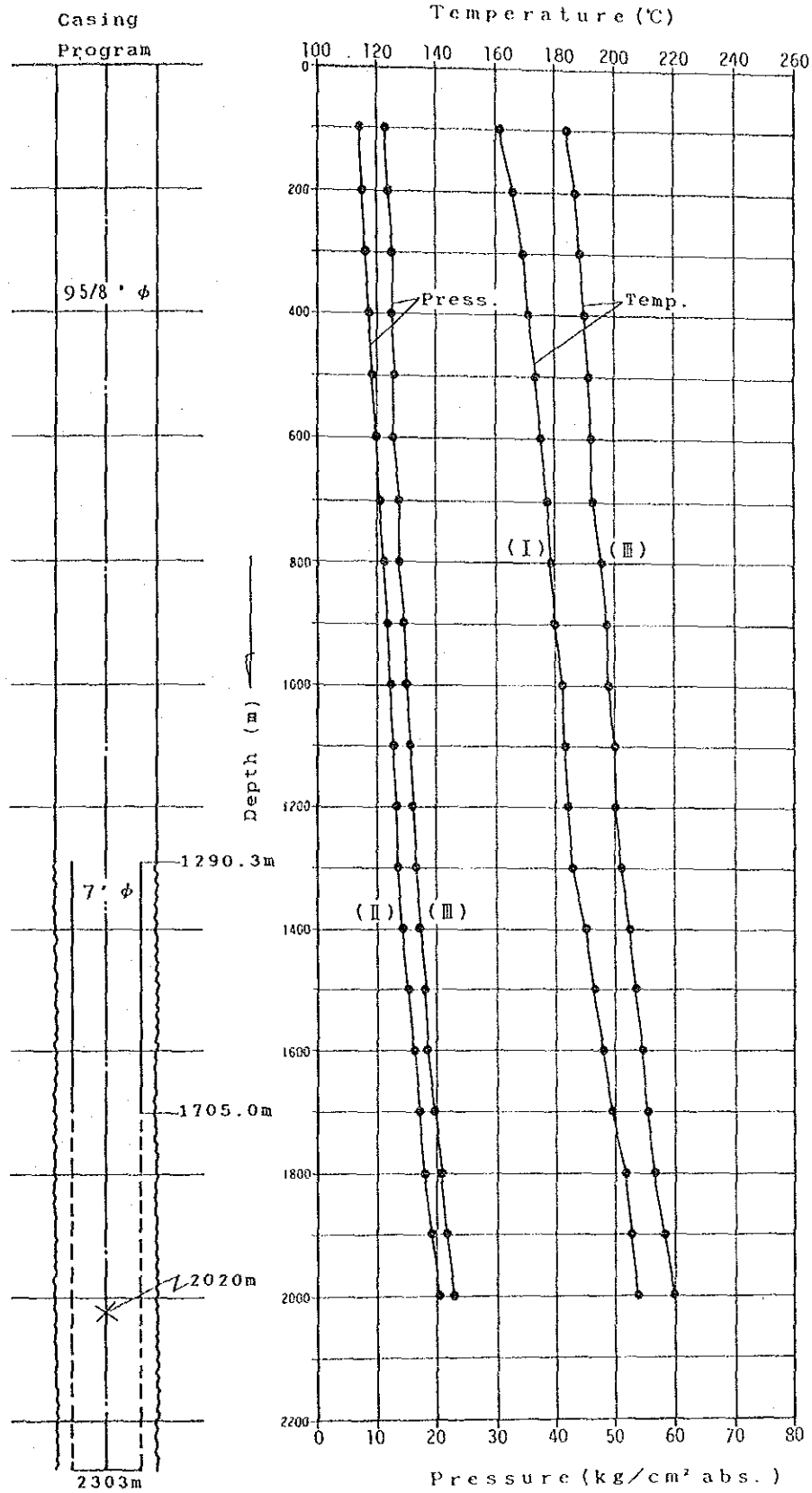
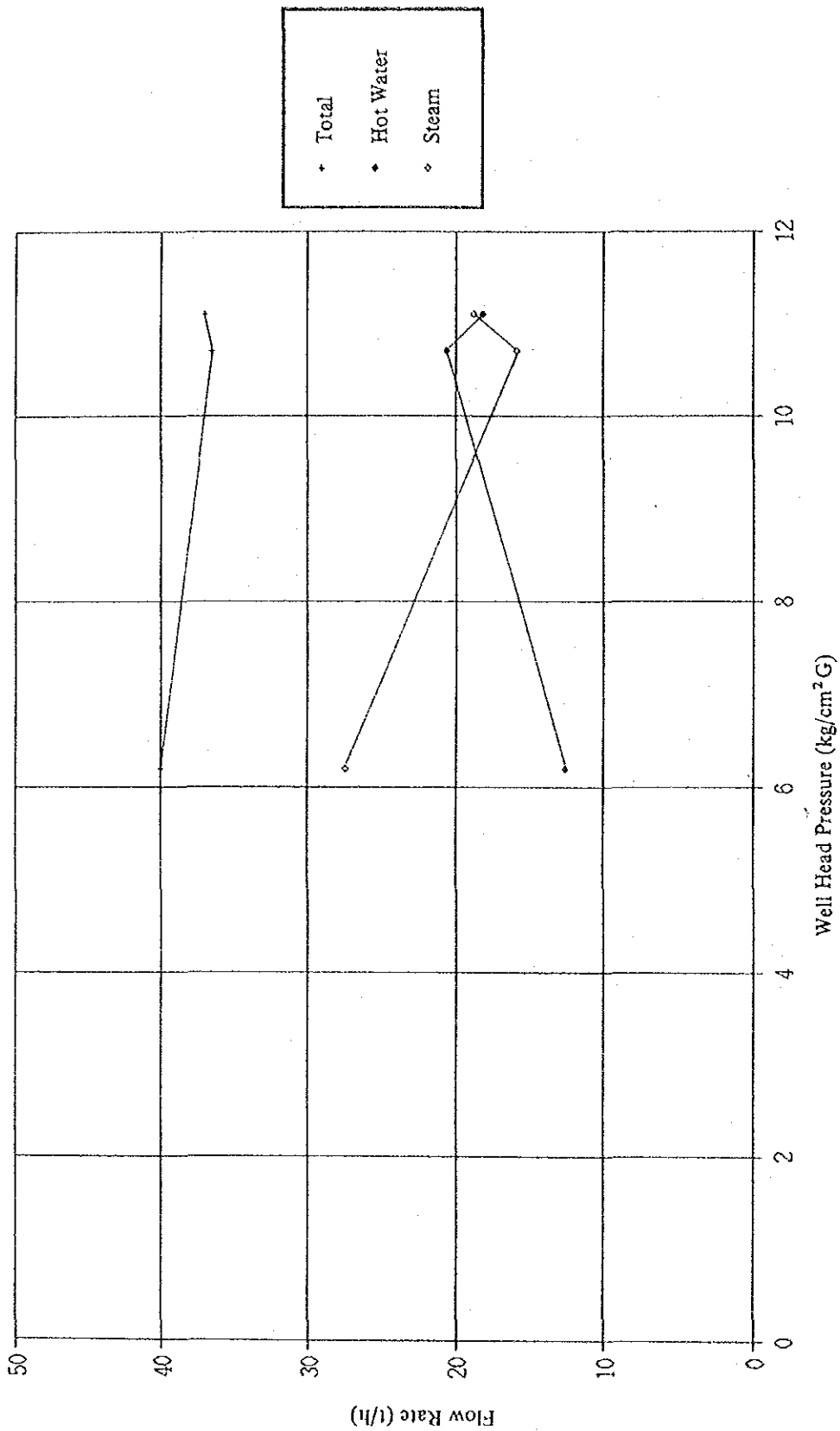


Fig. II. 3-2 Downhole Temperature and Pressure Curves of PR-12 in the Producing Condition



\* Total  
 • Hot Water  
 ◊ Steam

Fig. II. 3-3 Characteristics of Well head Pressure VS. Flow Rate of PR-12

Table II. 3-1 Conditions of Well Test of PR-12

Stage	I	II	III
Date	30. Jan. 1988	31. Jan. 1988	2. Feb. 1988
Measurement	Temperature	Pressure	Temperature & pressure
Well head condition	3" $\phi$ orifice 2nd valve: full open	idem.	Regulated by 2nd valve
Well head pressure (kg/cm <sup>2</sup> G)	6.2	10.7	11.1
Flow rate (t/h)	G <sub>s</sub> $\doteq$ 30 G <sub>w</sub> $\doteq$ 10 G $\doteq$ 40 at atmosphere	G <sub>s</sub> = 16.1 G <sub>w</sub> = 20.4 G = 36.5 at separator (9.9 kg/cm <sup>2</sup> G)	G <sub>s</sub> = 18.9 G <sub>w</sub> = 18.1 G = 37.0 at separator (10.3 kg/cm <sup>2</sup> G)
Quality at separator		0.441	0.511

### 3.2 PR-13井の掘削

#### (1) 掘削計画概要

PR-13井はJICAの資本援助による調査井としてメキシコ合衆国ハリスコ州ラ・ブリマベラ地域 (Fig. II. 3-4) に計画された。本坑井のケーシング計画は Fig. II. 3-5 に示すように26"坑、17½"坑および12¼"坑をそれぞれ深度105m、605mおよび1,405m付近まで掘削後、20"ケーシングパイプ(C.P)、13¾"C.Pおよび9¾"C.Pをそれぞれ深度100m、600mおよび1,400m付近まで挿入しセメンチングを行い、その後8½"坑を2,000mまで掘削して7"孔明管を坑底付近まで挿入して坑井を仕上げるよう計画された。

仕様の内容は以下のとおりである。

坑名	PR-13
掘削深度	2,000m
掘削方向	鉛直
コア採取	1,500mおよび坑底、10mごとカッティング採取
ケーシング・セメンチング	20" C.Pと13¾" C.P～一般セメンチング 9¾" C.P～二段セメンチング
傾斜測定	100mごとに実施
温度検層	9¾" C.P挿入前、坑井掘止後18時間以内数回

なお、PR-13の予想としては深度1,400m以深のコルディリェラン火山噴出物の安山岩中の縦型フラクチャーにおいて逸泥が発生すると考えられた。

#### (2) 掘削作業概要

##### ① 機械搬入

ベルヘンサー社の第2リグは昭和62年10月3日から掘削基地に搬入が開始され、同10月5日に全機材の組立てが終了した。

##### ② 深度0～112m

坑井掘削は12¼"ビットで昭和62年10月6日から開始され、深度112mまで掘削終了後、はじめに20"ホール・オープナー(HOP)次に26"HOPで深度112mまで拡掘された。12¼"ビットで深度112mに達するまでに数回全量逸泥に遭遇したため10回のセメントによる逸泥対策を行ったが、最終的に逸泥屑を完全に

は閉塞することができず、深度 82～112m の 12 $\frac{1}{4}$ " 坑とその後の 20" 及び 26" 坑は全量逸泥の状況で掘削および拡張が行われた。20" C.P は同 10 月 10 日にケーシングパイプ挿入とセメンチングが実施された。セメンチングには 42,273ℓ のセメント・スラリーをポンプする計画であったが、セメント・スラリーをポンプ中にポンプ圧力が上昇してポンプ不能となったためセメント硬化後、地表から直接アニュラス部にセメント・スラリーをポンプして 20" C.P を固定した。

### ③ 深度 112～612m

坑口装置組み替え後、12 $\frac{1}{4}$ " ビットで深度 112m から 612m までを 16 日間かけて掘削を行った。この間に逸泥対策のためのセメント・プラグを合計 13 回実施した。その後坑井は深度 112m から再び 17 $\frac{1}{2}$ " に拡張が開始された。深度 112m から深度 248m まで掘削する間に合計 7 回の逸泥対策のためのセメント・プラグが行われたが、効果がなかったため深度 248m から深度 416m まで全量逸泥掘りによって拡張を行ったところ、深度 404m 拡張中に第 1 回目の抑留事故が発生した。これは 1 回のオイル・スポットでフリーパイプ（抑留事故を解消すること）に成功したが深度 416m で発生した第 2 回目の抑留事故は解決に合計約 30 日間を費した。最初は事故対策のためオイル・スポットを行ったが 3 回実施したところでポンプ圧力が上昇してポンプ不能となったため、抑留管の盲戻しを行った。その後 13 $\frac{3}{8}$ " のウォッシュ・オーバーパイプで遺留物下部に位置している 17 $\frac{1}{2}$ " HOP 上部まで坑壁と遺留物の間のアニュラス部を洗浄後、遺留物の強引を行ったが効果がなかったため次に 17 $\frac{3}{8}$ " のウォッシュ・オーバーパイプで同様の作業を行った。しかしこれも成果が得られなかったため同 11 月 24 日から 20" C.P シューの直下から遺留物直上まで 18 $\frac{3}{16}$ " に拡張を行い、それ以深を 18 $\frac{3}{16}$ " ウォッシュ・オーバーパイプで 17 $\frac{1}{2}$ " HOP の下部の深度 417.20m まで拡張して遺留物採揚に成功した。

遺留物採揚終了後 15 回のセメント・プラグを行った。セメント・プラグを行う前後で坑内の水位と泥水の循環の有無を調べたところ深度 200m 以深の割れ目では水位が 150m 以深で、深度 200m 以浅の割れ目では水位が 100m 以浅にあること、また少なくとも深度 100～430m の間では割れ目が各深度にわたって存在することが確認された。したがって、深度 190～430m のセメント液は全量逸泥の状態で行われた。その後更に深部拡張中に合計 9 回のセメント・プラグを実施したが効果がないため逸泥掘りで掘進し、13 $\frac{3}{8}$ " C.P セット深度の 612m に達した。



④ 深度 612～1,415 m

13% C.P はゲージ通しを 3 回実施した後、深度 609.94 m まで降管され 2 栓式でセメンチングが行われた。裸坑部と 13% C.P の間のアニュラス部体積の 60% 増しのセメント・スラリーがポンプされたが、結局地表部まで泥水またはセメントが全く回帰しなかったため地表部から合計 17kℓ のセメント・スラリーをポンプして間隙部を充填した。

13% C.P セット後、12½% ビットで掘削を行った。深度 612～1,253 m までは 20kℓ/h 以下の逸泥掘りで掘削を行い 5 日間で合計 642m を掘削したが、深度 1,254 m で全量逸泥が発生したため合計 15 回のセメント・プラグを行った。その後 9% C.P セット予定深度の 1,415.40 m までは約 20kℓ/h 以下の逸泥掘りで掘削が行なわれたが 1,415.40m 掘削終了後、掘削編成を揚管途中、深度 711m で抑留事故が発生した。フリーパイプするため強引やロータリーテーブルの右回しなど作業中に、ビット等を含む掘削編成の下 138.30m の位置からネジ戻りが発生し坑底まで落下した。この採揚作業に計 3 日間が費された。採揚作業終了後坑内矯正浚いおよび調泥作業に引き続きポンプ停止後 6、10、および 14 時間経過後温度検層が行われた。この結果深度 1,406 m 付近において、泥水循環の影響が全くない状態では地層温度が 201℃ であることが測定された。

その後、ゲージ通し作業を行い 9% C.P 降下作業に入ったが深度 937.24m まで降下した時点で全量逸泥が発生したため降下したケーシングパイプを揚管して逸泥対策を行った後、再びケーシングパイプを降管して深度 1,407.24m にセットした。9% C.P のセメンチングは深度 775.84 m にステージ・セメンターを設置したマルチ・セメンティング方式で実施されたがセメンチング終了時には泥水またはセメント・スラリーの回帰が得られなかったため間隙部に地上からセメント・スラリーをポンプして地表までセメント充填を行った。セメント硬化後、8½% ビットでセメント浚い及び深度 1,445 m まで掘削を行った時点で 9% C.P セメントの状況を調べるためセメント・ボンドログ (C. B. L.) 検層が実施された。その結果掘削を続行するのに支障がないことが判明した。

⑤ 深度 1,415～2,006.8 m

その後深度 2,006.80 m までを 12 日間で掘削が行われた。深度 1,500～1,503m および深度 2,003.40～2,006.40 m ではコア採取が行われ、コア採取率はそれぞれ 100% および 85% であった。9% C.P セット後の掘削中の逸泥状況は深度 1,486～1,489 m、1,873～1,877 m および 1,885～1,886m で全量逸泥、その他の深度では 30kℓ/h 以

下の部分逸泥であった。このため掘削はほとんど全ての深度で全量または部分逸泥掘りにより実施された。尚、2,006.80 mの最終深度掘削時は13kℓ/hの逸泥量であった。その後、ポンプ停止後4、8、および12時間にそれぞれ温度・圧力検層が実施された。この結果スタンディング・タイム（ポンプ停止後の経過時間）12時間の最高温度は測定最深部の深度1,999 mで235.06℃であることが判明し、また圧力検層からは坑内水位が地表から約370 mの深度にあることが判明した。引き続き、深度1,400 mに圧力計を設置した状態で坑口から1,000 ℓ/minの割合いで清水を約3時間注入し、ポンプ停止後約6.5時間まで坑内圧力を測定する注水テストを行った。この結果、ポンプ開始から約70分間は深度1,400 mでは圧力は上昇または平衡状態であったが70分後は圧力が減少していた。また坑口に設置した圧力計ではポンプ開始後約30～60分の間で最大7 kg/cm<sup>2</sup>を示したがそれ以外は0 kg/cm<sup>2</sup>であった。

これら一連の検層およびテストが終了後ゲージ通し坑井内調泥を行った後7"孔明管を深度1,353.75 mから1,999.52 mまで挿入し坑井内を清水で洗浄したところ再び全量逸泥（105kℓ/h以上）となった。その後坑口装置を正規のものと交換して全ての掘削作業を終了した。

全坑内作業に費した日数は昭和62年10月6日から同63年2月17日までの135日で当初の計画よりも約15日間長引いたことになる。

Fig. II. 3-6に坑井掘削に関する主要事項を記入したドリリングチャート図、Fig. II. 3-7に掘削装置設置図、またTable II. 3-2に掘削装置一覧表を示す。

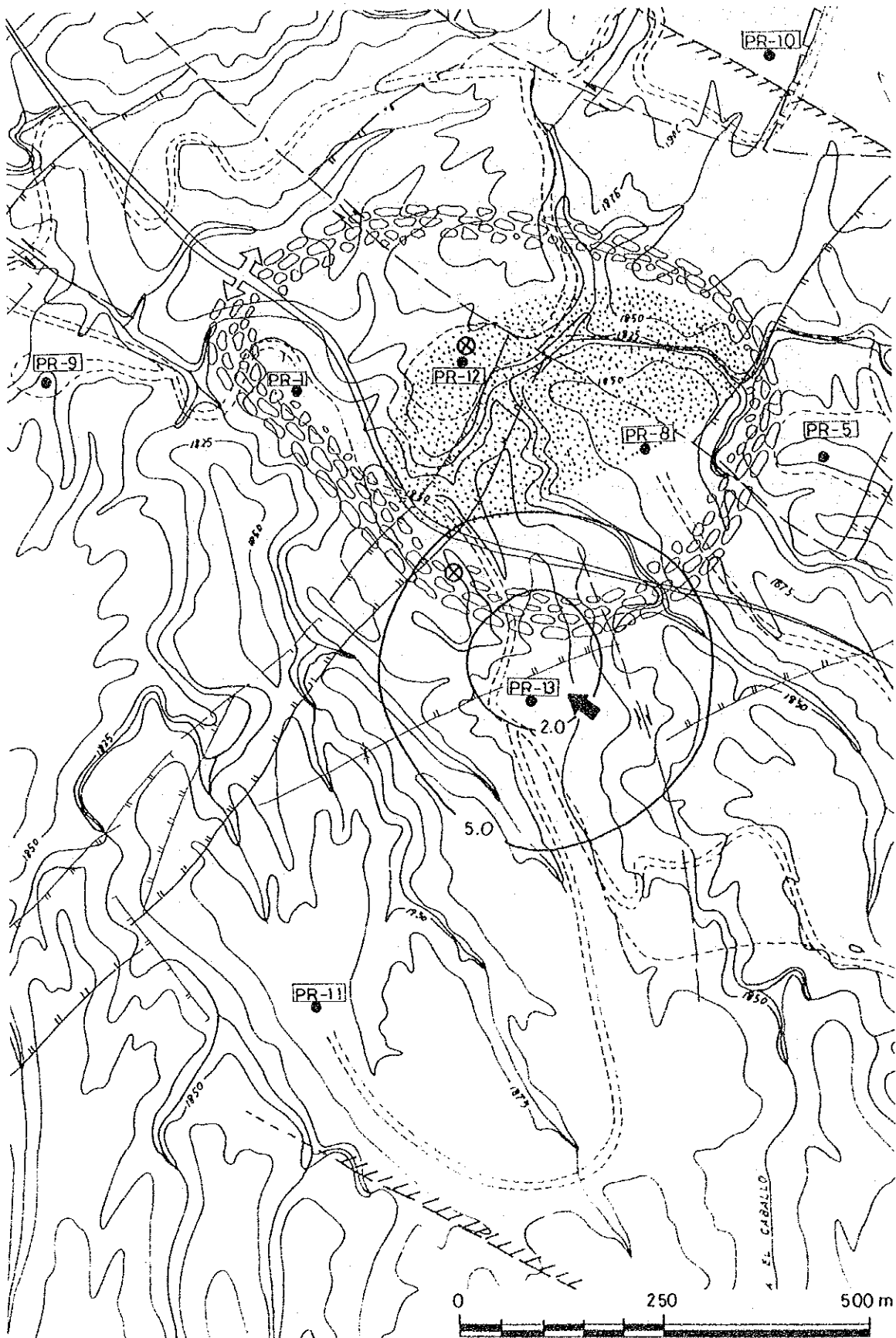


Fig. II. 3-4 Location of PR-13

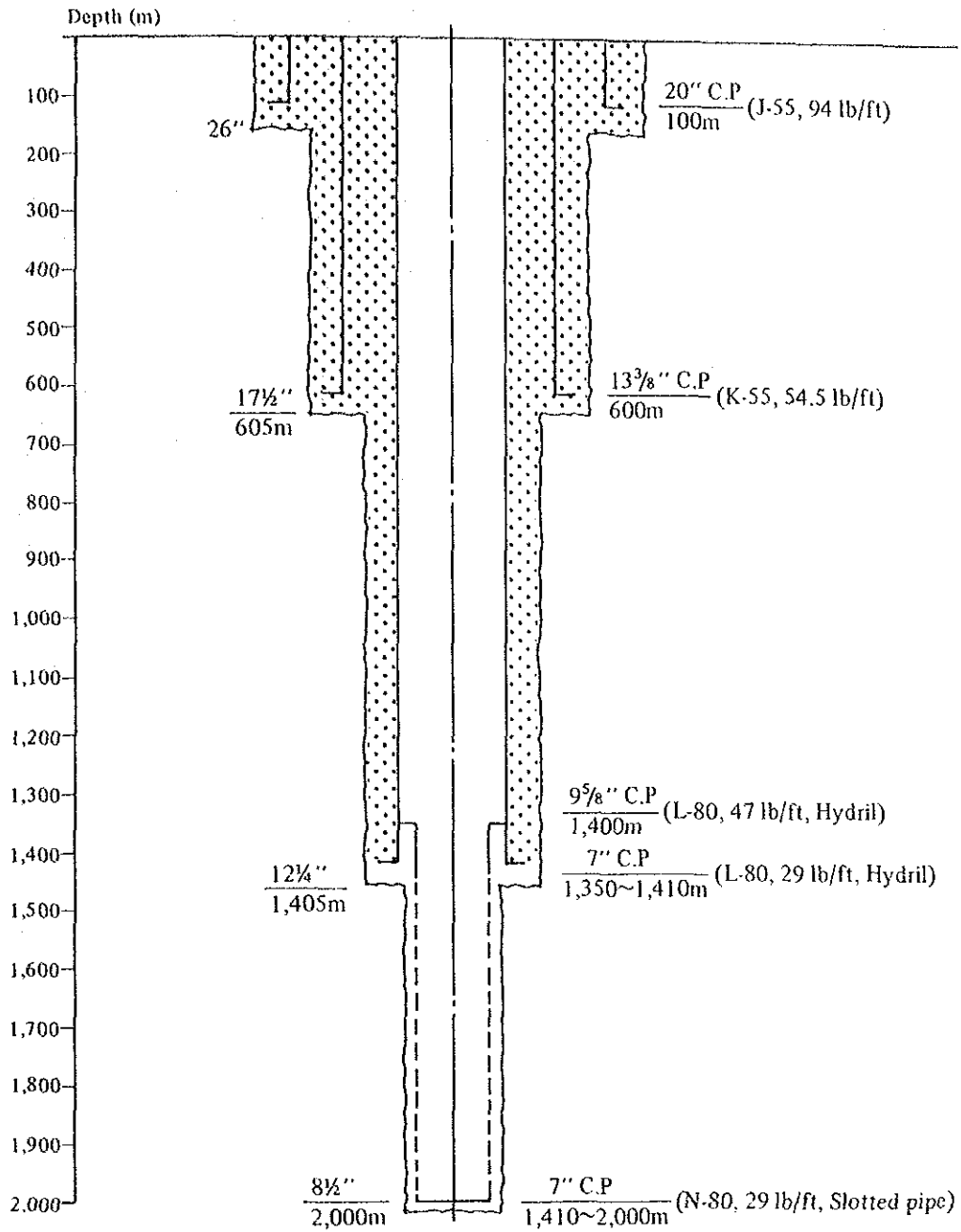


Fig. II. 3-5 Casing Program of PR-13

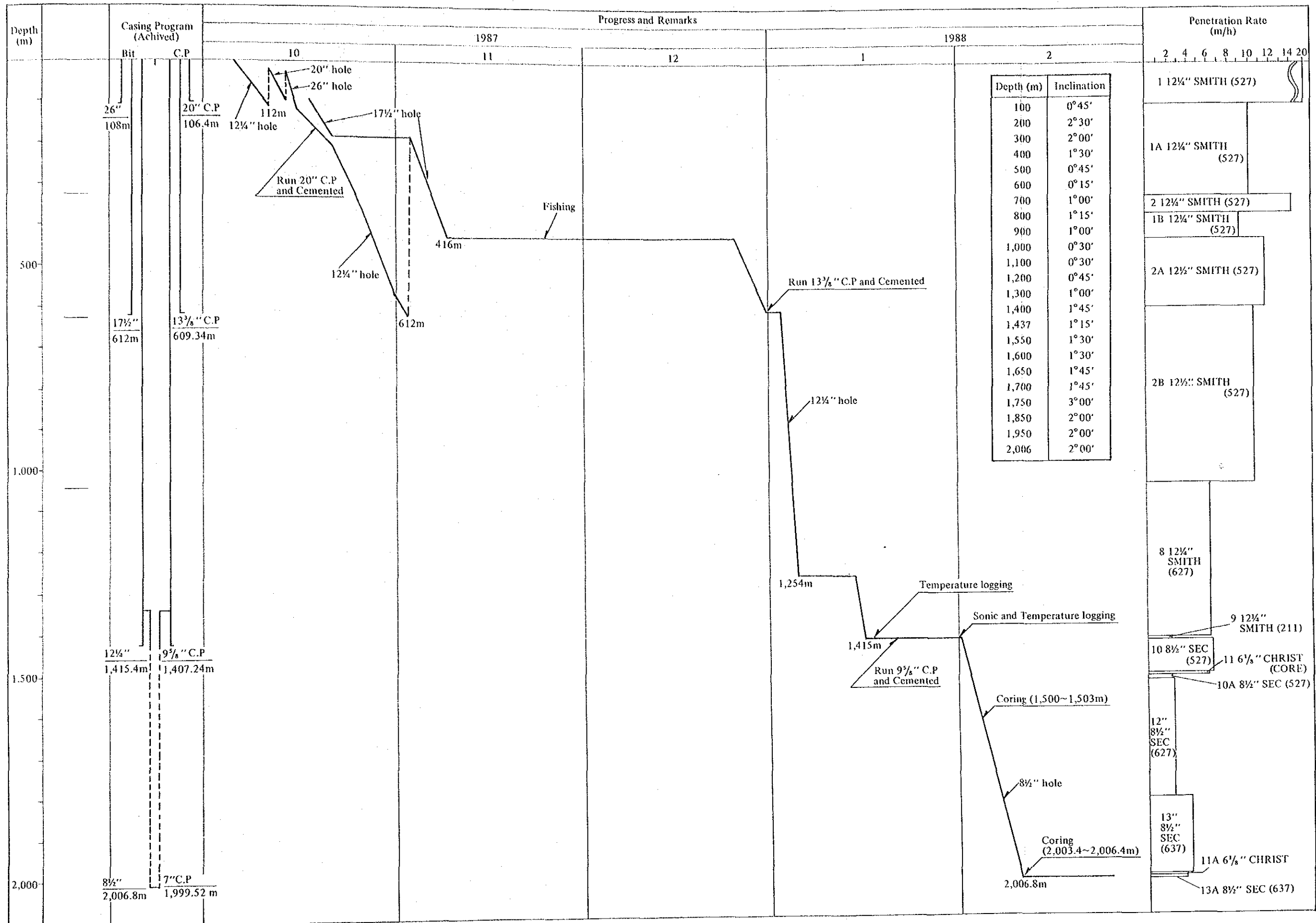


Fig. II. 3-6 Drilling History of PR-13



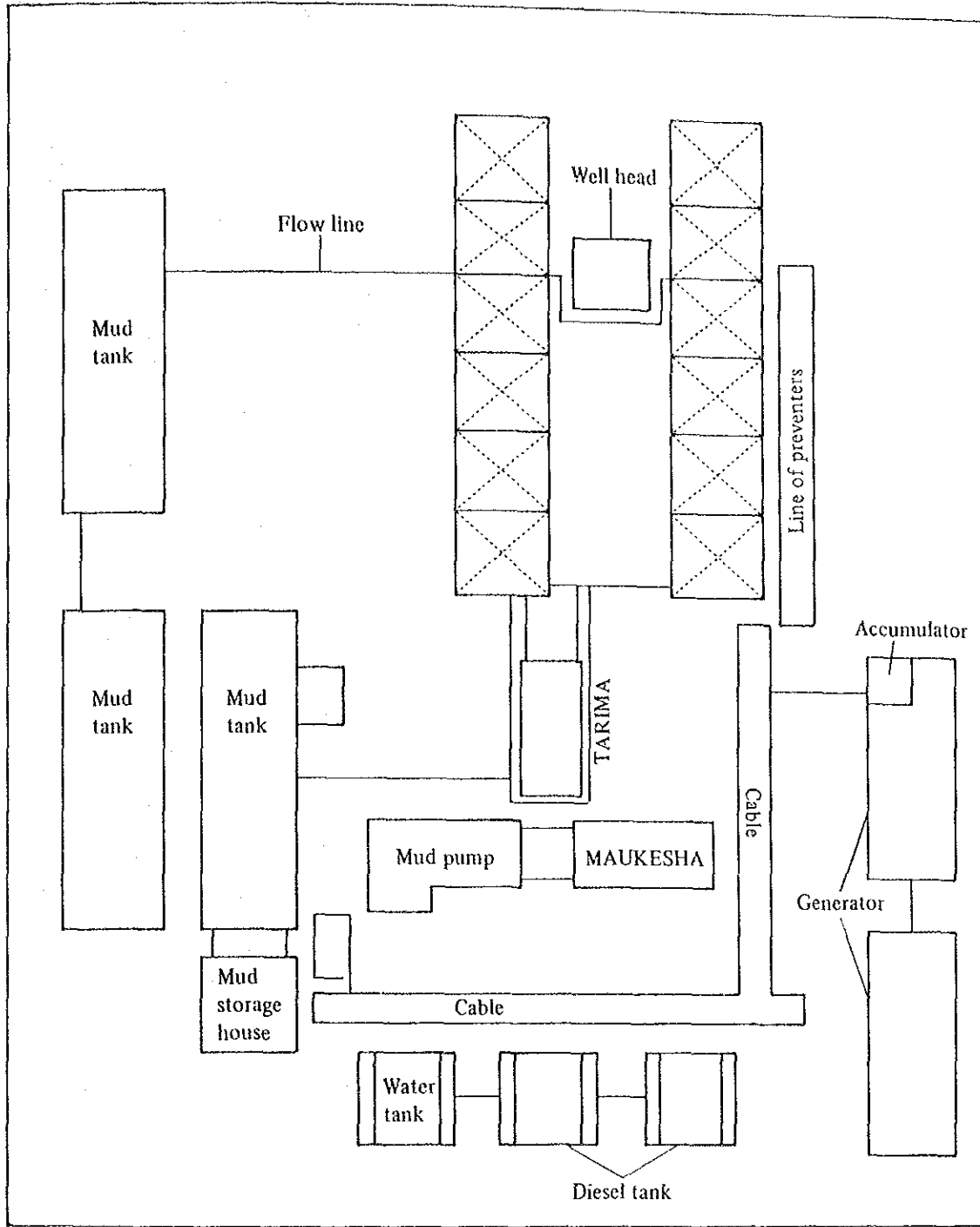


Fig. II. 3-7 Layout of Drilling Site of PR-13

Table II. 3-2 List of Major Drilling Materials of PR-13

Machine Item	Sepecification	Quantity
Draw Works	IDECO H-1200	1
Derick	IDECO 143-650, Max. hook load 750,000 lbs	1
Crown Block	IDECO 143-FV, Max. hook load 570 t	1
Rotary Table	IDECO 275-K 27½", Max. hook load 570t	1
Swivel	IDECO TL-400, 400t	1
Traveling Block	IDECO UTE-360-5-50, 350t	1
Engine	Draw Works ~ WAUKESHA L-5792-DU 1,023 HP Mud Pump ~ WAUKESHA L-5792-DU 1,023 HP	1 2
Mud Pump	IDECO T-800, TRIPLEX	
Accumulator	KOOMEY 090-11-S SN-1264	
Generator	CATERPILLAR T-3406 P.C 300 H.P. Motor Generator ~ SR-4 48 BH 200 kW	
Compressor	INGERSOLL RAND 71T2 30T 474687 INGERSOLL RAND 40-B	1 1
Tank	Mud Tank 60 kℓ Water 40 kℓ	3 2
Centrifugal Pump	Mission 3" x 4" 25HP SENTINEL C-380 Mission 5" x 6" 50HP Mission 5" x 6" 60HP	2 2 1 1
Shale Shaker Desander Desilter	SWACO SUPER SCREEN SWACO 212-455 SWACO 8T425	1 1 1
Agitator	LIGNTNIN LM-616/80	5
B.O.P	CAMERON DOUBLE 13¾" -5,000 psi "U" CAMERON SINGLE 13¾" -5,000 psi "D" Hydril M.S.P Bug type 21¼" -2,000 psi	1 1 1
Kelly	VARCO HEXAGONAL 5¼" x 40'	1
Drill Collar	8" OD - 2 <sup>13</sup> / <sub>16</sub> " φ ID 30' 8" OD - 2 <sup>13</sup> / <sub>16</sub> " φ ID 10' 6½" OD - 2 <sup>13</sup> / <sub>16</sub> " φ ID 30' 6½" OD - 2 <sup>13</sup> / <sub>16</sub> " φ ID 10'	15 1 24 1
HWDP Drill Pipe	4½" OD 4½" x H GRADO "E" "S"	6



### 3.3 PR-13井の調査結果

#### (1) 調査概要

PR-13井の調査結果は以下に示すとおりである (Fig. 3-8)。

- ① 掘削中の逸泥は、深度 600 m 以浅に多くの全量逸泥、1,245 ~ 1,400 m、1,486 ~ 1,489 m、1,630 m 付近、1,873 ~ 1,886 m、2,000 m 付近に生じたが、これらのうち 9 % ケーシング 尻 (1,407 m) 以下で大きなフラクチャーを示す逸泥は、1,486 ~ 1,489 m と 1,873 ~ 1,886 m である。
- ② カッティングスの Hg, As 分析を行うと Hg は深度 1,420 m と 1,500 m 付近、As は 1,500 ~ 1,640 m および 1,900 m 以深で高い値を示す。これらのピークは上記、逸泥部分にはほぼ対応している。
- ③ カッティングスの X 線回折分析の結果は、PR-12 と同じような結果を示し、やはり変質時期から現在にかけて地層温度が上昇している。
- ④ 流体包有物の均質化温度は、静止温度検層値とほぼ一致しており、深度 1,000 m 以深で 250°C 以上となっている。
- ⑤ 噴出流体の化学性状分析によれば、本坑井からの噴出流体は、He, Ar, N<sub>2</sub> ガス比からすると PR-8、Cl-エンタルピーからすると PR-9 の流体の性状に近いことが推定された。
- ⑥ 地化学温度計のうち、SiO<sub>2</sub> によるものが 278°C、Na/K (Fournier) が 269°C である。静止時の温度検層値が最高で 276°C を示すことから考えると PR-13 の貯留層温度は 280°C 程度である。
- ⑦ 噴出時の温度、圧力坑井試験によると、流体は坑底付近から噴出し、噴出温度は最高 276°C を示した。また、 $kh = 2.6 \sim 3.3 \times 10^{-13}$  であり、当地域の平均値に近い。
- ⑧ Fig. 3-9 に示すように、深度 1,900 m 以深は液相流であり、1,900 m 付近でフラッシュし坑井内は 2 相フラッシュ流となっていると考えられる。
- ⑨ フラクチャーの解析を行うと、深度 600 m 以浅の逸泥はタラ凝灰岩やコルディリエーラン火山噴出物上部層の節理や引張りフラクチャーに対応し、深度 1,486 ~ 1,489 m、1,630 m 付近、1,873 ~ 1,886 m および 2,000 m 付近のフラクチャーは向斜軸部に発達している縦型フラクチャーに起因すると考えられる。

PR-13 は JICA の第一次調査結果に基づきターゲットが選定され、JICA の資本、技術援助の基に、メキシコの掘削会社が掘削した。したがって、PR-12 と同

様、掘削前後での予測と結果の対比および坑井能力について以下に述べる。

(2) ターゲット選定理由および掘削結果

PR-13 の掘削ターゲットを選定した理由は以下の4点であった。

- ① 開発可能範囲を把握する上で必要な地点である。
- ② up-flow 帯 (250°C 以上) の中に入る。
- ③ 深部フラクチャーの発達の可能性が大きい。
- ④ MT 法低比抵抗異常帯に位置する。

なおこの他に、uplift 帯背斜状曲げ軸部や巨大軽石層の隆起部も当初ターゲット選定理由に含んでいたが、掘削敷地がとれないというためにこの理由は除外した。

これらの理由に対し、掘削した結果は以下のとおりである。

- ① 掘削結果はフラクチャー、温度ともに良好であり、勿論開発範囲に含まれる。
- ② 温度測定結果と流体包有物の均質化温度はともに、貯留層の深度 (1,400m 以深) でいずれも 280°C 程度の値を示している。
- ③ 深度 1,486~1,489m と 1,873~1,886m に主たるフラクチャー、1,630m 付近と 2,000m 付近に小規模なフラクチャーが確認された。
- ④ 掘削終了後電気検層を実施していないので、低比抵抗異常帯の確認はできていない。

(3) PR-13 の坑井能力

Table II. 3-3 の値を基に、流体が等エンタルピー変化をすることで坑井の坑口圧・流量曲線を作成すると Fig. II. 3-10 のようになる。しかし、この図からは坑口圧 7 kg/cm<sup>2</sup>G 付近の能力は不明である。そのまま延長するには2点だけでは不十分である。そこで次のような設定のもとに坑井内流動モデルを用いて坑口圧-流量曲線の完成を試みた。

噴気流体温度 = 276°C ( Fig. II. 3-8 による )

$kh = 3 \times 10^{-13} \text{ m}^3 \sim 6 \times 10^{-13} \text{ m}^3$  の間で変化させる。

流入深度 = 1,985m 以深

これらの値を基に、Fig. II. 3-10 にマッチングさせると

貯留層圧力 = 168 ata

が得られた。

次に、これらの値を用いて坑口圧・流量曲線を完成させると、Fig. II. 3-11 のよう

になり、坑口圧  $7 \text{ kg/cm}^2\text{G}$  ( $8 \text{ ata}$ ) では約  $40 \text{ t/h}$  の蒸気が得られることになる。Fig. II. 3-10 の値を直線的に延長すると、 $28 \text{ t/h}$  程度であるのに  $40 \text{ t/h}$  になるのは次の理由による。

- ① Fig. II. 3-9 をみると深度  $1,985 \text{ m}$  付近は液相であって、その温度が噴出時間の経過とともに上昇している。このことは測定時が温度回復中にあたり、噴出を継続するとさらに温度が上昇する。
- ② 本坑井では、深度  $1,486 \sim 1,489$ 、 $1,630$ 、 $1,873 \sim 1,886 \text{ m}$  等多くのフラクチャーがあるが、現在噴出流体に参加しているのは坑底付近のものだけである。本坑井は深度  $1,300 \text{ m}$  以深  $280^\circ\text{C}$  の地層温度があるので、今後噴出を継続すると上記の流入点から流体が参加して蒸気量が増す。

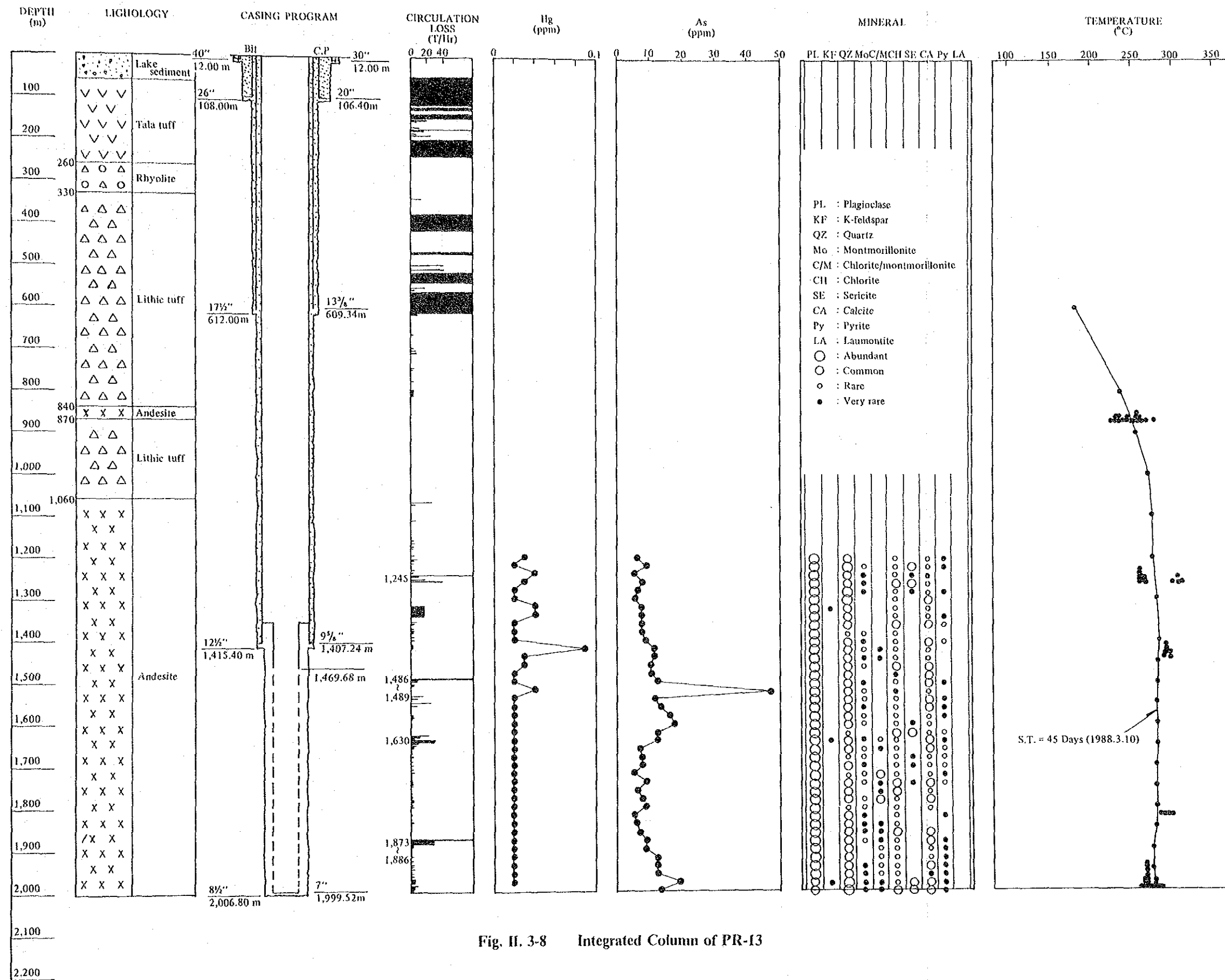
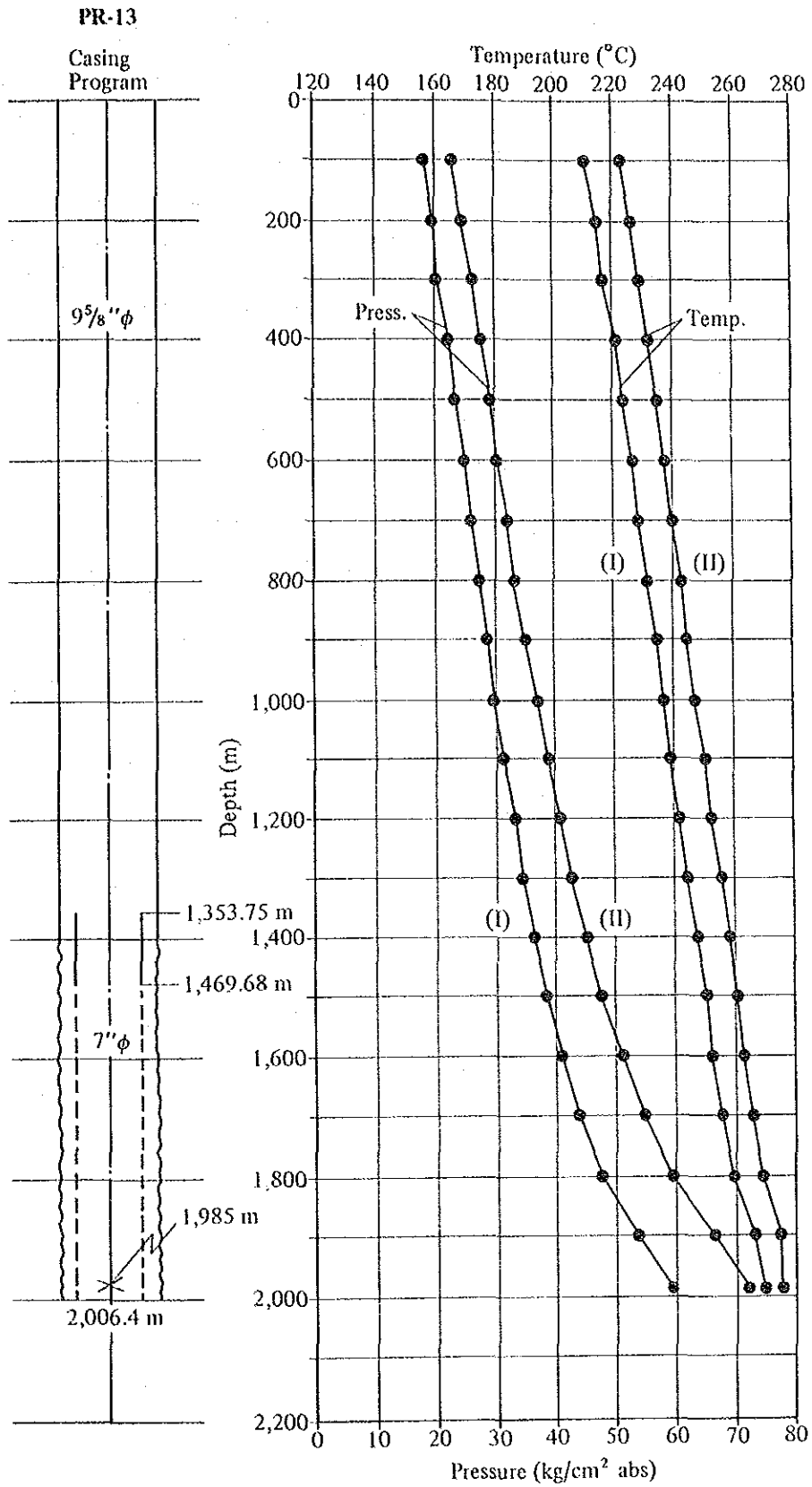


Fig. II. 3-8 Integrated Column of PR-13





**Fig. II. 3-9 Downhole Temperature and Pressure Curves of PR-13 in the Producing Condition**

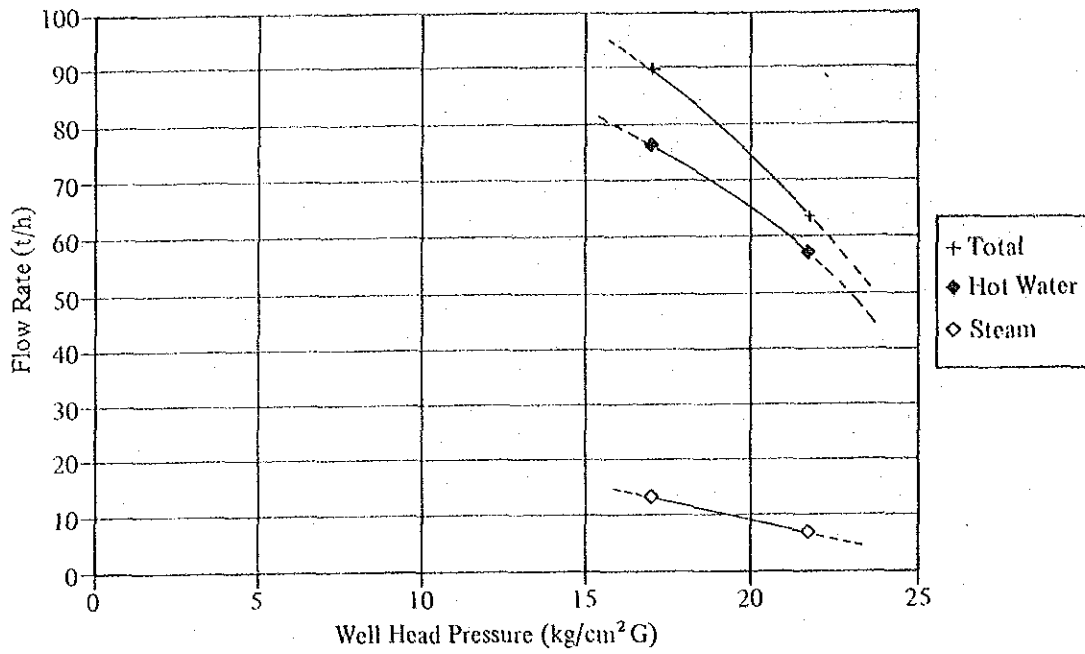


Fig. II. 3-10 Characteristics of Well head Pressure VS. Flow Rate of PR-13

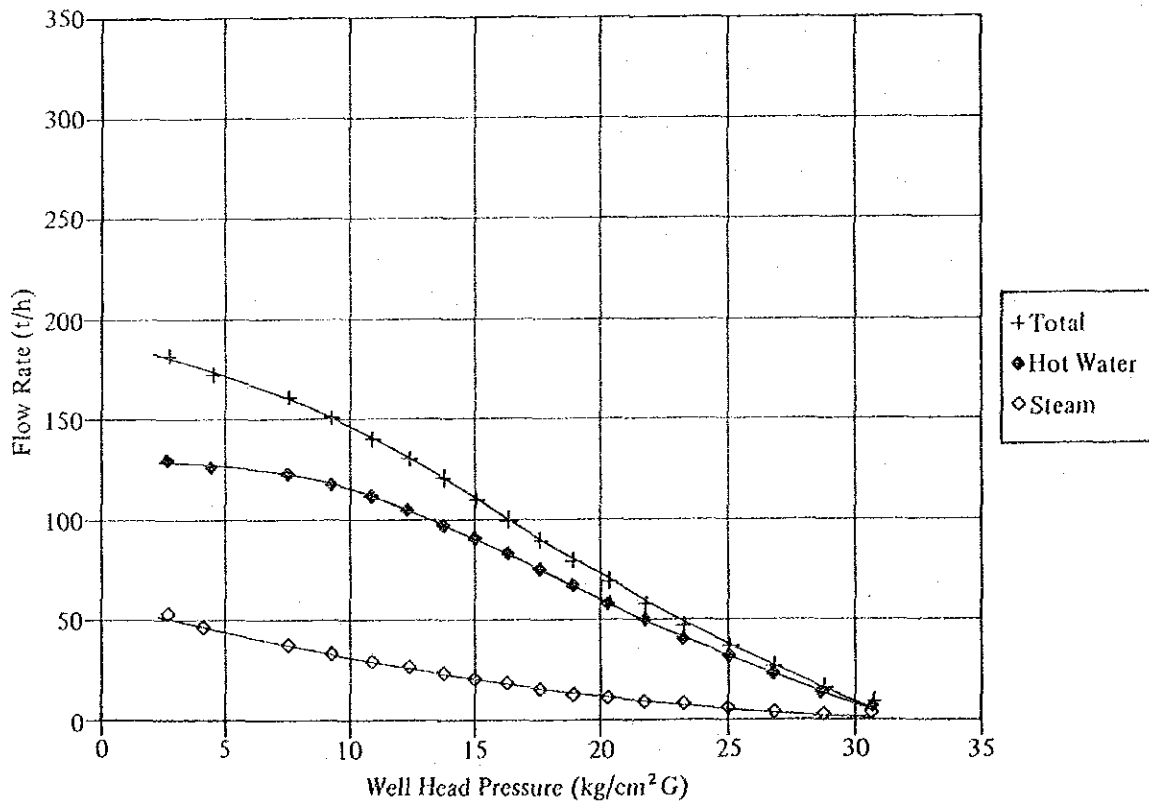


Fig. II. 3-11 Prediction Curve of Well head Pressure VS. Flow Rate of PR-13

Table II. 3-3 Conditions of the Well Test of PR-13

Stage	I	II
Date	19. Aug. 1988	23. Aug. 1988
Measurement	Temperature & pressure	Temperature & pressure
Well head condition	3" $\phi$ orifice 2nd valve: full open	2½" $\phi$ orifice 2nd valve: full open
Well head pressure (kg/cm <sup>2</sup> G)	17.0	21.8
Flow rate (t/h)	G <sub>s</sub> = 24.8 G <sub>w</sub> = 65.0 G = 89.8 at separator (2.4 kg/cm <sup>2</sup> G)	G <sub>s</sub> = 15.1 G <sub>w</sub> = 49.3 G = 64.4 at separator (4.08 kg/cm <sup>2</sup> G)
Quality at separator	0.276	0.234



