

Fig. II. 1-54 Cross Section of Resistivity (TE mode), Line 3

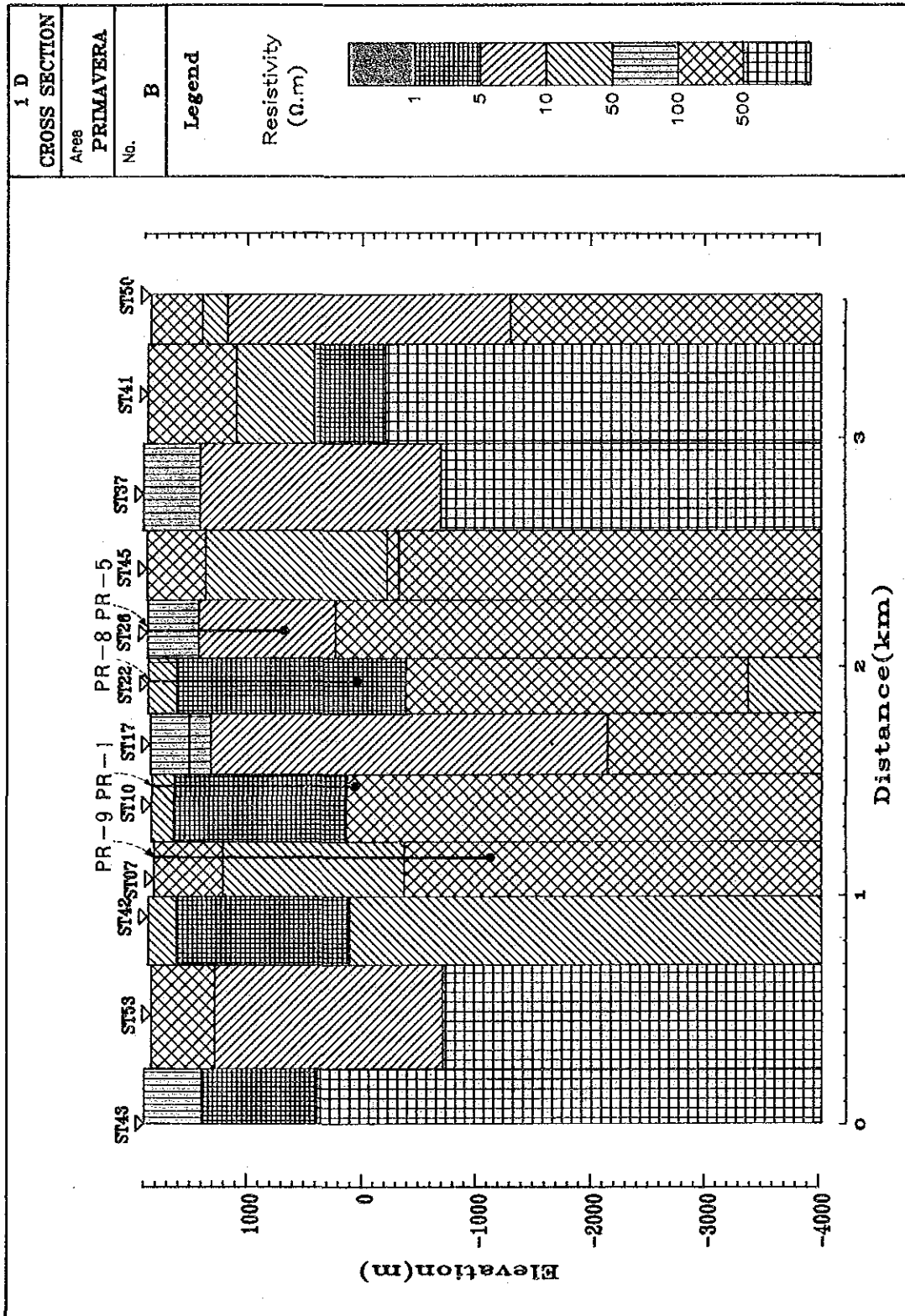


Fig. II. 1-55 I-D Model Cross Section, Line B

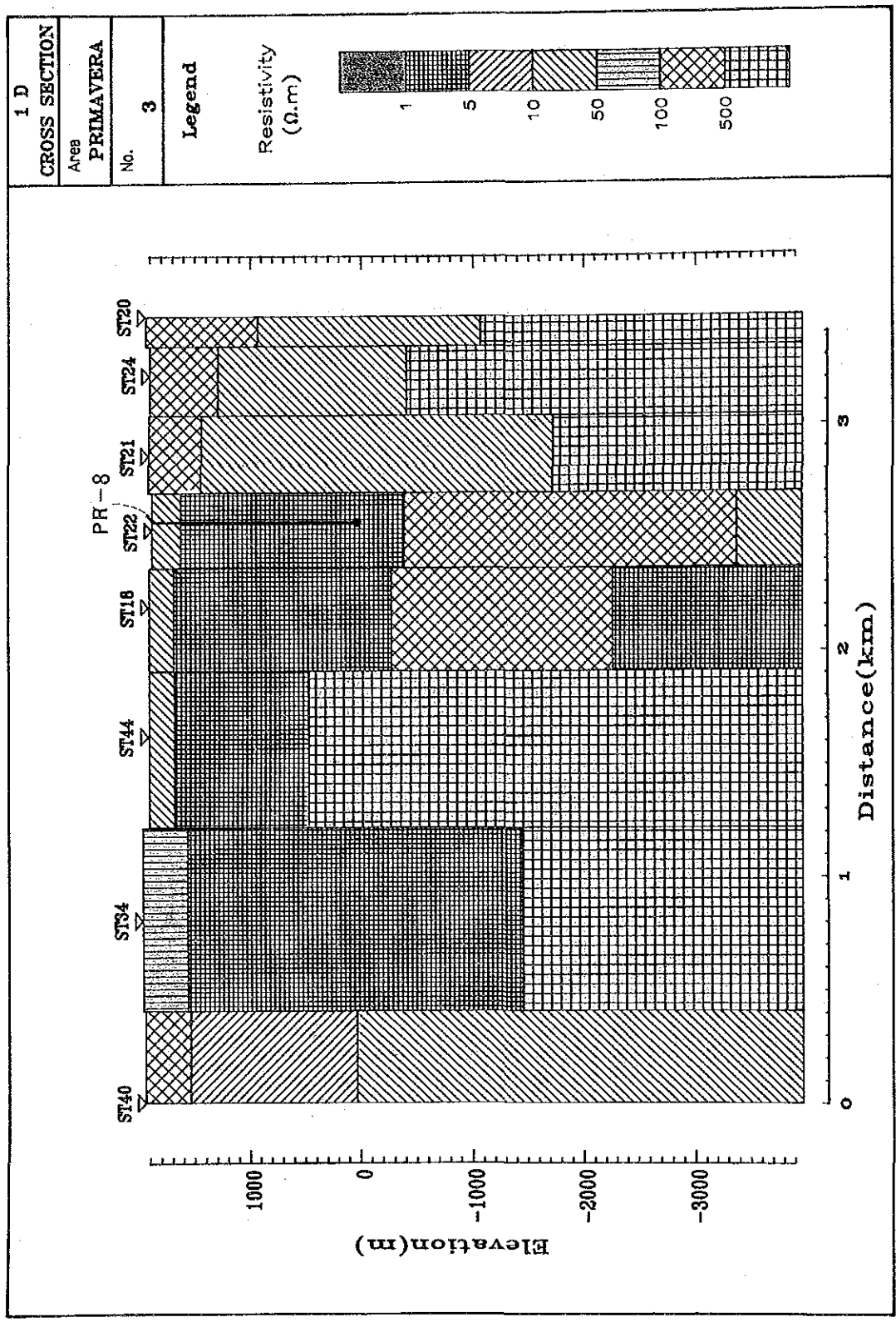


Fig. II. 1-56 I-D Model Cross Section, Line 3

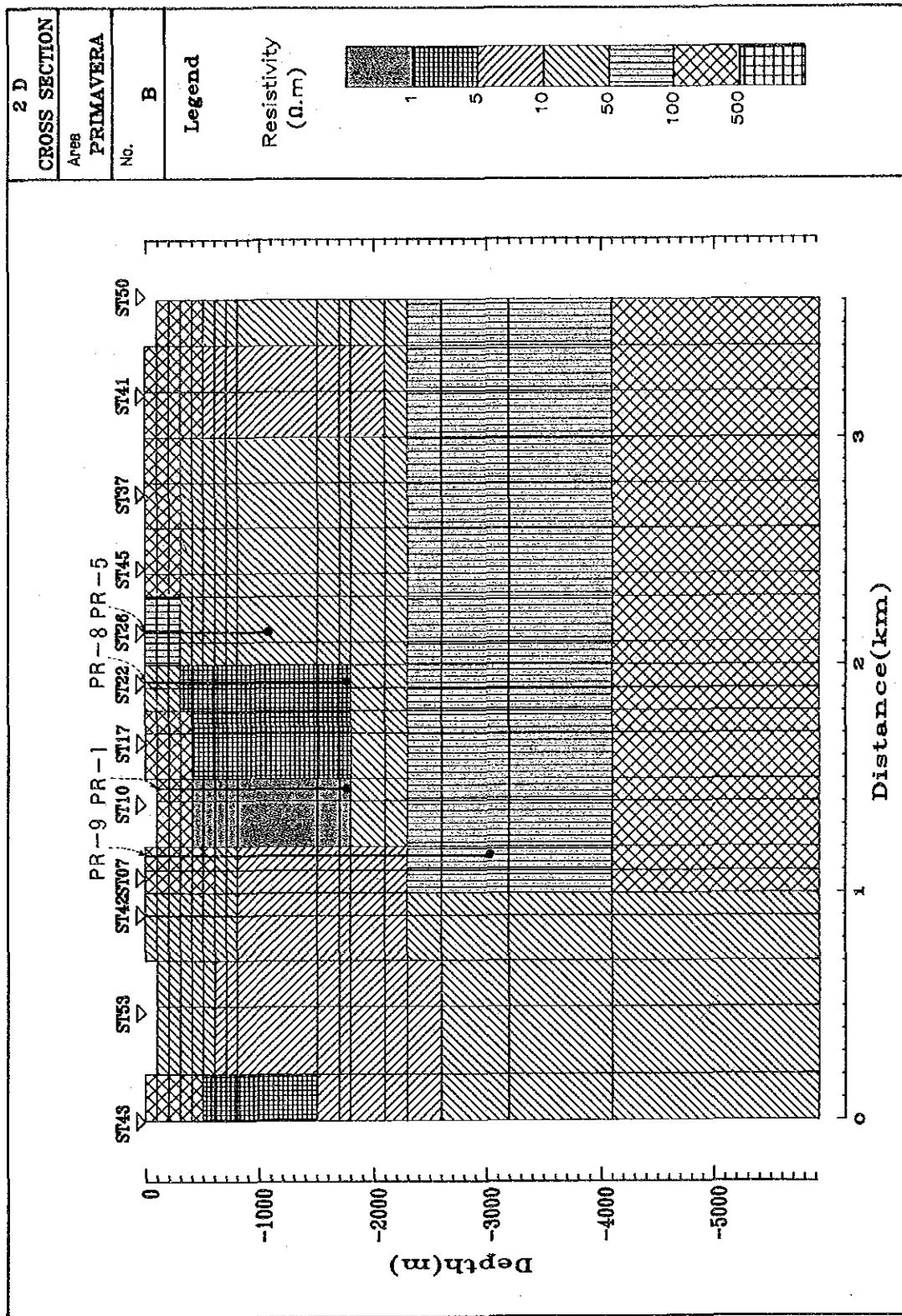


Fig. II. 1-57 2-D Model Cross Section, Line B

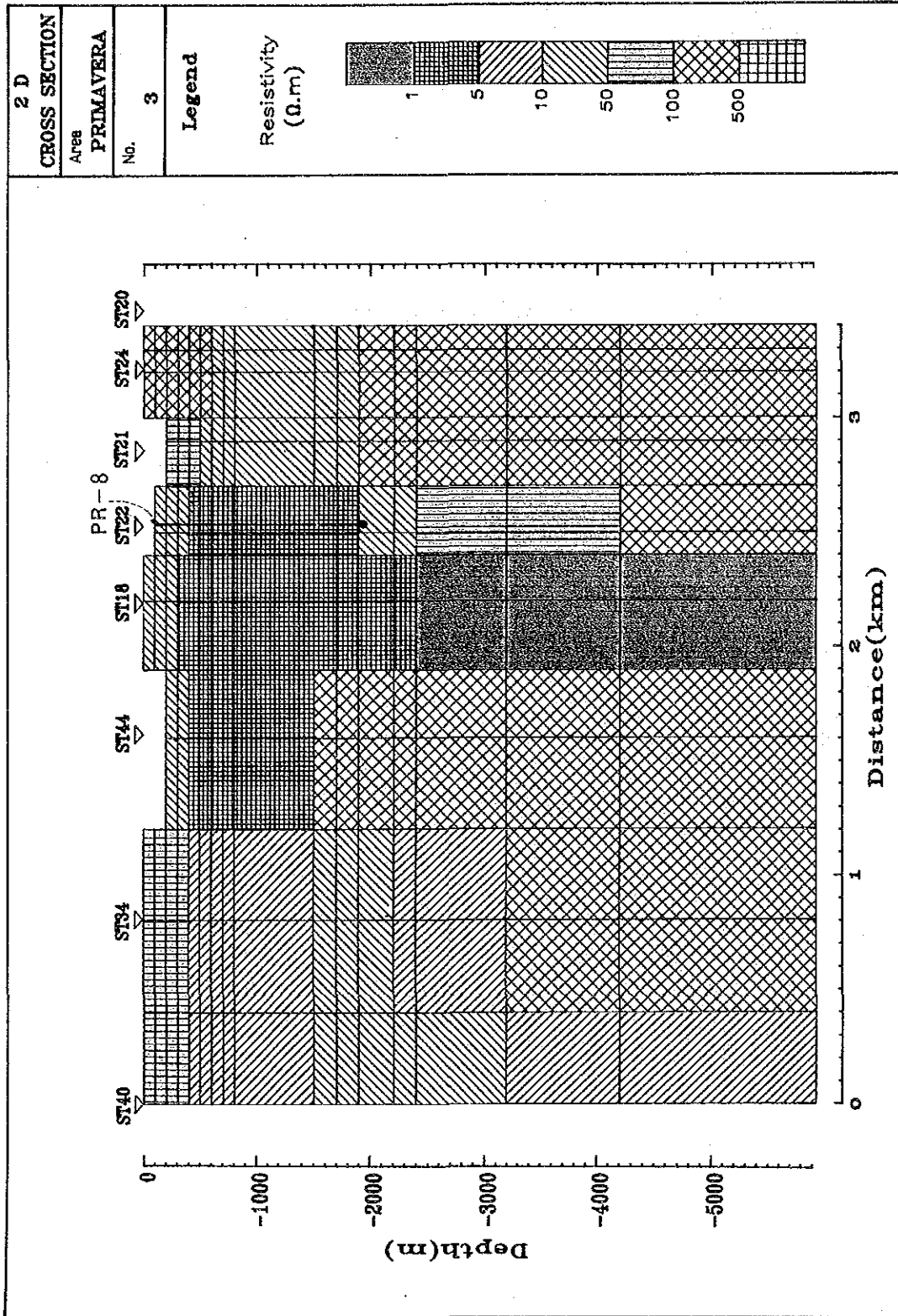


Fig. II. 1-58 2-D Model Cross Section, Line 3

1.5 坑井試験

1.5.1 概 要

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 $7.6 \times 10^{-13} (\text{m}^3)$ とさ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℃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。
- 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 $2.1 \times 10^{-13} (\text{m}^3)$ であり、深度1,750mでの坑内温度は231℃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。
- 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。

1.5.2 PR-1の坑井試験結果

(1) 測定方法

今回PR-1で実施した坑井試験は、坑口バルブで調整した設定流量毎に、噴気中の坑井内温度分布と圧力分布を測定する方法である。この調査は、坑口に圧力がかかっている状態で実施されるため、測定器の坑井内への挿入や回収はリュブリーケーターを介して行われた（Fig. II. 1-59）。

使用した測定器は、5mmφのステンレスワイヤに接続され、このような測定が容易に出来、耐熱性にすぐれている米国Kuster社製のものである。この測定器は、一式が検出部－記録部－時計部より構成されており、ケーブルソケットでワイヤに接続される。坑井内の状態は測定器の回収後、記録部に内蔵された金属板チャートより読みとられる。

(2) 測定経過

PR-1は、主弁下部の3インチブリード弁より大気放出している状況から判断して、透水性も流体温度も非常に高いことが予想されたので、測定器の降下を可能にするため

に、Table II. 1-14に示した流量特性で3回の測定を実施した。第1回目は2次弁全開で開口径が3"φのオリフィスによる流量調整のもとで測定した。この時は流量が多く、乾き度も高かったために4½"ケーシング内で坑内流速が高すぎ、深度1,150m以深への測定器の降下が困難となり、この深度で測定を中止した。第2回目は開口径が2"φのオリフィス交換して、温度計および圧力計の同時測定を実施した。第3回目は開口径が2½"φでのオリフィスでの圧力測定であった。

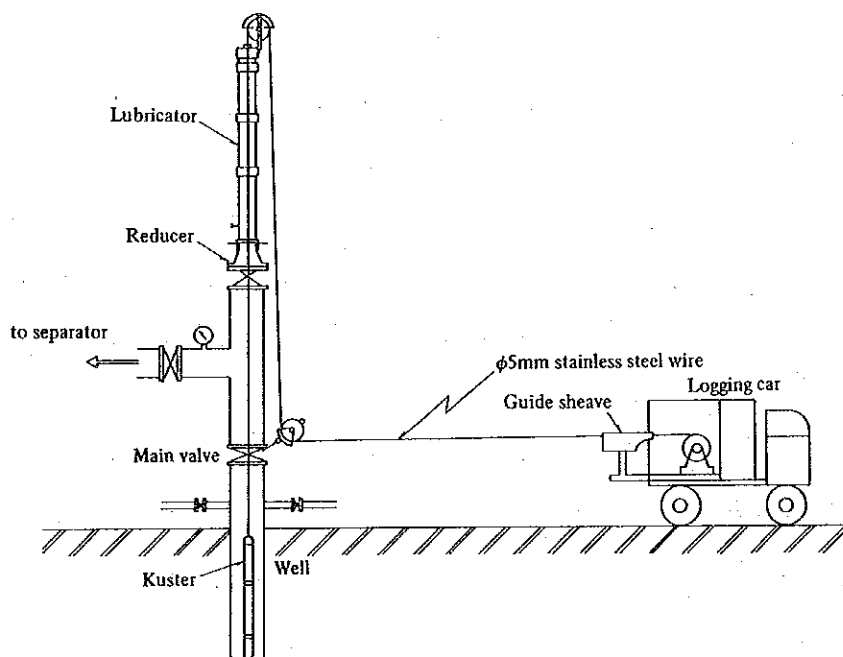


Fig. II. 1-59 Schematic Diagram of Well Test

Table II. 1-14 Conditions of Well Test of PR-1

Measurement	Well head condition	Well head pressure	Flow rate	Quality at atmosphere
(1) temperature	3"φ orifice 2nd valve: full open	28 kg/cm ² G	G _s = 53 t/h G _w = 51 G = 104 at atmosphere	0.31
(2) temperature pressure	2"φ orifice 2nd valve: full open	42 kg/cm ² G	G _s = 43 t/h G _w = 40 G = 83 at line press.	0.25
(3) pressure	2½"φ orifice 2nd valve: full open	36 kg/cm ² G	G _s = 50 t/h G _w = 40 G = 97 at line press.	0.27

(3) 測定結果

PR-1の坑井内温度と圧力の測定結果をTable II. 1-15およびFig. II. 1-60に示す。この結果よりPR-1の坑井内状況を考えると以下のとおりである。

- ① 坑井内各深度の温度と圧力の関係は坑口より坑底に至るまでは飽和関係にある。従ってこの坑井内はすべて2相フラッシュ流となっている。

- ② 坑底付近深度 1,800mでの流体温度は 299℃と極めて高い。又この地点での静止平衡時の温度は 304～305℃である。(CFEの測定)。これらのことより、噴気流体は坑井近傍地層内でフラッシュして坑井内に流入しているものと思われる。
- ③ 深度 1,400～1,450m間の圧力勾配の変化については次の2つの考えができる。1つの考えは次のとおりである。地層内でフラッシュした噴気流体が、坑井内に流入すると、孔明管内と裸孔(7"φ)と孔明管との間のアニュラス部を通過してそれぞれ上昇する。そして孔明部の切れる深度 1,440m付近にてアニュラス部を通過してきた流体がケーシング内に流入し、孔明管内を上昇してきた流体と合流している。2つめの考えは、セメントで閉塞したはずの深度 1,440m付近の逸泥箇所が生きていて、ここからの流体も加味されていると考えられることである。

第3回目の測定時において、測定器は 4½" C.P. 内を深度 1,420mまでスムーズに降下したが、これ以深、ワイヤの張力がゆるやかに低下し、挿入が不可能と判断された。降下速度を変えても同様の結果であった。このため、全開状態の2次弁を絞り、再度速度を増して降下を試みたところ、うまくこの部分を通過し、元の状態に2次弁をもどして坑底まで達した。一方ケーシングプログラムによれば、4½"ケーシングは深度 1,440m以深が孔明管となっている。この事は、前者の考えの方が受け入れられることを示している。

- ④ 流入点はこの測定結果からは明確ではないが、いずれにしても坑底付近であり、掘削時の逸泥箇所とみられる。尚、回収した測定器の汚れ等の様子から、坑底部(流入点以深とみられる)には若干水柱があるものと判断される。

(4) 透水量係数の算出

PR-1の圧力測定結果から坑井周辺の地層の透水量係数の算出を試みた。PR-1の噴気流体は(3)④で述べたように坑井近傍の地層内でフラッシュしているので、坑井内の流動は2相フラッシュ流ということになる。しかし、流入点付近の乾き度(坑口状態より換算)からみると、坑井周囲の地層内での蒸気の体積割合が熱水に比べて十分大きいと考えられるし、また、地層内での流動による圧力損失は基本的に体積流量に関係するといったことから、気相流動式を用いて近似的に透水量係数を求めることにした。気相放射状流の式は、状態変化が断熱変化に基づくとして次のようになる。

$$Q = \frac{2\pi kh\gamma_w (P_e^{1+m} - P_w^{1+m})}{(1+m)\mu_w \ell_n I_e / r_w \cdot P_w^m} \dots\dots\dots (1)$$

ここで G : 蒸気流量	kg / S
P _e : 流入深度の貯留層圧力	kg / m ²
P _w : 流入深度の坑内圧力	kg / m ²
kh : 透水量係数	m ³
k : 透水係数	m ²
h : 有効層厚	m
γ _w : 流体の比重量	kg / m ³
μ _w : 流体の粘性係数	kg S / m ²
r _e : 影響圏半径	m
r _w : 坑井半径	m
m : ポリトロープ指数 (飽和蒸気 = 1.135)	

PR-1では噴気時の2段階の測定値があるので、これらを用いると、(1)は次のようになる。

$$kh = \frac{(1+m) \ell_n r_e / r_w}{2\pi (P_{w2}^{1+m} - P_{w1}^{1+m})} \cdot \left(\frac{G_1 \mu_{w1} P_{w1}^m}{r_{w1}} - \frac{G_2 \mu_{w2} P_{w2}^m}{r_{w2}} \right) \dots\dots\dots (2)$$

なお、流入点での蒸気流量については、坑口あるいはライン状態での流量状態より、坑井内の流動が等エンタルピー変化として、換算した値を用いる。

計算条件と計算結果を Table II. 1-16 に示す。

Table II. 1-16 List of Parameters used for Calculation and Result of Calculation of kh in case of PR-1

	1st step well head press. 42 kg/cm ² G total flow rate 83 t/h	2nd step well head press. 36 kg/cm ² G total flow rate 97 t/h
Pressure at feed point P _w kg/cm ² G	92.5	84.8
Steam flow rate at feed point G t/h	20.4	26.5
Specific weight of fluid at feed point γ _w kg/m ³	49.9	45.1
Viscosity coefficient of fluid at feed point μ _w kgs/m ²	2.18 × 10 ⁻⁶	2.15 × 10 ⁻⁶
Kh (m ³)	7.6 × 10 ⁻¹³	

Table II. 1-16によると、khの絶対値は1 darcy.m以下であり、他の地熱地域における値と比べると決して透水性が良いとはいえない。しかし、PR-1から実際に優勢な蒸気が得られているのは、高温流体のためと考えられた。

1.5.3 PR-8の坑井試験結果

(1) 測定方法

PR-1と同じ方法である。

(2) 測定経過

PR-8からの地熱流体は直接サイレンサーより大気放出されていて、気水分離装置がなかったため、Table II. 1-17に示すような同一条件下での測定のみになった。

Table II. 1-17 Conditions of Well Test of PR-8

Measurement	Well head condition	Well head pressure	Flow rate	Quality at atmosphere
(1) dummy temperature	2nd valve: full open	7 kg/cm ²	Gs = 45 t/h Gw = 60 G = 105 at atmosphere	0.29
(2) temperature and pressure	idem.	idem.	idem.	idem.

(3) 測定結果

PR-8の測定結果をTable II. 1-18およびFig. II. 1-61に示す。この結果から、PR-8の坑井内状況を要約すると次のとおりである。

- ① 各深度の温度と圧力は、坑口から測定器の降下した深度1,750mまで飽和関係にある。従って坑井内における流動は、PR-1と同様に2相フラッシュ流を呈しているとみられる。
- ② 深度1,750mでの坑内温度は231℃、坑内圧力は30.7 kg/cm²Gである。この付近の静止平衡時の温度は270℃以上、又圧力はこれよりずっと高い値を示す(CFEの測定)。このことより噴気流体は、坑井周囲地層内でフラッシュして坑井内に流入しているものと思われる。
- ③ 又測定器は深度1,750m以深降下できない様子から、坑底には約100mの埋没が予想される。

(4) 透水量係数の算出

PR-8では1段階の噴気試験しかできなかったので、同じ坑井内2相フラッシュ流にしてもPR-1の透水量係数算出に使用した式(2)は使用できない。そこで、静止時の圧力値を使用し、(1)式を次式のように変換して計算した。

$$kh = \frac{(1+m) G \mu_w \ell_n r_e / r_w}{2 \pi r_w} \cdot \frac{P_w^m}{P_e^{1+m} - P_w^{1+m}} \dots \dots \dots (3)$$

計算条件と計算結果をTable II. 1-19に示す。

この結果をみると、PR-8の透水性はPR-1よりも低い。これは、遭遇したフラクチャー（おそらく、深度1,790mの逸泥部分）の透水性は普通であるものの、埋没のため（測定器が深度1,750m以深降下不能）に、透水性が低下している可能性が大きい。

Table II. 1-19 List of Parameters used for Calculation and Result of Calculation of kh in case of PR-8

	Static test	Production test well head press. 7 kg/cm ² G total flow rate 105 t/h
Pressure at feed point P _w kg/cm ² G	123	30.7
Steam flow rate at feed point G t/h	-	21.5
Specific weight of fluid at feed point γ _w kg/m ³	-	15.6
Viscosity coefficient of fluid at feed point μ _w kgs/m ²	-	1.82 × 10 ⁻⁶
Kh (m ³)	2.1 × 10 ⁻¹³	

Table II. 1-15 Results of Measurement of PR-1

Date	7. Feb. 1986	8. Feb. 1986		10. Feb. 1986
Well depth	1,818 m			
Well head condition	3"φ orifice	2"φ orifice		2½"φ orifice
Well head pressure	28 kg/cm ² G	41.5 ~ 43 kg/cm ² G		36 kg/cm ² G
Depth (m)	Temperature (°C)	Temp.	Pressure (kg/cm ²)	Press.
20	228	249	42.2	34.1
100	231	251	44.0	35.0
200	233	253	45.7	36.0
300	235	255	47.3	37.0
400	237	257	48.9	38.1
500	239	259	50.4	39.1
600	241	261	52.1	40.2
700	243	263	54.2	42.1
800	245	266	56.3	44.2
900	249	268	58.4	46.3
1,000	252	270	60.7	48.4
1,100	254	273	62.9	50.4
1,160	257			
1,200		277	67.2	55.3
1,300		281	71.5	60.5
1,400		285	75.8	65.6
1,500		291	82.7	76.4
1,600		294	85.9	79.1
1,700		296	89.2	81.8
1,800		299	92.5	84.8
Number of Fig. II.1-60 and Table II.1-14	(1)	(2)		(3)

PR-1

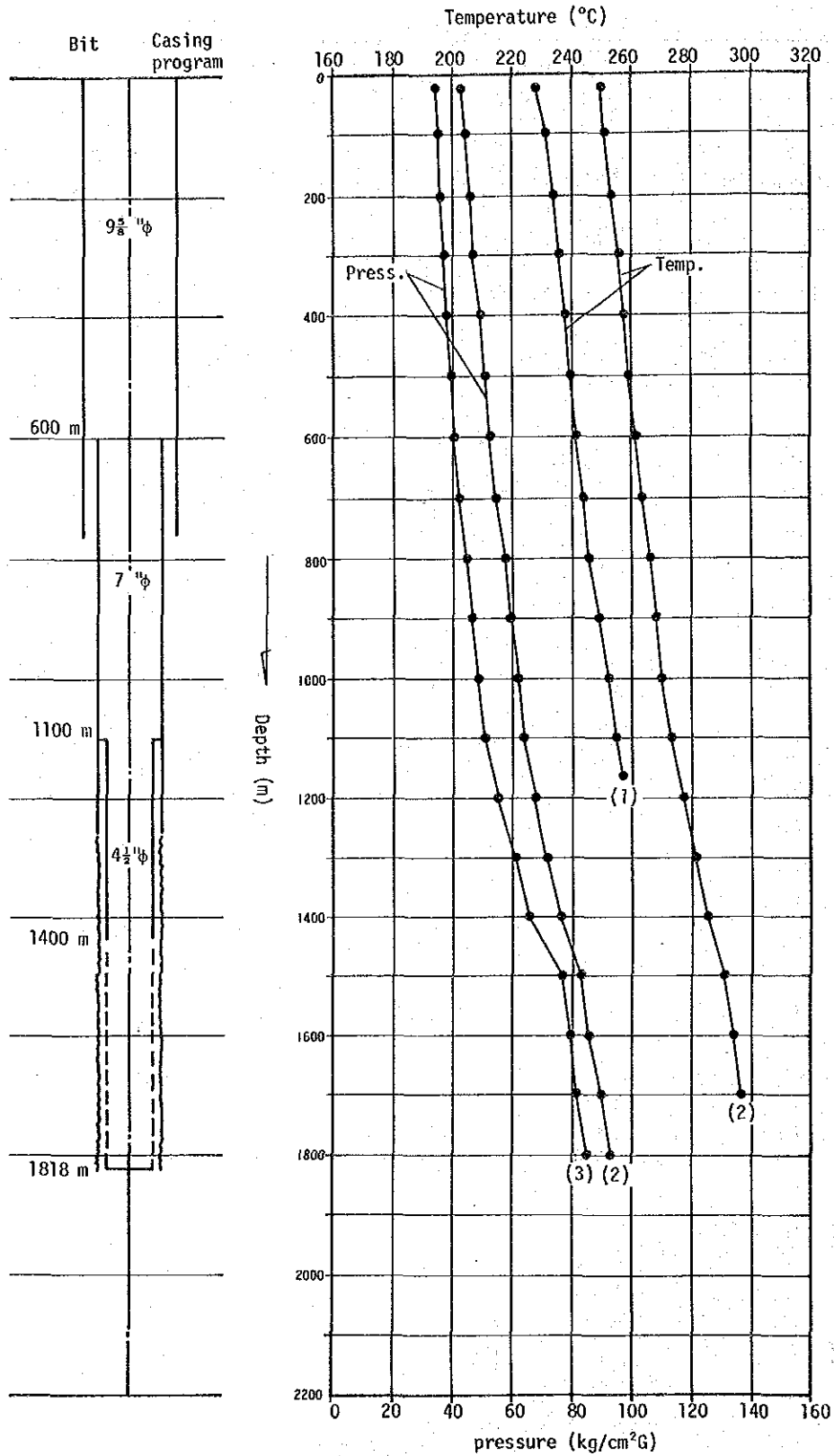


Fig. II. 1-60 Downhole Temperature and Pressure Curves of PR-1 in the Producing Condition

Table II. 1-18 Results of Measurement of PR-8

Date	30. Jan. 1986	31. Jan. 1986	
Well depth	1,861 m		
Well head condition	2nd valve: full open	2nd valve: full open	
Well head pressure	7.0 kg/cm ² G	7.0	
Depth (m)	Temperature (°C)	Temp.	Pressure (kg/cm ²)
20	167	166	7.1
100	171	170	7.9
200	174	173	8.4
300	177	176	9.4
400	180	179	10.1
500	183	182	10.8
600	185	185	11.5
700	188	188	12.4
800	191	191	13.3
900	194	194	14.2
1,000	198	197	15.3
1,100	201	200	16.5
1,200	205	204	17.8
1,300	208	208	19.2
1,400	212	211	20.8
1,500	219	218	23.8
1,600	224	224	26.8
1,700	229	228	29.2
1,750	231	231	30.7

PR-8

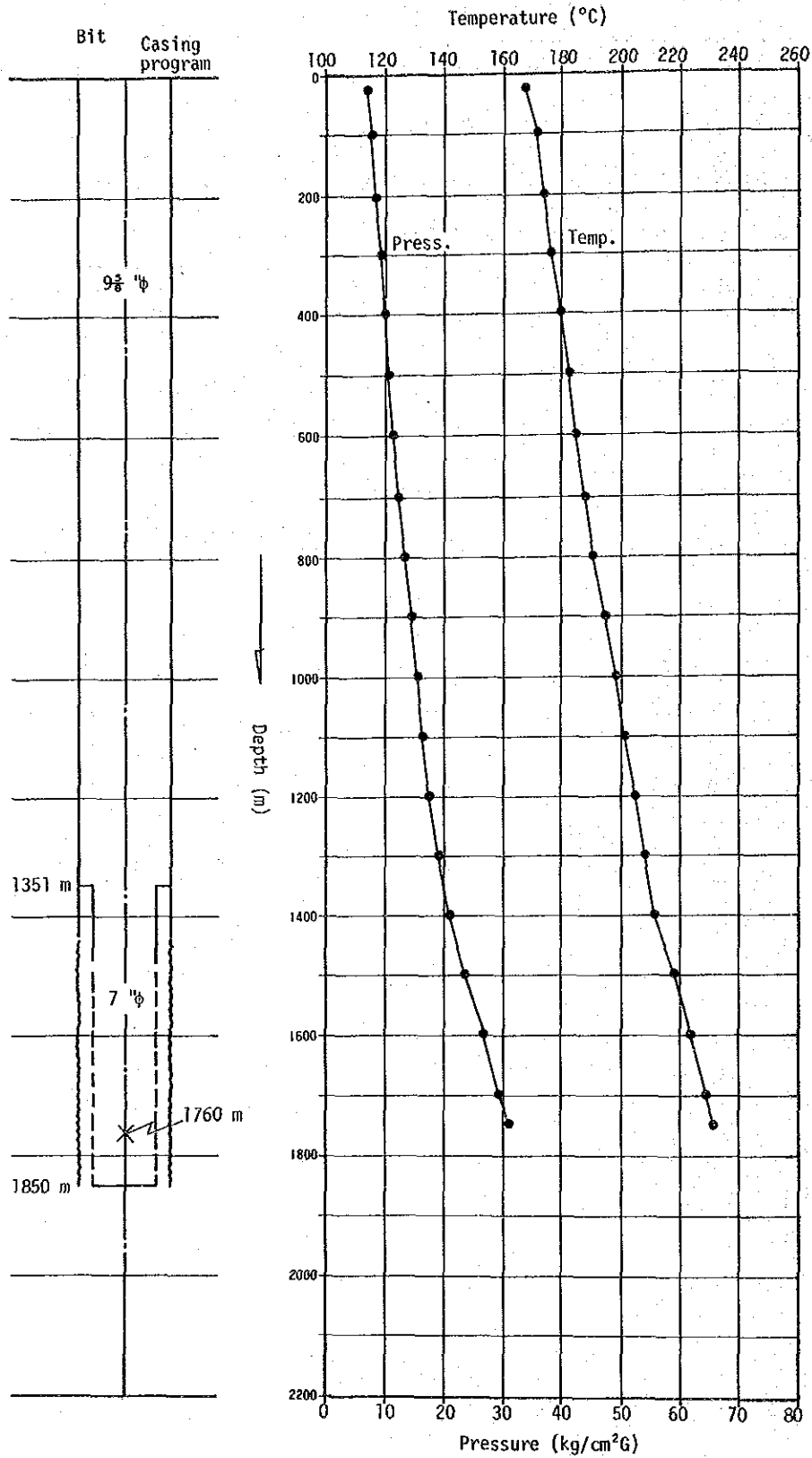


Fig. II. 1-61 Downhole Temperature and Pressure Curves of PR-8 in the Producing Condition

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

2.1.1 地熱貯留層構造

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1,000m以深、2,800m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1,000m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1,000m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1,000m程度までのフラクチャーはNE-SW性であるのに対し、1,000m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・ブリマペー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°C 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°C、PR-8 では約 280°C 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} (m³) 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う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。

2.1.2 地熱貯留層の拡がり

2.1.1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-SE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-SE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、 $5\Omega\text{-m}$ 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-SE方向になる(Fig. II. 1-5参照)。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°C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-SEと考えると、NW-SE方向に約2 km、NE-SW方向に約1.5 km、面積が約3 km²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-SE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。

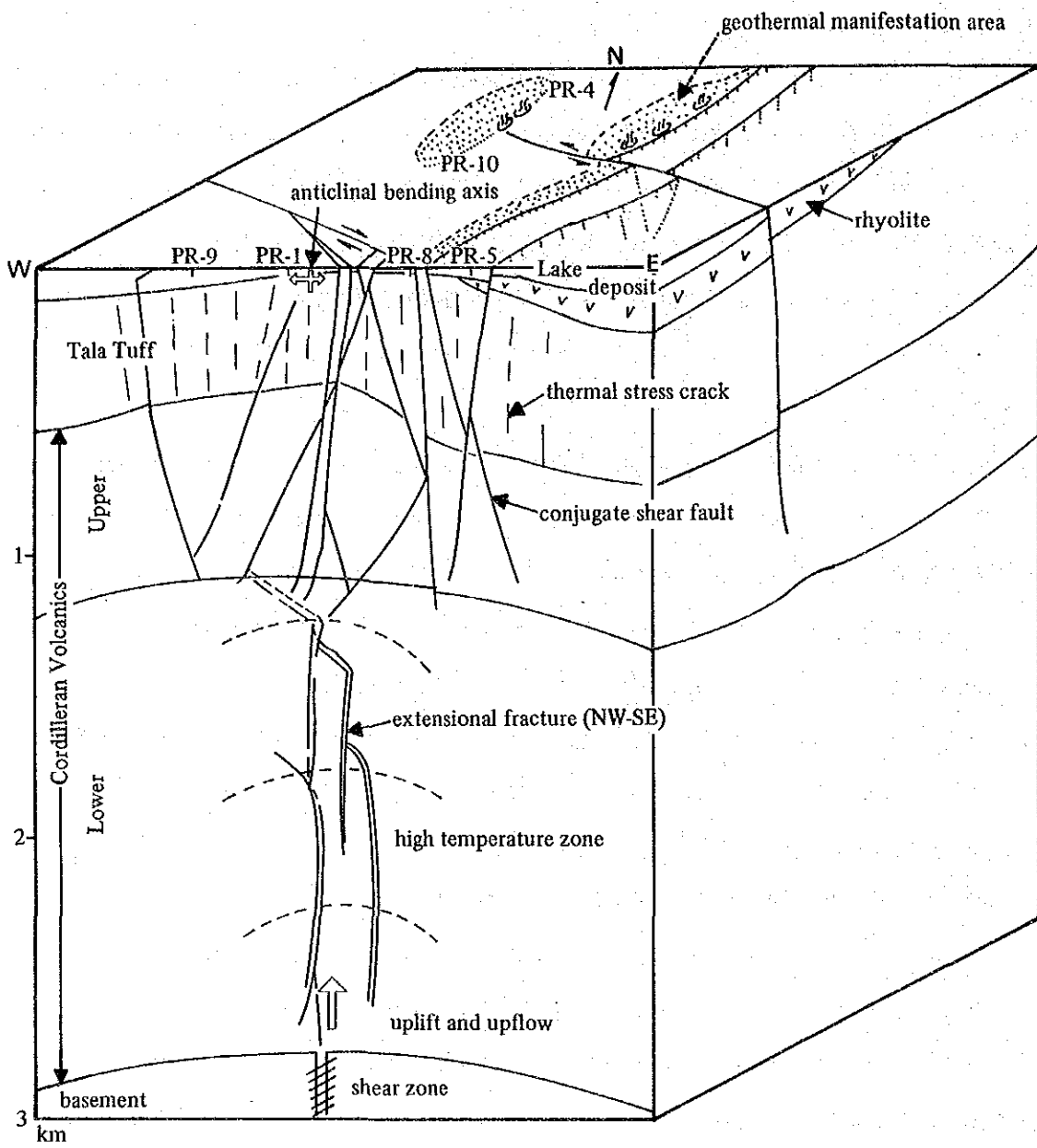


Fig. II. 2-1 Conceptual Geothermal Reservoir Model in the La Primavera

2.2 第一次調査による調査井の掘削地点選定

2.2.1 掘削地点選定の基本的な考え方

ラ・プリマベ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・プリマベ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、熱的拡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。

2.2.2 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、開発範囲を知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塁(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。

A点選定のうち②引張りフラクチャーはFig. II. 1-9に基づくものであり、B点選定のうち②背斜状曲げの軸部はFig. II. 1-5に基づいている。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。

2.2.3 調査井の調査計画

2.2.2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。

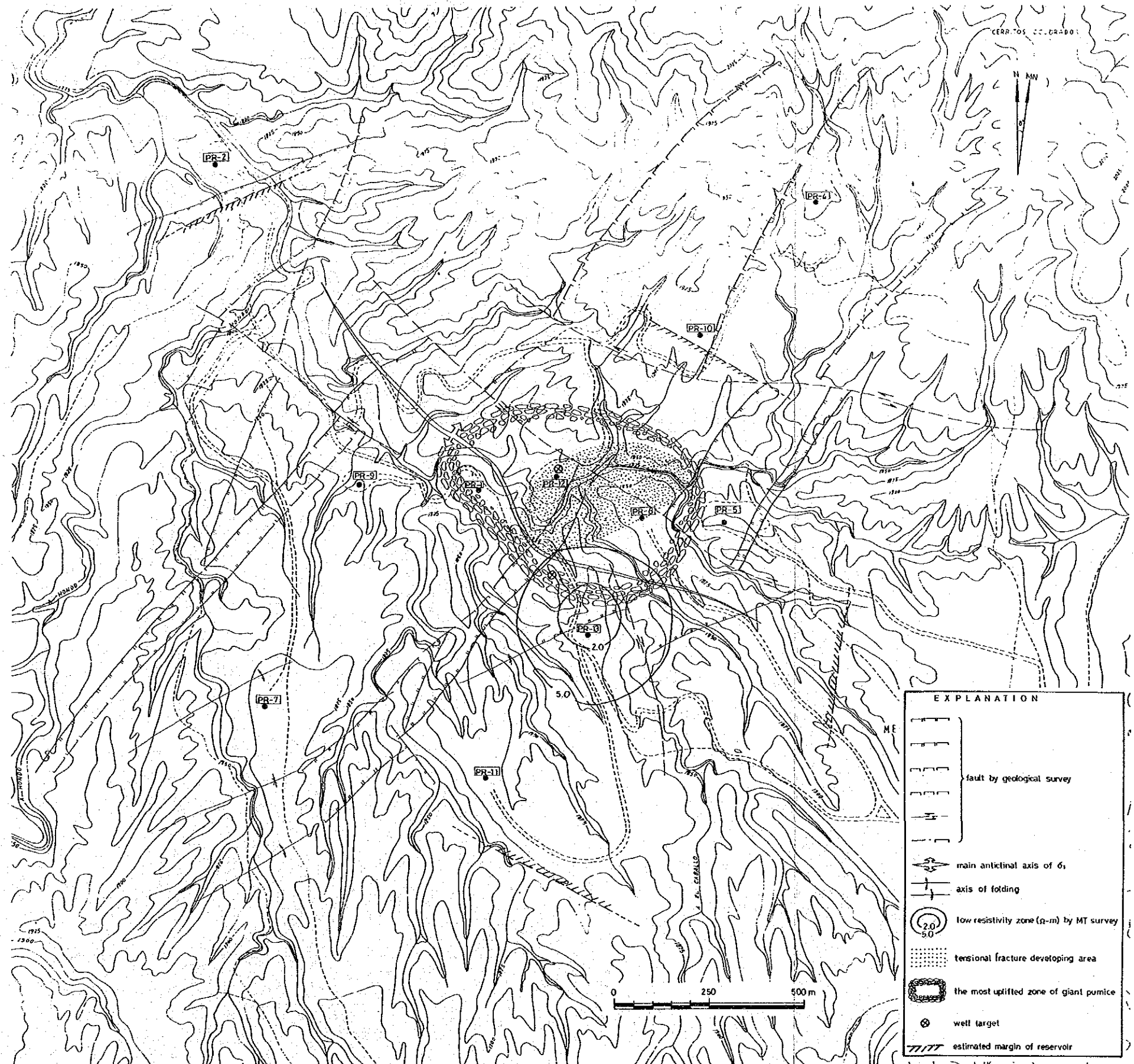


Fig. II. 2-2 Selection of Well Target of PR-12 and PR-13

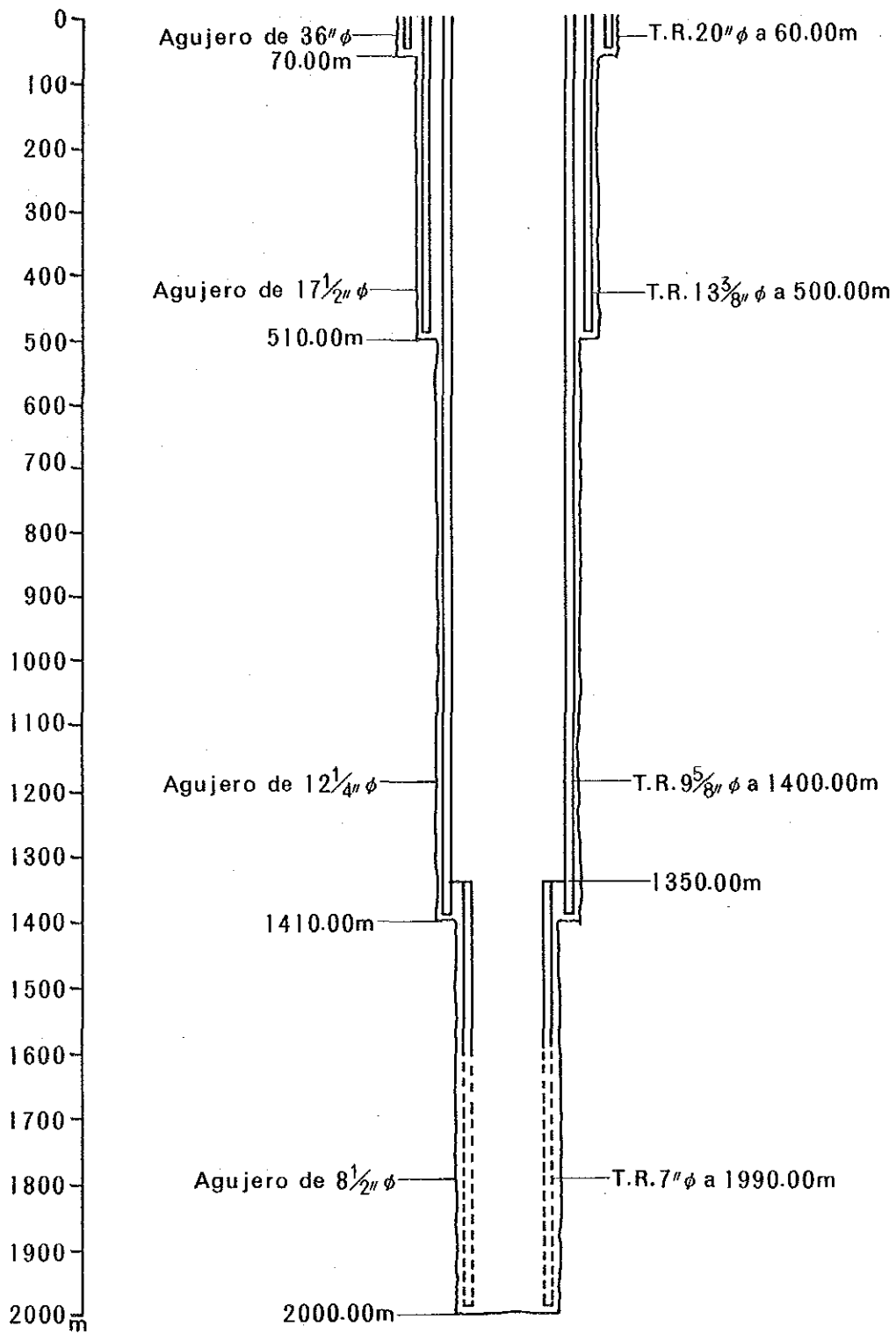


Fig. II. 2-3 Well Layout of PR-12 and PR-13

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

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

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

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

第3節 第二次調査

3.1 PR-12井の掘削および調査

3.1.1 PR-12井の掘削概要

PR-12井は開発地域のほぼ中央部に位置し、PR-1井とPR-8井のほぼ中間点にあたる。本坑井の坑口位置はJICAによって決定され、CFEが掘削を担当した。坑井掘削は昭和61年9月13日から昭和62年1月17日にかけて行われた。

本坑井のケーシングは、40"坑、26"坑、17½"坑および12½"坑をそれぞれ深度12m、112.50m、460mおよび1,365mまで掘削後、30"ケーシングパイプ(C.P)20"C.P、13½"C.Pおよび9½"C.Pをそれぞれ深度12m、108m、455.92mおよび1,350.14mまで挿入しセメンチングを行った。その後8½"坑を深度2,303mまで掘削し、7"孔明管を深度1,293.58mから2,293.00mに挿入して坑井を仕上げた。

次に、逸泥状況を述べる。深度520m以浅に分布するタラ凝灰岩中には多数の逸泥が発生している。すなわち、深度471mより浅部では各深度にわたって逸泥が確認され、とくに30m、90m、138m、159m、160m、165m、191m、194~214m、210~214m、221~225m、269m、406m、424m、471m、486mでは全量逸泥を記録している。深度510mから1,060mにかけて分布する流紋岩、石質凝灰岩および安山岩中に逸泥は殆ど発生していない。その後、深度1,182mで全量逸泥が発生し1,182mから1,364mにかけての安山岩層中で小規模逸泥が発生している。さらに深部ではしばらく逸泥はなかったが、深度2,015mから再び逸泥が起こり、2,061~2,154m間を除き、2,293mまでほぼ連続して発生している。とくに2,156mでは35kℓ/hの逸泥に遭遇している。

なお、コアの採取は坑底付近の深度2,302.50mから2,302.70mにかけて実施された。

3.1.2 PR-12井のコア・カッピングス調査

PR-12の深度1,070mから2,290mにかけて20m毎に採取した計61個のカッピングスを用いて、HgとAsの化学分析、X線回折分析、並びに流体包有物の均質化温度測定を実施した。Fig. II. 3-1にPR-12の総合柱状図を示す。

(1) Hg, Asの化学分析

Hg濃度は一般には0.02ppmないしそれ以下をとる。深度1,070~1,250mで0.04~

0.20 ppm、1,370 mで0.22 ppmと高い値を示しており、これらの深度付近は細かなフラクチャーゾーンとなっていると推定される。逸泥現象はおおよそこれと調和し、深度1,182～1,364 mにかけて小規模逸泥が発生している。深度1,600～1,800 m付近では逸泥はなかったが、HgとAs濃度に高い傾向が認められたことから、微小フラクチャーの存在が予想される。さらに深部においては、Hg濃度は深度2,010～2,070 mと2,210～2,230 mで、またAs濃度は深度1,970 m付近以深でそれぞれ高い。当坑井の深度1,970 m付近以深から坑底にかけてはフラクチャーゾーンを形成しており、深度2,015～2,061 mおよび深度2,154 m以深において逸泥として現われたと考えられる。

(2) X線回折分析

鉱物の同定はX線粉末回折分析により決定した。粘土鉱物については、水ひ法により粘土鉱物を集めた後、スライドガラス上で風乾させた定方位試料について、未処理、エチレングリコール処理および塩酸処理を行い、粘土鉱物の同定を行った。変質鉱物としてモンモリロナイト・緑泥石／モンモリロナイト混合層鉱物・緑泥石・セリサイト・石英・方解石・黄鉄鉱・濁沸石が認められた。

金原・角(1975)によれば、モンモリロナイトは80～160℃(一般に120℃前後が多い)で消滅し、180～250℃でセリサイトが出現するようになる。当地域では、モンモリロナイトは291～338℃の回復温度(スタンディングタイム289日、昭和62年11月11日測定)を示す深度1,070～2,290 mにわたってほぼ普遍的に分布しており、過去の変質期から現在にかけて地下温度は130℃以上上昇したことがわかる。濁沸石は深度1,650 mにのみ産する。この鉱物は200～240℃以下で安定であり、それ以上ではワイラケ沸石が安定となる。この深度での回復温度は313℃であり、濁沸石からも前記の温度変遷が示唆される。深度1,870～1,930 m間に分布するカリ長石は、同深度付近に流紋岩中の班晶として存在するものである。

(3) 流体包有物の均質化温度

流体包有物の均質化温度の測定は5つの深度(670 m、1,270 m、1,670 m、1,970 m、2,250 m)から採取した石英と硬石膏を用いて、加熱顕微鏡で行った。

各深度における最低均質化温度の分布幅は深度1,670 mおよび1,970 mで20～38℃とやや広いものの、その他の3深度では2～8℃と非常に狭いことから、各包有物はほぼ同時期に生成したと考えられる。深度に伴う最低均質化温度を見ると、深度670 mから1,270 mにかけて182℃から284℃へと急上昇するが、それ以深では著しい変化を示

さず284~300°Cの範囲にある。

3.1.3 PR-12井の熱水化学性状調査

(1) 試料採取

昭和63年1月28日にPR-12の坑井調査を実施した。

蒸気および蒸気凝縮水は、セパレーター後の蒸気ライン上部に設置したサンプリングバルブに小型セパレーターを接続して蒸気を取り出して採取した。熱水は、二相流ライン下部のサンプリングバルブから二相流を取り出して大気圧下で採取した。PR-12における試料採取状況を、Fig. II.3-2に示す。

採取した試料について、不安定な成分であるpHおよびH₂Sは現地の化学実験室でただちに分析を行い、保存中に濃度変化が予想される成分については、酸やアルカリを添加したり、蒸留水で希釈するなどの処理をほどこして日本に持ち帰り、化学分析および同位体分析を実施した。

(2) 分析結果および考察

化学分析および同位体分析の結果をTable II.3-1に示す。

セパレーター圧力75psi(5.3kg/cm²G)で気液分離した蒸気のトータルガス濃度は、2.28vol.%であり、このうちCO₂が98.5vol.%である。アルカリ溶液に溶解しないガスの中ではCH₄が最も多く、このことは、昭和61年に調査を行ったPR-1およびPR-8と類似している。

PR-12蒸気のHe/Ar比は、PR-1およびPR-8蒸気のHe/Ar比よりやや高いが、日本の主な地熱地帯の蒸気のN₂/Ar比に対するHe/Ar比の関係にくらべてかなり高い値を示している。

蒸気凝縮水は、pHが6.00と弱酸性であり、電気伝導度は185μS/cmである。NH₄以外のCl、As、およびHg濃度は極めて低い値を示している。

熱水は、NaおよびClに富んだ中性のものであり、SO₄およびCaは少ない。熱水の水素および酸素同位体組成は、δDが-60.1‰、δ¹⁸Oが-0.8‰であり、δDは昭和61年に調査したPR-1およびPR-8の値より若干軽く、δ¹⁸OはPR-1とPR-8の値の間間的な値である。トリチウム濃度は、0.31TR(1TR=10¹⁸×T/H)であり現在の地表水の値(10~30TR)と比較して極めて低いことから、新しい地表水の貯留層への浸透は少ないと考えられる。

熱水の溶存成分から、いくつかの地化学温度計をもちいてPR-12の貯留層温度をもとめた結果をTable II.3-2に示す(P R - 13の結果も加えた)。

得られた温度は、270～330℃であり、Na-K-Ca温度が他より低い温度を示す。適用温度の上限が275℃とされているSiO₂温度計の値が308℃であり、CFEが行ったスタンディングタイム96時間の温度検層では、318℃が記録されている。したがって、PR-12の貯留層温度としてはNa/K温度計の値が信頼でき、PR-12の貯留層温度は、320～330℃程度と推定できる。この温度は、昭和61年に調査したPR-1およびPR-8の地化学温度より高く、これらの坑井よりPR-12は熱的に優勢と考えられる。また、B/Cl比については、PR-12とPR-1およびPR-8の間に同位体組成同様に大きな差はなく、熱水の起源は同じと考えられる。

また、PR-12熱水のCl濃度とSiO₂濃度は、昭和63年1月調査時、8月調査時およびこの間に行われたCFEの調査でほとんど変化が見られなく、貯留層および坑井内状況は安定しているといえる。

PR-12および他坑井の化学データに基づく当地域の考察は、第III章の1.1.4で述べる。

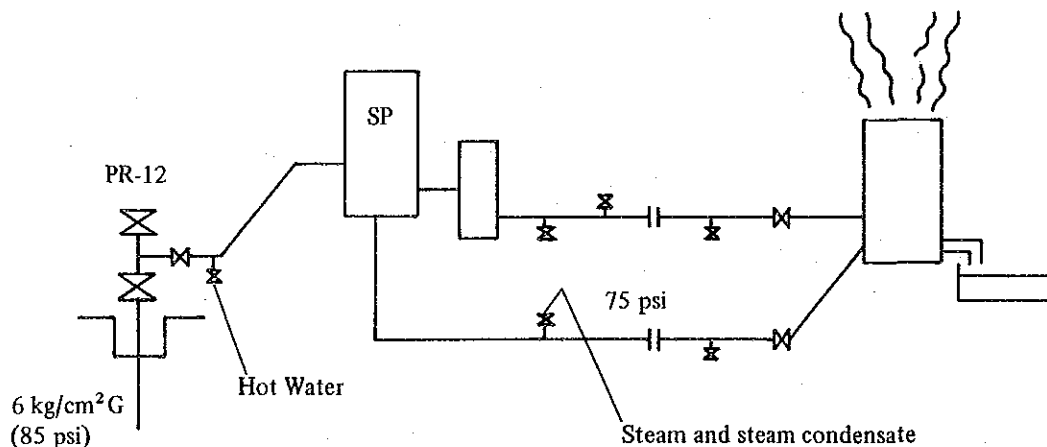


Fig. II. 3-2 Sampling Condition of PR-12

Table II. 3-2 Estimate of Reservoir Temperature of PR-12 and PR-13

Well	Geothermometer (°C)			
	Quartz-maximum steam loss	Na/K (Fournier)	Na/K (Truesdell)	Na-K-Ca
PR-12	308	322	330	270
PR-13	278	269	255	236

PR-12: 28/Jan./1988
PR-13: 12/Aug./1988

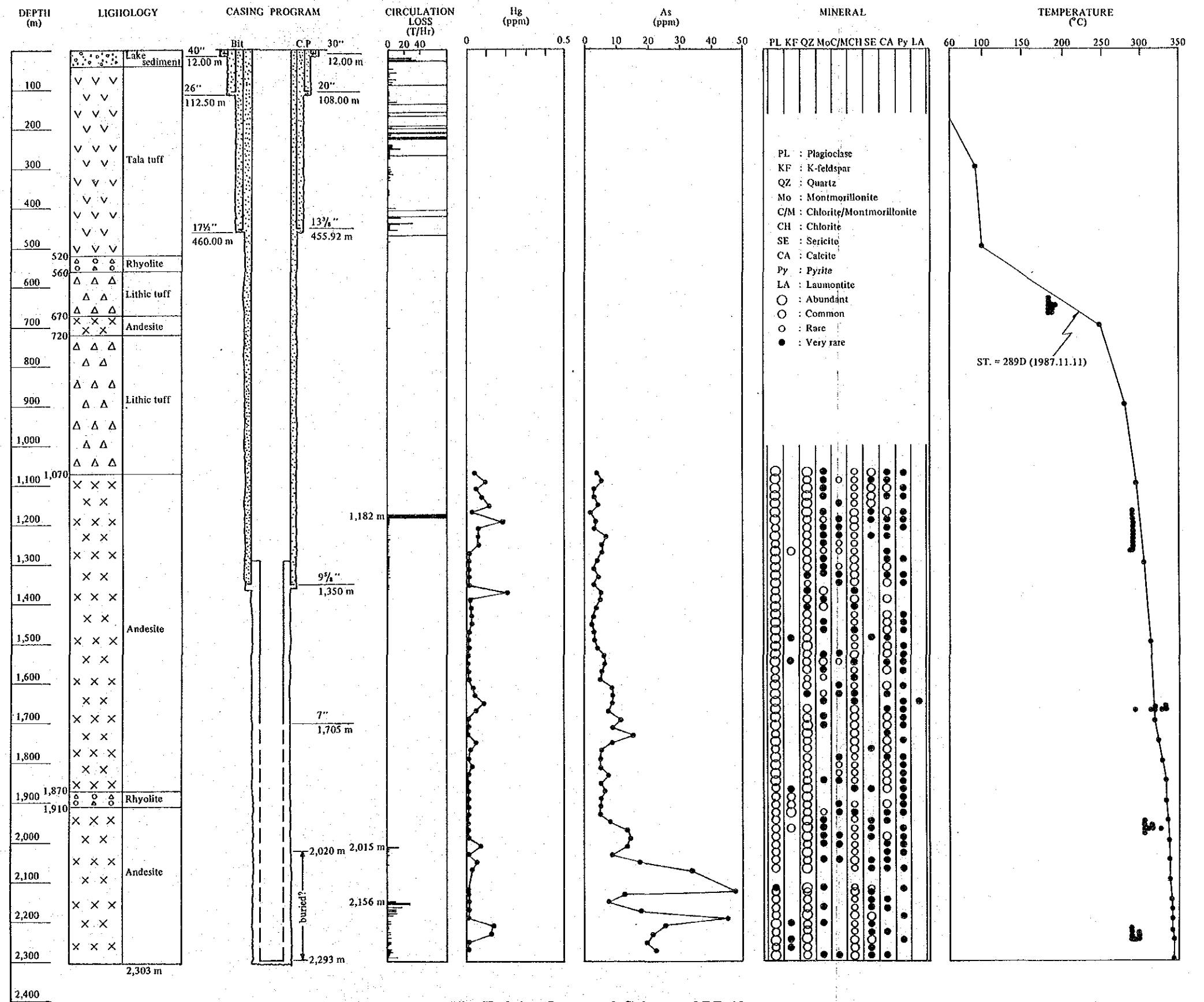


Fig. II. 3-1 Integrated Column of PR-12

Table II. 3-1 Chemical Composition of Well Discharge Sample from PR-12

(1) Gas composition of steam

	PR-12	PR-8	PR-1	PR-9	PR-11
Liquid-vapor (psi) separate pressure	75	105	*	*	Dry gas
Total gas in steam (vol. %)	2.28	2.39	0.24	0.12	100
Gas Composition	H ₂ S (vol. %)	1.0	0.4	1.6	4.4
	CO ₂ (vol. %)	98.5	99.0	97.9	95.2
	H ₂ (ppm)	895	81.0	515	101
	N ₂ (ppm)	1110	1450	2560	3560
	CH ₄ (ppm)	2960	4430	1870	276
	He (ppm)	20.0	17.0	7.00	1.35
	Ar (ppm)	17.3	25.0	54.5	56.8

(2) Chemical composition of steam condensate

Component	Unit	PR-12
Electrical conductivity	μS/cm	185
pH	-	6.00
Cl	mg/l	0.71
NH ₄	mg/l	24.5
As	mg/l	0.004
Hg	mg/l	0.0003

(3) Chemical composition of hot water

Component	Unit	PR-12
Electrical conductivity	μS/cm	4,470
Total dissolved solids	mg/l	4,470
pH	-	7.32
Cl	mg/l	1,280
SO ₄	mg/l	18.8
H ₂ CO ₃	mg/l	10
HCO ₃	mg/l	87
CO ₃	mg/l	<1
Na	mg/l	740
K	mg/l	203
Ca	mg/l	4.85
Mg	mg/l	0.06
Fe	mg/l	0.17
Al	mg/l	0.509
SiO ₂	mg/l	1,340
Li	mg/l	9.37
B	mg/l	200
F	mg/l	2.6
NH ₄	mg/l	3.4
As	mg/l	20.0
Hg	mg/l	0.0003
D/H	‰ (SMOW)	-60.1
¹⁸ O/ ¹⁶ O	‰ (SMOW)	- 0.8
Tritium	TU	0.31

3.1.4 PR-12井の坑井試験

(1) 測定方法および測定状況

PR-12で実施した坑井試験は、オリフィスで調整した設定流量毎に、噴気中の坑井内温度分布と圧力分布を測定する方法である。この測定は、坑口に圧力がかかっている状態で実施されるため、測定器の坑井内への挿入や回収はリューブリケーターを介して行われる。測定は、昭和62年度にJICAがCFEに供与した測定機器を使用して実施された。測定概要をFig. II.3-3に、主な使用機器をTable II.3-3に示す。

本坑井の試験では、Table II.3-4に示すような流量特性で3回の測定を実施した。第1回目は、2次弁全開で開口径が3"φのオリフィスによる流量調整のもとで、6.2kg/cm²Gの坑口圧力で温度測定を実施した。本坑井の坑底深度は2,303mであるが、測定器が2,020m以深に降下しなかったため、2,000mを最終測定深度とした。第2回目は、第1回目と同じ坑口条件で圧力測定を実施したが、坑口圧力は10.7kg/cm²Gと第1回目と比較して上昇していた。第3回目は、流量調整が困難なためオリフィスを用いず、2次弁開度を調節して流量を調整し、11.1kg/cm²Gの坑口圧力で温度・圧力同時測定を実施した。

なお、PR-12の坑井試験は、噴気開始後間もない実施であったため、流量に変動がみられたり、噴出する熱水に砂状物が多量に含まれるなど、坑井自体が十分に安定した状態ではなかったものと考えられる。

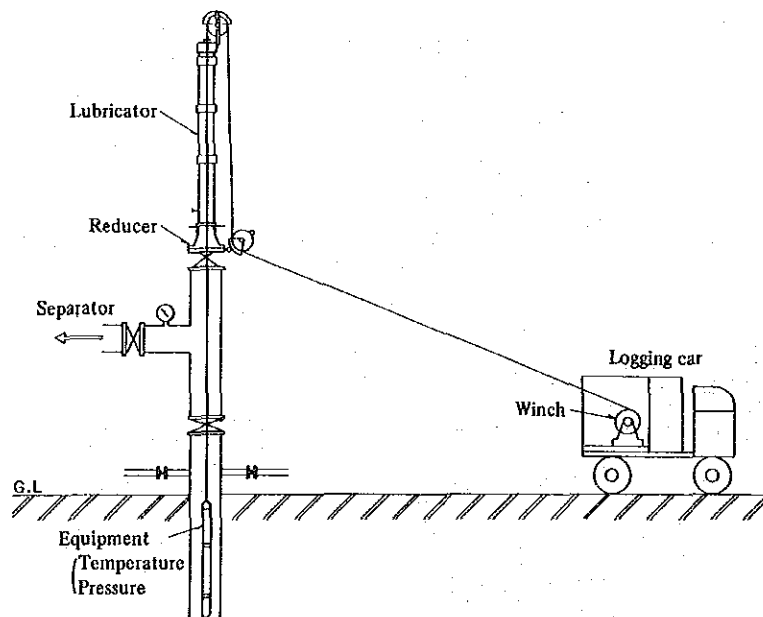


Fig. II. 3-3 Outline of Logging of PR-12

Table II. 3-3 Instruments used for Well Test of PR-12 and PR-13

Description	Maker	Model	Specification
Temperature element	KUSTER (USA)	P/N 600-138KT	Temp. range: 50 ~ 350°C
Pressure element	KUSTER (USA)	P/N 10200-103KPG	Max. pressure: 250 kg/cm ²
Clock	KUSTER (USA)	P/N 1201-509KPG	6 Hrs (2 sets) Temp.: 175 ~ 350°C
Lubricator	SEKISAKU		Size: 2B x 5.51 m (total) Working pressure: 50 kg/cm ²
Wire rope	SHINKO		Material: SUS 304 Diameter of rope: 5 mm Const. of rope: 7 x 19 ss/o Spec. B.S.: 1,700 kg Length: 3,300 m
Drum	SEKISAKU		Max. line speed: ± 3,000 m/hr Drum spool size: 210 mmφ x 500 mm Wire line capacity: 5mmφ x 3,300 m Drive system: Roller chain drive (oil hydraulic)
Depth meter	SOKUKIKI		Digital display
Tension meter	NMB	CSD-801	Digital display

Table II. 3-4 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"φ orifice 2nd valve: full open	idem.	Regulated by 2nd valve
Well head pressure (kg/cm ² G)	6.2	10.7	11.1
Flow rate (t/h)	G _s ≐ 30 G _w ≐ 10 G ≐ 40 at atmosphere	G _s = 16.1 G _w = 20.4 G = 36.5 at separator (9.9 kg/cm ² G)	G _s = 18.9 G _w = 18.1 G = 37.0 at separator (10.3 kg/cm ² G)
Quality at separator		0.441	0.511

(2) 測定結果

PR-12の坑井内温度と圧力の測定結果をTable II.3-5およびFig. II.3-4に示す。これらの結果より本坑井の坑井内状況を考えると以下ようになる。

- ① 坑井内各深度の温度と圧力の関係は、坑口より深度2,000 mに至るまではほぼ飽和関係にある。したがって坑井内はすべて2相フラッシュ流を呈しているとみられる。
- ② 流入点は、温度分布および圧力分布から推定して、深度2,000 m付近と考えられる。
- ③ 深度2,000 mでの坑井内温度は220℃、坑井内圧力は23.1 kg/cm² absである。一方この付近の静止平衡時の温度および圧力は、それぞれ約330℃および約150 kg/cm² absとかなり高い値を示す(CFE測定)。このことより噴気流体は、坑井周囲地層内でフラッシュして坑井内に流入しているものと考えられる。
- ④ 測定器が深度2,020 m以深降下できなかったが、張力応答および坑井内からの砂状物の噴出などから考えて、坑底には約300 mの埋没があるものと推定される。

(3) 透水量係数の算出

PR-12の圧力測定結果から坑井周囲地層の透水量係数の算出を試みた。

本坑井からの噴気流体は、前述したように坑井周囲の地層内でフラッシュしているものとみられる。すなわち地層内の流動は2相フラッシュ流ということになる。しかし、流入点付近の乾き度からみて、坑井周囲地層内での蒸気の体積割合が熱水に比べて十分大きいこと、また地層内での流動による圧力損失は基本的に体積流量に関係することから、本坑井に関しては、気相流動式を用いて近似的に透水量係数を求めることにした。

気相放射状流の式は、状態変化が断熱変化に基づくとして次のように表わされる。

$$G = \frac{2\pi kh\gamma_w (P_e^{1+m} - P_w^{1+m})}{(1+m)\mu_w \ell_n r_e / r_w \cdot P_w^m} \dots\dots\dots (1)$$

ここで	G : 蒸気流量	kg/s
	P _e : 流入深度の貯留層圧力	kg/m ²
	P _w : 流入深度の坑井内圧力	kg/m ²
	kh : 透水量係数	m ³
	k : 透水係数	m ²
	h : 有効層厚	m
	γ _w : 流体の比重量	kg/m ³
	μ _w : 流体の粘性係数	kg s/m ²

r_e : 影響圏半径 m

r_w : 坑井半径 m

m : ポリトロープ指数 (飽和蒸気 = 1.135)

(1)式より透水量係数を求める計算式は次のようになる。

$$kh = \frac{(1+m)G\mu_w \ell_n r_e / r_w}{2\pi r_w} \cdot \frac{P_w^m}{P_e^{1+m} - P_w^{1+m}} \dots\dots\dots (2)$$

また、噴気時の2回の測定値を用いると次式のようなになる。

$$kh = \frac{(1+m) \ell_n r_e / r_w}{2\pi (P_{w2}^{1+m} - P_{w1}^{1+m})} \cdot \left(\frac{G_1 \mu_{w1} P_{w1}^m}{r_{w1}} - \frac{G_2 \mu_{w2} P_{w2}^m}{r_{w2}} \right) \dots\dots\dots (3)$$

本坑井の計算には(3)式を用いた。なお、流入点での蒸気流量については、セパレータ付近での流量状態より、坑井内の流動を等エンタルピー変化として換算した値を用いている。

計算条件を Table II. 3-6 に、計算結果を Table II. 3-7 に示す。

Table II. 3-6 List of Paramerters used for Calculation of kh in case of PR-12

Stage		II	III
Well head pressure	(kg/cm ² G)	10.7	11.1
Total flow rate	(t/h)	36.5	32.2
Pressure at feed point	P _w (kg/cm ² abs)	20.5	23.1
Steam flow rate at feed point	G (kg/s)	4.00	3.44
Specific weight of fluid at feed point	γ_w (kg/m ³)	10.1	11.4
Viscosity coefficient of fluid of feed point	μ_w (kgs/m ²)	1.64×10^{-6}	1.66×10^{-6}

Table II. 3-7 Results of Calculation of kh in case of PR-12

Well	kh (m ³)
PR-12	2.7×10^{-13}

PR-12の透水量係数は、0.3darcy.m程度で、PR-8とほぼ等しい値であり、著しく透水性が良いとは言えない。これは、坑底の約300m上で測定器が降下しなかったことから、埋没などの原因で透水性が小さくなっているためと考えられる。

3.1.5 PR-12井の総合評価

(1) フラクチャーの評価

深度520m以浅に分布するタラ凝灰岩中には多数の逸泥が発生しており、PR-12の掘削終了後、昭和62年11月11日に実施したスタンディングタイム289日後の温度回復試験結果は同層準で100℃以上の低温状態を示す。したがって、タラ凝灰岩は天水の浸透が著しい地層であると判断される。

本坑井のプロダクションテストはJICAによって昭和63年1月30日から2月2日にわたり実施された。それによれば、PR-12に流入している流体は坑井周辺でフラッシュし、深度2,015m付近から流入していると推定された。逸泥現象は深度2,015～2,061mに見られることから、当逸泥をもたらしたフラクチャーが主たる蒸気供給層になっていると考えられる。当フラクチャーの透水量係数は $2.7 \times 10^{-18} \text{ m}^3$ ではPR-8と等しい値を示し、著しく透水性が良いとはいえない。

この検層によって、深度2,020m以深は埋没していると推定された。逸泥現象、Hg・As濃度から本坑井の深部にはフラクチャーが存在すると予想されるが、これらは現在生きていないので、今後埋没の確認および除去作業を実施することが望ましい。

コルディリェーラン火山噴出物下部層中の流紋岩上面 (Fig. 1-16のHorizon 3)の形をみると、PR-12の場所で明瞭な背斜軸が認められる。このことはupliftの中心がこの部分にあることを示し、深度2,015m、2,156m等のフラクチャーは背斜軸の縦型フラクチャーに起因していると考えられる。

また、深度1,182mの全量逸泥は断層の傾斜から判断して、LOS MUERTOS断層によるものと考えられる。

(2) 温度の評価

スタンディングタイム289日の温度回復試験結果から、深度1,900m以深の地下温度は330℃以上と非常に高温であると判断される。温度は地表から深度1,200m付近にかけて急上昇した後、深度1,700mまではゆるやかに上昇している。深度1,700mに温度変曲点がみられ、1,700～1,900m間を7.5℃/100mの増温率で急上昇した後坑底までゆるやかに上昇する。これらの温度パターンから、深度1,700m付近に貯留層境界があり、それ以深はより高温の貯留層を形成していると考えられる。このことは掘削時に測定されている泥水の出入りの温度の深度に伴う変化からも支持される。泥水温度変化の著しい場所は深度1,680～1,720m付近に見られ、ここで急上昇するが、その後は

安定傾向を示している。

次に、温度回復試験、流体包有物の均質化温度および変質鉱物から、地下温度を考察する。前述のように、各流体包有物はほぼ同時期に生成したと考えられるが、各深度での均質化温度は検層温度と比して一般的に10~50℃ほど低い。一方、モンモリロナイトや濁沸石などの変質鉱物の分布から、過去の変質期から現在にかけて地下温度は130℃以上上昇したと推定された。これらの結果を総合すると、①流体包有物は石英や硬石膏などの生成時にトラップされた ②変質期→流体包有物トラップ期→現在という過程で、地下温度は上昇傾向を示したと推定される。

(3) 掘削前の予測と掘削結果の比較

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塁上にある。
- 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ス中のHg・As高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 Ⅱ.1-10およびⅡ.1-16によれば、PR-12の部分が最も隆起している(uptiftの中心)ことが明らかとなった。
- ⑤ Figs Ⅱ.1-10およびⅡ.1-18(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。しかし、その割に蒸気噴出流量が少ない。これは深度2,020m以深の坑内埋没によるものと考え

られる。

(4) PR-12井の坑井能力

Table II.3-4 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.3-5 に示す。この図によると坑口圧 $7 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ (8 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 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.3-4 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°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°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。

PR-12

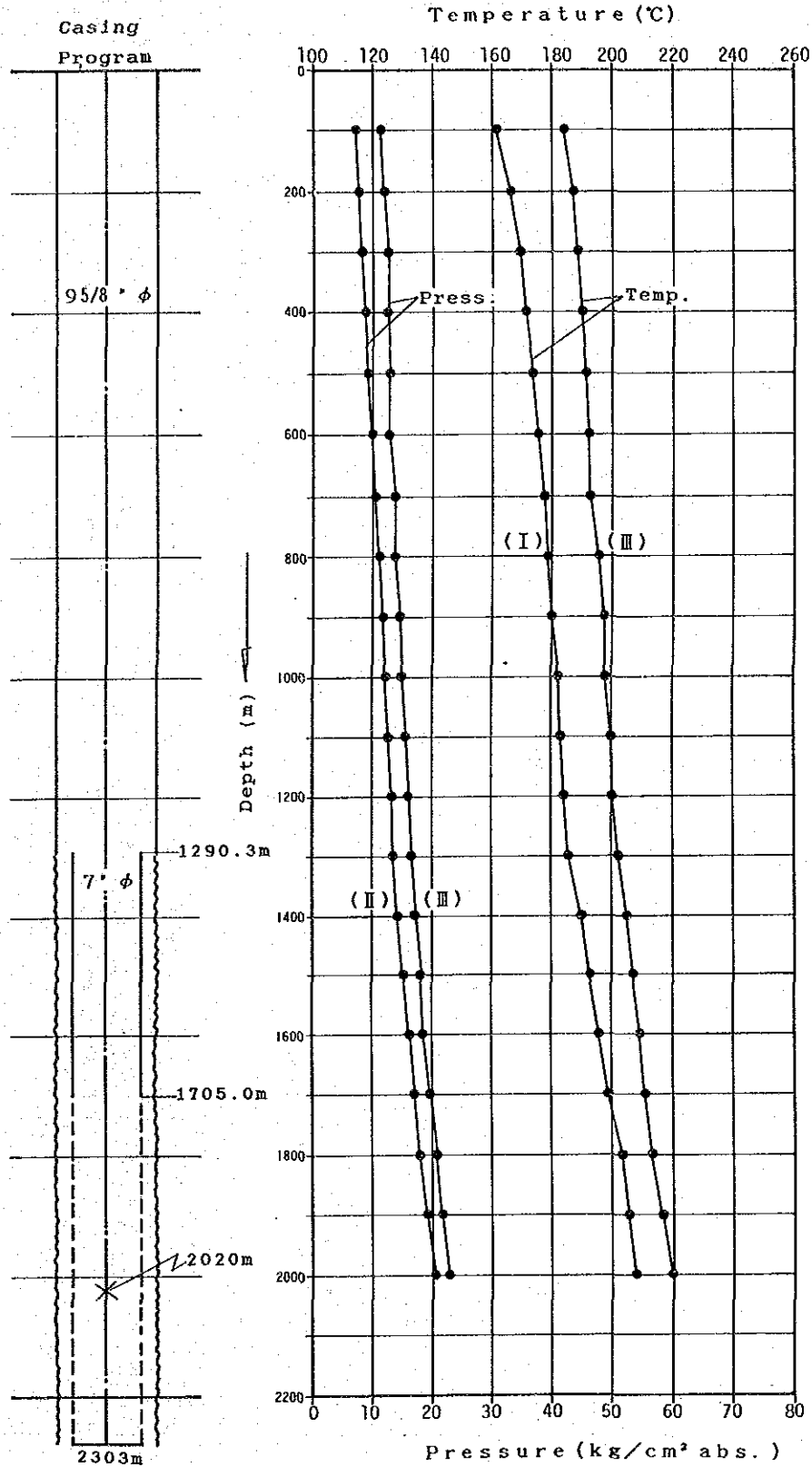


Fig. II. 3-4 Downhole Temperature and Pressure Curves of PR-12 in the Producing Condition

Table II. 3-5 Results of Measurement of PR-12

Stage	I	II	III	
Date	30. Jan. 1988	31. Jan. 1988	2. Feb. 1988	
Well head condition	3" ϕ orifice	3" ϕ orifice		
Well head pressure	6.2 kg/cm ² G	10.7 kg/cm ² G	11.1 kg/cm ² G	
Depth (m)	Temperature ($^{\circ}$ C)	Pressure (kg/cm ² abs)	Temp.	Press.
0	114		167	10.5
100	161	7.1	184	11.3
200	166	7.6	187	11.9
300	169	8.1	188	12.3
400	171	8.9	189	12.5
500	173	9.3	191	12.9
600	175	10.0	192	13.0
700	177	10.8	192	13.6
800	178	11.6	195	14.0
900	180	11.9	197	14.3
1,000	182	12.3	198	14.9
1,100	183	12.8	199	15.4
1,200	185	13.6	200	15.9
1,300	186	13.8	202	16.4
1,400	190	14.6	205	17.1
1,500	193	15.5	207	17.8
1,600	196	16.4	209	18.5
1,700	199	17.5	211	19.5
1,800	203	18.2	214	20.8
1,900	205	19.2	216	21.7
2,000	208	20.5	220	23.1

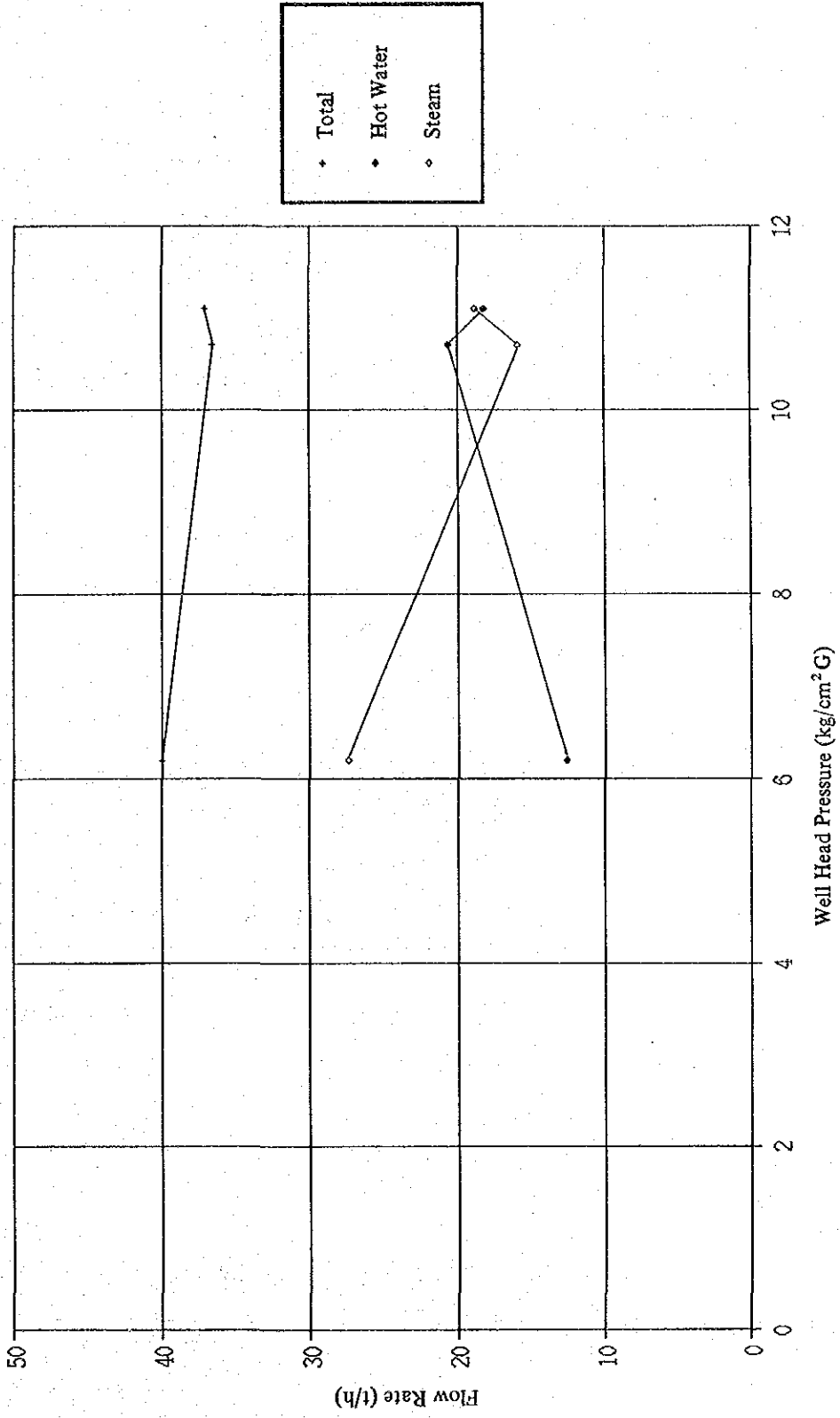


Fig. II. 3-5 Characteristics of Well head Pressure VS. Flow Rate of PR-12

3.2 PR-13井の掘削

3.2.1 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・プリマベラ地域 (Fig. II.3-6) に計画された。本坑井のケーシング計画は Fig. II.3-7 に示すように 26" 坑、17 1/2" 坑および 12 1/4" 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)、13 3/8" C.P および 9 5/8" 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 8 1/2" 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	2,000 m
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 13 3/8" C.P ~ 一般セメンチング 9 5/8" C.P ~ 二段セメンチング
傾斜測定	100m ごとに実施
温度検層	9 5/8" 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ー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。

3.2.2 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 12 1/4" 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 まで掘削された。12 1/4" 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、最終的に逸泥層を完全に閉塞することができず、深度82～112mの12¼"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掘が行われた。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、12¼"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17½"に拡掘が開始された。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掘を行ったところ、深度404m拡掘中に第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13¾"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17½"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17¾"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18¾"に拡掘を行い、それ以深を18¾"ウォッシュ・オーバーパイプで17½"HOPの下部の深度417.20mまで拡掘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のセメント浚いは全量逸泥の状態で行われた。その後更に深部拡掘中に合計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% 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、12 1/4" 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 日間で費された。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、8 1/2" 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 ~ 1,503 m 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、

1,873～1,877m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、2,006.80m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1,999m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370mの深度にあることが判明した。引き続き、深度1,400mに圧力計を設置した状態で坑口から1,000ℓ/minの割り合いで清水を約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1,400m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7kg/cm²を示したがそれ以外は0kg/cm²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1,353.75mから1,999.52m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. 3-8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. 3-9に掘削装置設置図、またTable II. 3-8に掘削装置一覧表を示す。

3.2.3 ビット記録

Fig. II. 3-10とTable II. 3-9にそれぞれビット使用記録と掘進および逸泥記録図を示す。

3.2.4 逸泥と逸泥対策

Fig. II. 3-11に逸泥深度と逸泥対策深度図を示す。

これに基づいて、掘削中の逸泥とその対策を各段階ごとに分けて以下に示す。

(1) 掘削開始から20"C.Pセットまで

12¼"ビットで掘削を開始し深度64mで最初の全量逸泥が発生したため深度72mま

で全量逸泥のまま掘進したのち2回セメントプラグを行った。しかしセメント浚い途中で全量逸泥となったため、そのままの状態ですべて91mまで掘進し4回セメントプラグを行った。しかし、前回同様セメント浚い途中で全量逸泥となったため、同深度で3回セメントプラグを行ったが、結果的に逸泥層を閉塞することができず、結局、深度112mまで同様の作業を繰り返し合計10回のセメントプラグを実施した。その後17½"坑を20"坑に、更に26"坑に拡張したがセメントプラグを実施しても効果がないと判断されたため、逸泥対策を実施せず全量逸泥のまま掘削作業を行った。この結果、20"C.Pのセメンチングは全量逸泥の状態ですべて実施せざるを得ない状況になり、セメントスラリーは地表まで回帰しなかった。

(2) 13½"C.Pセットまで

20"C.Pセット後、12¼"ビットで掘削を開始したが20"C.P戻りから約10cm掘進した深度117mで再び全量逸泥が発生した。このため、前述のように、逸泥掘りですべて一定区間を掘進した後、セメントプラグを行いセメント硬化後セメント浚いをするといった手順で逸泥対策を実施したが多くの場合、セメント浚い中に再び全量逸泥が発生した。

結局、深度612mに達するまでに14ヶ所の異なる深度で合計24回(通し番号で11回目から34回目)のセメントプラグを行った。ほとんど全量逸泥の中で掘削したが、深度238~340m、412~460mおよび540~560mの合計約170mだけは、少量の逸泥または全く逸泥がない状況で掘削を行った。

その後、17½"坑の掘削を開始したが、逸泥状況は12¼"坑掘削時と同様で合計8回(同35回目から42回目)のセメントプラグを行って深度248mまで掘削を行った。その後は、逸泥対策を行わず掘削を続けたところ深度416mで揚留事故が発生した。

この抑留対策には約1ヶ月の期間を要した。その後は再び逸泥対策のセメントプラグを行いつつ17½"坑掘削を行ったが、深度612mまでに更に合計34回(同43回目から66回目)のセメントプラグを必要とした。

最終的には、これらの逸泥対策を実施したにもかかわらず逸泥層を閉塞することは出来ず、13½"C.Pは20"C.P同様、全量逸泥の状態ですべてセメンチングを行わざるを得なかった。

(3) 9½"C.Pセットまで

13½"C.Pセット後、再び12¼"ビットで掘削を開始したが、逸泥状況は深度600m以浅に比べ少量で深度1,415.20mの9½"C.Pセット深度到達までに遭遇した大きな逸

泥層は深度 1,220 m から 1,240 m だけで他は 20 kℓ/H 以下の逸泥であった。この区間に実施したセメントプラグは合計 26 回（同 67 回目から 81 回目）で 9 ⅝" C.P 挿入時の逸泥量は 5 kℓ/H 以下であった。

(4) 9 ⅝" C.P セット後

9 ⅝" C.P セット後、8 ½" ビットで掘削が行われた。

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 ~ 1,886 m で全量逸泥が発生し、その他の深度でも 30 kℓ/H 以下の部分逸泥であった。

この区間は、地熱流体生産深度になるため逸泥対策は行わず逸泥掘りによる掘削を行った。最終深度到達時には 13 kℓ/H の逸泥量であったが 7" 孔明管を深度 1,999.52 m までセット後、清水で洗浄を行ったところ全量逸水となり、自然注水で 105 kℓ/H 以上の還元能力がある坑井であることが判明した。

(5) 逸泥対策用セメント・スラリー組成

81 回実施したセメント・スラリーの組成はほとんど同一で、セメント添加剤としては、シリカフラワー 40%、セメント速硬化剤の食塩 2% を使用し、比重は 1.75 ~ 1.85 である。

3.2.5 ケーシングパイプ挿入およびセメンチング記録

(1) 20" C.P 挿入およびセメンチング

20" C.P は 26" 坑を深度 112 m まで掘削後 Table II.3-10 に示すように下位からケーシングシューと 9 本の C.P を接続し深度 106.4 m まで降下した。なお使用した C.P の管種は H-40.94 lb/ft である。

セメンチングは全量逸泥の状態で行われた。計画セメント・スラリー量は 42.4 kl であったがセメント・スラリーを 16.5 kl ポンプしたところでポンプ圧力が上昇しポンプ不能となったため、そのままの状態で行った後、地上から間隙部に 3 回合計セメント・スラリー量 17.8 kl ポンプして地表までセメントを充填した。

なお、セメント添加剤はシリカフラワー 40%、ペントナイト 2% を使用した。

(2) 13" C.P 挿入およびセメンチング

13 ⅝" C.P は、17 ½" 坑を深度 612 m まで掘削した後、ゲージ通しを 3 回行って深度 609.34 m まで降下された。Table II.3-11 に示すように下位からケーシングシュー、

C.P 2本、ケーシングカラーおよびC.P 46本と26ケのセントライザーを使用した。使用したC.Pの管種はK-55, 54.5lb/ftである。

セメンチングは全量逸泥の状態で行われ、静止水位は約200mであり、ERNA社のセメンチング装置を使用して2栓式方式で行われた。初めに泥水をポンプして坑内を冷却したのちベントナイト2%、リターダ0.3%を含む比重1.80の地熱セメントスラリーを63.7klポンプ後、泥水で後押しをおこなったが、全作業中泥水またはセメントスラリーの地表への回帰は見られなかった。このため、セメント硬化後3回合計17klの地熱セメントスラリーを地表から間隙部にポンプして間隙部を充填した。

(3) 9 $\frac{1}{8}$ " C.P挿入およびセメンチング

9 $\frac{1}{8}$ " C.Pは、12 $\frac{1}{4}$ "坑を深度1415.4mまで掘削した後、昭和63年1月22日に第1回目の降管が行われた。C.P降下前の逸泥量は5kl/H以下であったが深度937.24mまで降下した時点で坑内冷却のため泥水をポンプしたところ全く泥水の回帰が認められないため全C.Pを揚管して逸泥対策を行った。第2回目の降管は同1月24日に行われた。降管中の逸泥状況は最終深度到達時には全量逸泥状況であったがそれ以浅では泥水循環が得られていたためセメンチング作業に入った。

なお、Table II. 3-12に示すように下位からケーシングシュュー、C.P 2本、ケーシングカラー、C.P 50本とマルチセンターおよびC.P 63本で、セントライザーはケーシング2本に1つの割合で使用した。使用したC.Pの管種はL-80, 47lb/ft、ネジはHYDRIL SEUである。またマルチ・セメンターはケーシング・ストリングスのほぼ中間の深度775.84mに位置している。

セメンチングはマルチ・ステージ方式で、ERNA社が行った。C.P挿入後40klの泥水をポンプして坑内を冷却し、5klのリグナイト水、同量の清水をポンプして坑壁を洗浄した後、第一段セメントスラリーを開始した。

第一段セメントスラリーは遅硬化剤を1.5%含むリードスラリーと1%のテールスラリーから構成されているが、その他の成分はいずれもシリカフラワー40%、ベントナイト2%と同一である。またスラリー量は裸孔部の60%増量を見込んでおり比較的速硬化性のテールスラリーの容量は坑底部から280m分に相当する。第一段セメンチングは予定通り行われセメントスラリー、ポンプ中は泥水の回帰は全く認められなかったが、後押し途中で約11分間泥水の回帰が認められた。第一段セメンチング終了後、マルチステージのボーツを開ける目的で金属プラグをC.P内に落下し、ステージセメンター上部の

セメントスラリーを泥水で洗浄して第二段セメンチング移行した。第二段セメンチングの組成は第一段のそれと同一のものでスラリー量は裸孔部の60%増量を見込んだ。スラリー比重1.80のスラリー34.3klポンプ後、ゴム栓を29.6klの泥水でポンプしてマルチステージのポーツが閉じたことを確認してセメント硬化に入った。第二段セメンチング中は泥水やセメントスラリーの回帰が認められなかったためセメント硬化後地表からアニュラス部に合計9klのセメントスラリーを2回に分けてポンプし間隙部を充填した。

この間隙処理に使用したセメントスラリー量は13% C.Pと9% C.Pの間隙体積の約270m分に相当する。間隙処理後、9% C.Pを130 tonで引っ張りケーシングヘッドと9% C.Pの間にウェッジをセットして9% C.Pを引っ張りの状態にして固定した。

(4) 7" 孔明管および盲管挿入

昭和63年2月15日、温度・圧力検層終、ゲージ通しを行い7"孔明管および盲管挿入を行った。挿入した管種は7" C.P、L-80、29 lb/ft、ネジはHYDRIL SEUで、C.P編成はTable II. 3-13に示すように下位からケーシングシュー（底部はセメントで盲にしてある）、孔明管42本、盲管8本、およびライナーハンガーである。ライナーハンガーはブラウン社製のJスロット方式のものでハンガー部のコーンが3ケづつ2段に付いたものを使用した。なお、ライナーハンガー頭部は深度1,353.75m、盲管は深度1,357.16～1,459.68mに位置している。また、7"孔明管加工図をFIG. II. 3-12に示す。

3.2.6 坑口装置

各ステージ毎の坑口装置と掘削終了後の坑口装置はFig. II. 3-13(1)～(5)に示す通りである。

3.2.7 掘削編成

PR-13は垂直井のため通常の掘削編成は下位からビット、スタビライザー、ショートドリルカラー、スタビライザー、9mドリルカラー、スタビライザー、ドリルカラー、および必要本数のドリルパイプを使用し、必要に応じてドリルカラーの本数と抑留防止のためのスタビライザーの個数を増減した。

また、逸泥掘り中は全てのスタビライザーを取り外して掘削を行った。なお、PR-13

では坑井の傾斜測定だけを実施したため非磁性カラーは使用していない。使用ドリルカラーサイズは8"と6½"、ヘビーウエイト・ドリルパイプは4½" OD、42lb/ftである。

3.2.8 抑留および遺留事故

PR-13では、17½"HOPで深度404m、416m掘削時および1,415.20m掘削終了後の合計3回抑留および遺留事故が発生したのでこれらの経緯について以下に述べる。

(1) 第一回抑留および遺留事故

昭和63年10月31日、12¼"ビットで深度612mまで掘削後17½"HOPで深度182mから掘削作業に入った。深度182mから248mまではセメントで逸泥対策を行いながら掘削作業を行っていたが、逸泥がなかなか止まらないため深度248mから全量逸泥のまま掘削作業を行ったところ深度411m掘削終了後、ざく揚げ中HOP位置深度404mで抑留事故が発生した。このため初めは泥水に軽油を混ぜてポンプした後、強引したが成功はしなかったため、アニュラス側とパイプ内からそれぞれ初めにリグナイト水、次に軽油とフリーパイプ(軽油の2%)をポンプし水で後押しして17½"HOP位置まで軽油とフリーパイプの混合油を送り出した後に、強引したところ抑留事故を解消することに成功した。

(2) 第二回抑留事故

12¼"ビットを坑内に降下して坑内状況を調査した後、17½"HOPで坑井を掘削作業に取りかかったところ深度416m掘削中ロータリーテーブルのトルクが上昇してテーブルが止まりそのまま抑留状態になった。この抑留事故解決には昭和63年11月8日から12月6日まで約1ヶ月の日数を要した。

この間の作業経過を以下に述べる。

- ① 11月8日…深度416mを17½"HOPで掘削中抑留事故発生
- ② 11月8日～9日…オイルスポットを合計4回試みるが成功せず。
- ③ 11月10日…泥水ポンプの圧力が上昇してドリルパイプ内に流体ポンプ不能となる。
- ④ 11月11日～12日…ネジの盲戻し作業
 - 1) 予備作業としてウェイトインジケータ10t, 15t, 20tのところでネジの増し締め。(自重27t)
 - 2) ウェイトインジケータ27tまでテンションを加えたところで盲戻し。HWDP1

とHWDP 2の間で切離しとなる。(Fig. II. 3-14(1))

3) より下部で切離しを試るためドリルパイプだけでネジくわせを試みるがならず全場管。

4) 4½" DPと抱き込み管でネジくわせ増し締め後42tまでテンションを加えた状態で盲戻し作業。HWDP 1本とDC 3本回収なる。(Fig. II. 3-14(2))

⑤ 11月12日～24日…冠浚作業(遺留物と坑壁の間に沈殿している岩石を取り除く作業)

1) 17¼" OD×16" ID Washover shoe 9⅝" Extream管(5本)を降下するも20" C.Pシュー尻直下で降下不能となる。

2) Washover shoeを9⅝" ODにかえて降下したが遺留物を通過出来ず。

3) Washover shoeを14" ODにかえて降下。17½" HOP直上まで冠浚成功するが、呼び継ぎ後、強引しても採揚ならず。(Fig. II. 3-15(1))

4) 17¼" Washover shoeで冠浚するため20" C.P直下から17½" ビット+ショート・ドリルカラー+17½" HOPの編成で遺留物頭部まで坑内矯正浚い後、17¼" Washover shoeで深度415.55mまで冠浚作業。その後強引しても採揚ならず。

5) NL. Hydril社のBumper safety jointでジャーリングを試みるが採揚ならず。(Fig. II. 3-14(3))

6) Safety joint直下の13⅝" OD抱き込み管を11½" ミーリングシューで切断後、せり込み管で回収する。

7) 遺留物の17½" HOPの外側をミーリングする目的で17⅝" ミーリングシュー(ID16¼")を効果後、ミーリング行うがHOPの方が硬いためミーリング出来ず。

⑥ 11月25日～12月6日…HOPをミーリングするのが困難であると判明したため坑径を18¼"に拡掘してHOPの外側をWashoverする方針に切り替えて作業を行った。遺留物頭部までの拡掘は11月29日で終了。その後、7日かかって17½" HOP下位の深度417.2mまで18⅝"のWashover shoeで拡掘し、遺留物を100%採揚に成功した。(Fig. II. 3-15(2))

(3) 第三回抑留事故

昭和63年1月16日、12¼" ビットで深度1,415.30mまで終了後、温度検層のため揚管を開始したところ深度883m付近から揚げ加重がかかりはじめ深度711mで揚管不能となった。このためロータリーテーブルのプッシングにウェッジをかって右回しを試みた

ところ反動で左回りし、ビットから長さ138.38mのネジが戻って坑底まで落下した。

遺留物は下記に示す通りである。

12¼"	0.30m
12¼" スタビライザー (STAB)	1.52
8" ショートドリルカラー (SDC)	2.85
12¼" STAB	1.93
8" ドリルカラー (DC)	9.14
12¼" STAB	1.51
8" DC	8.94
12¼" STAB	1.54
8" DC②	17.42
12¼" STAB	1.44
8" DC	90.69
サブ	1.10
全長	138.38m

このため抱き込み管+セフティジョイント+ドリルカラー+ヘビーウェイトDCドリルパイプの編成を降下して遺留物を接続した後オイルスポットを2回行って採揚に成功した。

3.2.9 主要資材一覧

Table II. 3-14にPR-13掘削に使用した調泥剤、逸泥防止剤、セメントおよび抑留対策用資材の一覧表を示す。

3.2.10 傾斜測定および検層

(1) 傾斜測定

PR-13では深度1,400mまでは100m掘削ごとに、深度1,400m以深では50m掘削ごとに坑井の傾斜測定を行なった。この結果をFig. II. 3-8の中に一覧表として示す。

なお、すべての測定値が3°以下であったことは、垂直井として問題はない。

(2) 深度1,400mにおける温度・圧力検層

坑井深度が1,415.2mに達した時点でポンプ停止後、6時間と10時間後ごとに温度・

圧力検層、また 14 時間後に温度検層を実施した。測定方法は 4½" OD ドリルパイプの先端に長さ 2 m の穴あき管を取り付けたものを坑底まで降下してドリルパイプ内の温度・圧力をクスターを使用して実施した。この結果を Fig. II. 3-16 に示す。この温度検層での最高高温はポンプ停止 14 時間後の深度 1,406 m で 186.9℃であった。また同深度における静止安定温度は 201℃と算出された。圧力検層の結果からポンプ停止時の静止水位は地表から約 180 m にあることが判明した。

(3) 深度 2,000 m における温度・圧力検層

坑井深度が 2,006.8 m の最終深度に達した時点で、温度・圧力検層を実施した。測定方法は深度 1,400 m 時と同様である。スタンディング・タイム 4 時間、8 時間および 12 時間の 3 回、温度・圧力検層を行なった。この結果を Fig. II. 3-17 に示す。ただし、圧力検層結果は 3 回とも同様の値が得られたため、図中ではスタンディング・タイム 4 時間のものだけ示す。

測定結果は、温度検層では深度 1,999 m でスタンディング・タイム 12 時間が 235℃を示し、かつ深度 1,450 m 付近に温度アノマリーが認められる。また、深度 1,500 m 以深では、逸泥掘りで地層が冷却されているため温度の回復が非常にゆっくりであるのがわかる。圧力検層の結果からは静止水位が深度 370 m 付近であることが読み取れる。

(4) 注水テスト

最終深度到達後、温度・圧力検層に引き続き注水テストを実施した。実施方法は 4½" ドリルパイプの先端に穴あき管を取り付けたものを深度 1,450 m 付近まで降下し、リューブリークテーターを取り付け、ドリルパイプ内にクスター圧力計を降下し深度 1,400 m にセットする。その後、坑口ヘッドの 2" のバルブから毎分 1,000ℓ の割合で静水を約 3 時間ポンプし、ポンプを停止して約 7 時間 30 分放置する。なお、ドリルパイプのアニュラス部は BOP でまた管内はリューブリークテーターでパッキングされているため圧力のリークはない。Fig. II. 3-18 に深度 1,400 m で測定した圧力と経過時間の関係を示す。この図からわかるように注水前は 64 kg/cm²であったものが注水後約 4 分で約 100 kg/cm²まで上昇し、約 1 時間はほぼ同一圧力を保った後、徐々に圧力が減少し、注水停止直前には 94 kg/cm²まで降下している。また、注水を行った 3 時間のうち約 30 分間は坑口ヘッドに取り付けた圧力計が 0 kg/cm²以上を示し、最高 7 kg/cm²まで上昇している。ポンプ停止後は、比較的ゆるやかな減衰曲線を描いて圧力が低下している。

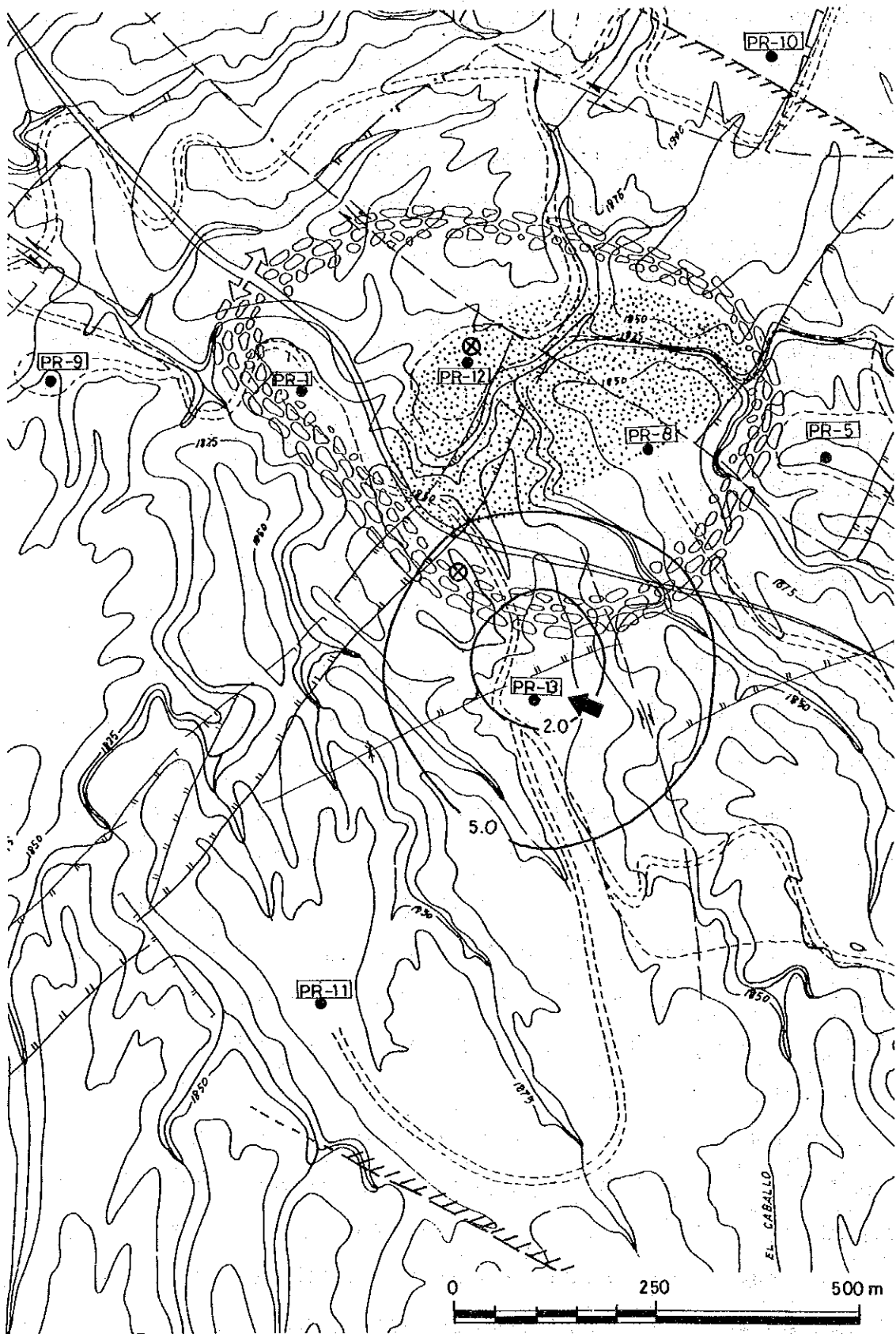


Fig. II. 3-6 Location of PR-13

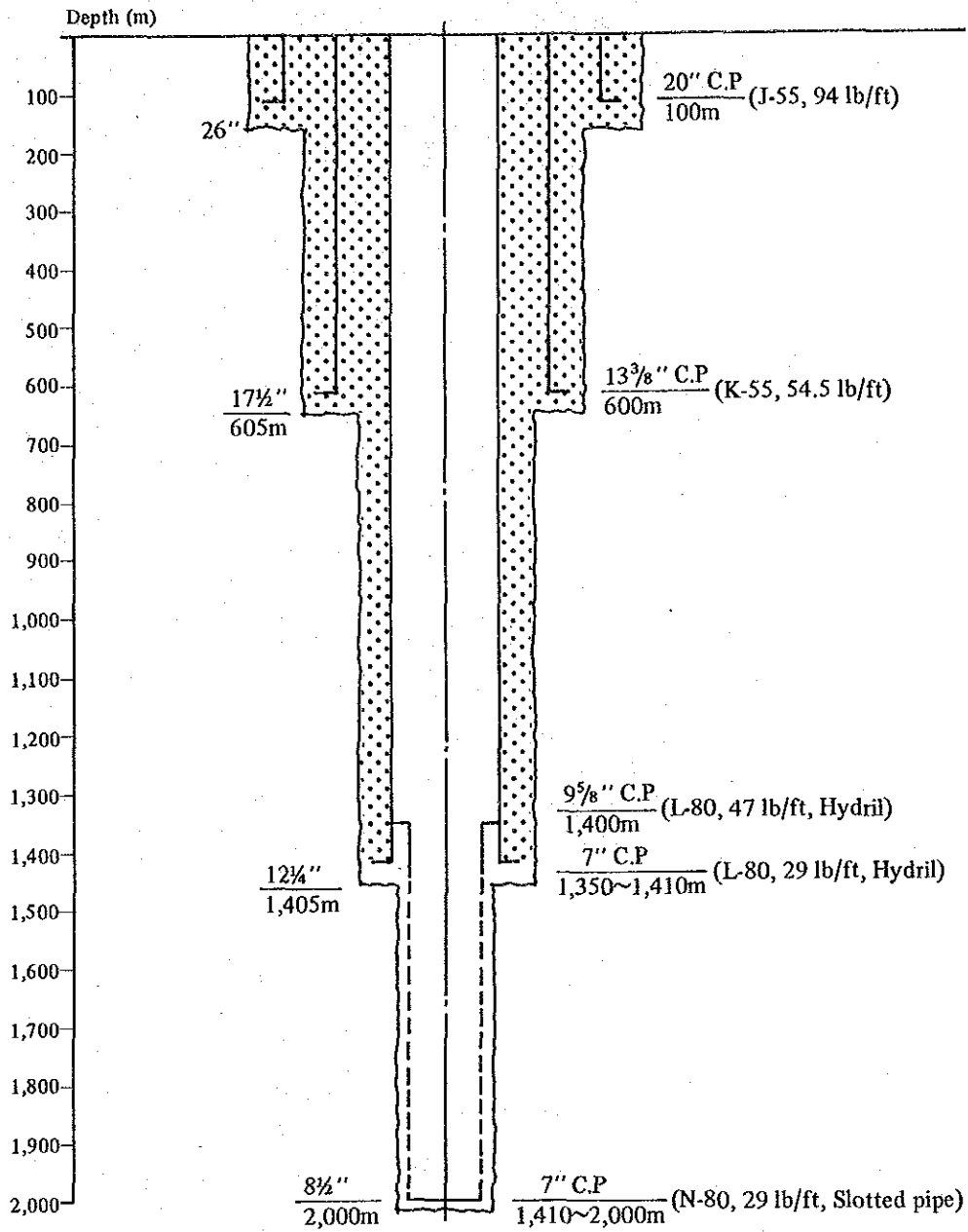


Fig. II. 3-7 Casing Program of PR-13

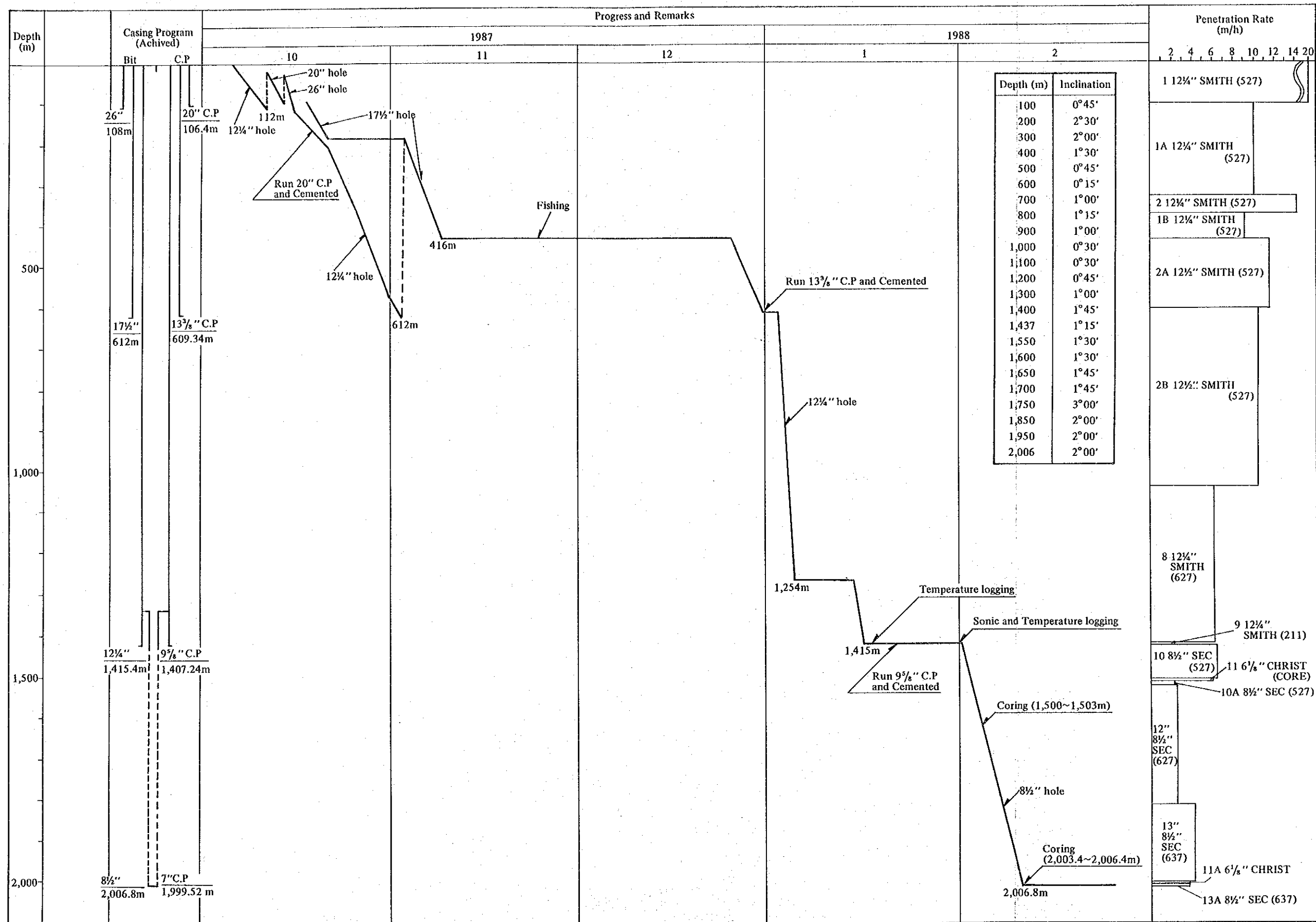


Fig. II. 3-8 Drilling History of PR-13

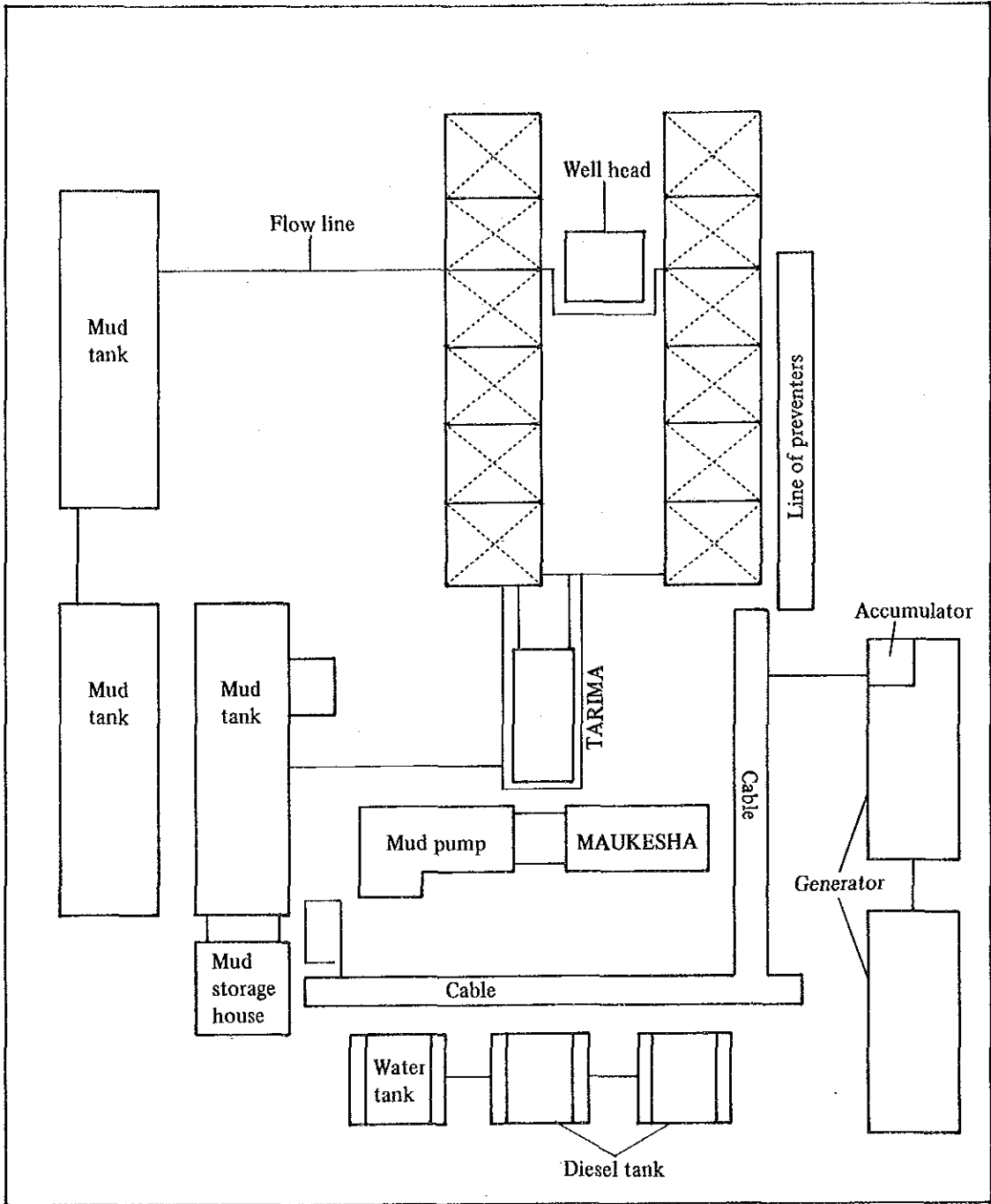


Fig. II. 3-9 Layout of Drilling Site of PR-13

Table II. 3-8 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	SWACO SUPER SCREEN	1
Desander	SWACO 212-455	1
Desilter	SWACO 8T425	1
Agitator	LIGNTIN 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 HEXAGÓNAL 5¼" x 40'	1
Drill Collar	8" OD - 2 ¹³ / ₁₆ " φ ID 30' 8" OD - 2 ¹³ / ₁₆ " φ ID 10' 6½" OD - 2 ¹³ / ₁₆ " φ ID 30' 6½" OD - 2 ¹³ / ₁₆ " φ ID 10'	15 1 24 1
HWDP Drill Pipe	4½" OD 4½" x H GRADO "E" "S"	6

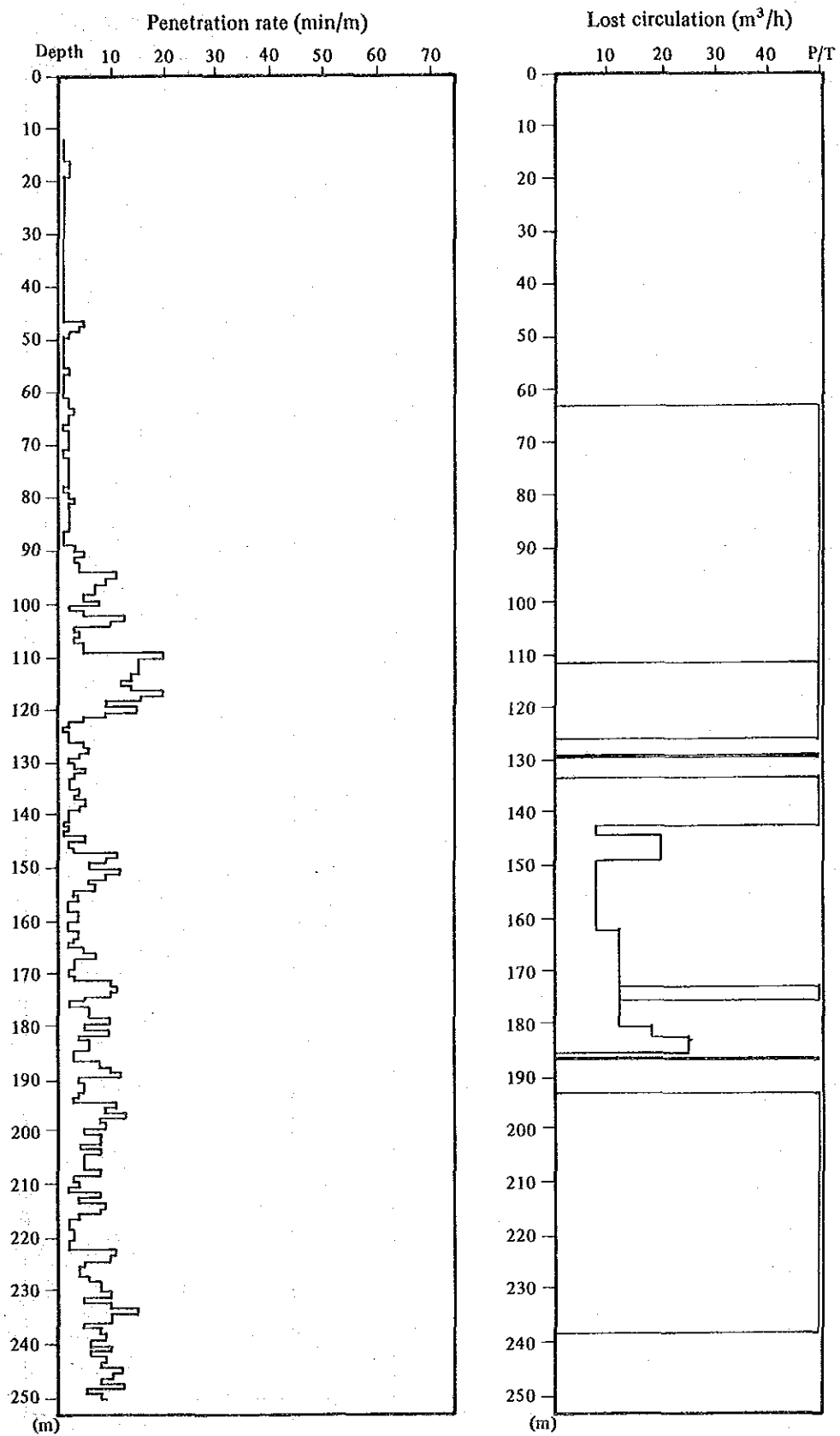


Fig. II. 3-10 Record of Penetration Rate and Lost Circulation of PR-13 (1)

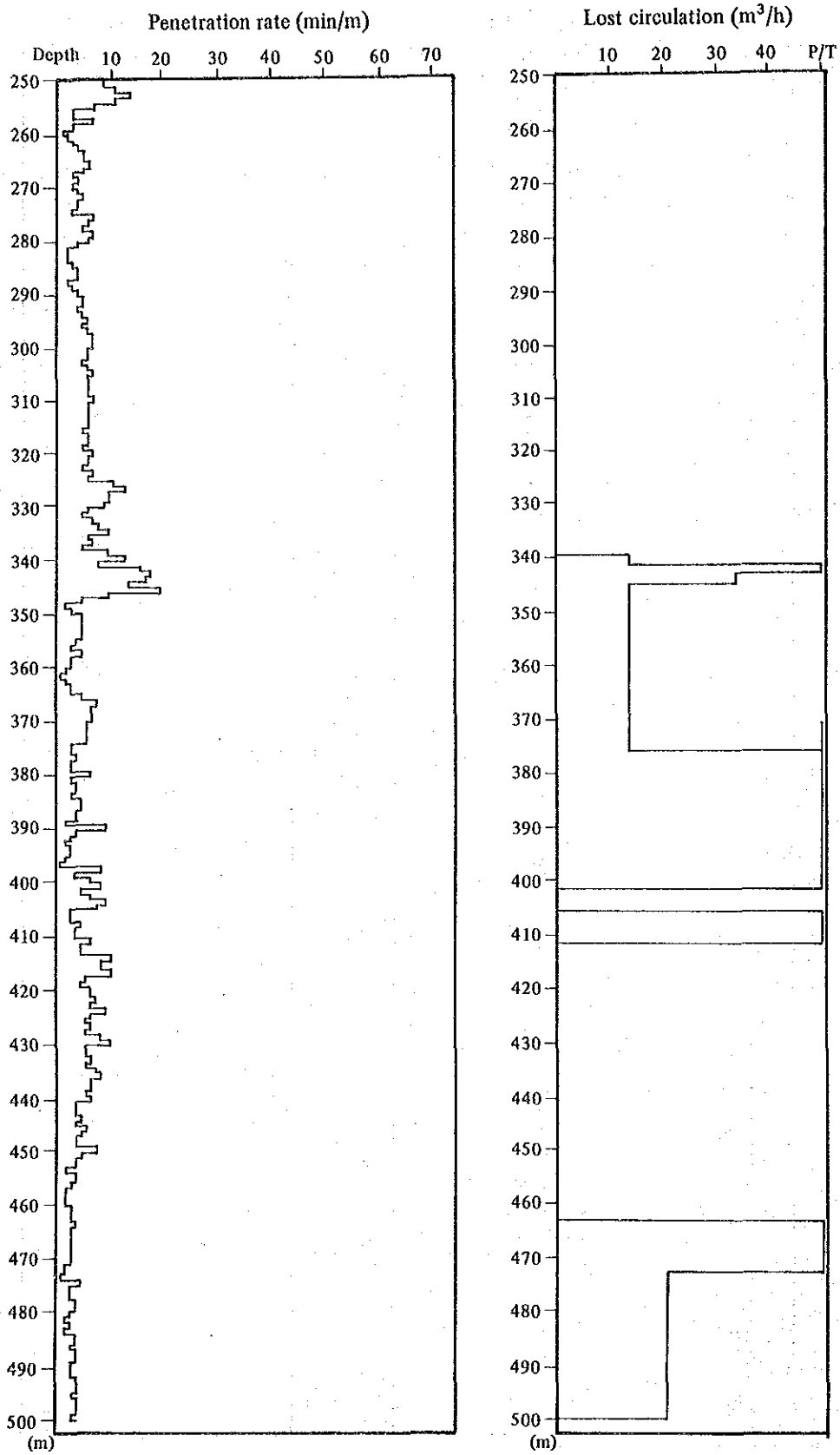


Fig. II. 3-10 Record of Penetration Rate and Lost Circulation of PR-13 (2)

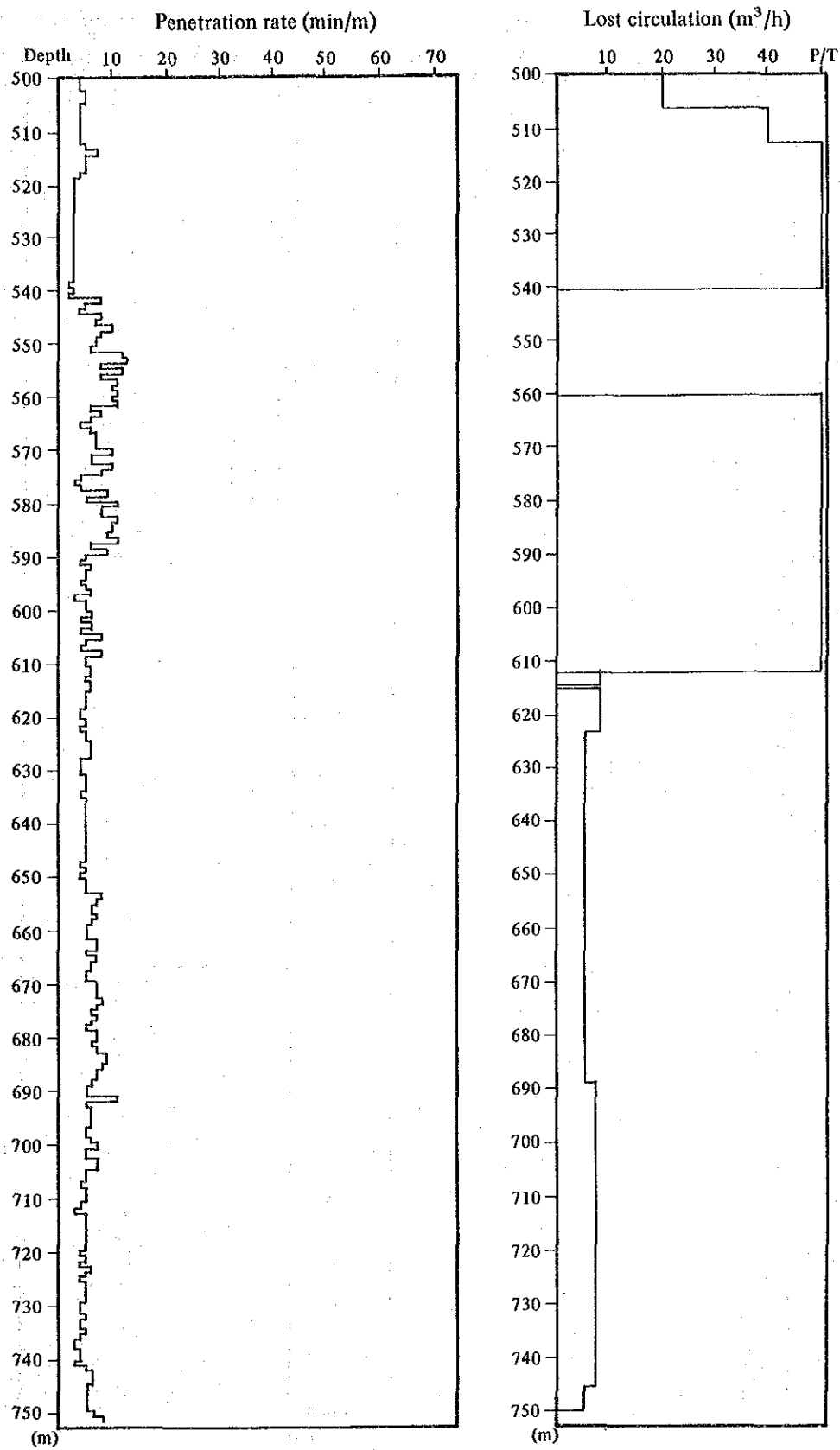


Fig. II. 3-10 Record of Penetration Rate and Lost Circulation of PR-13 (3)

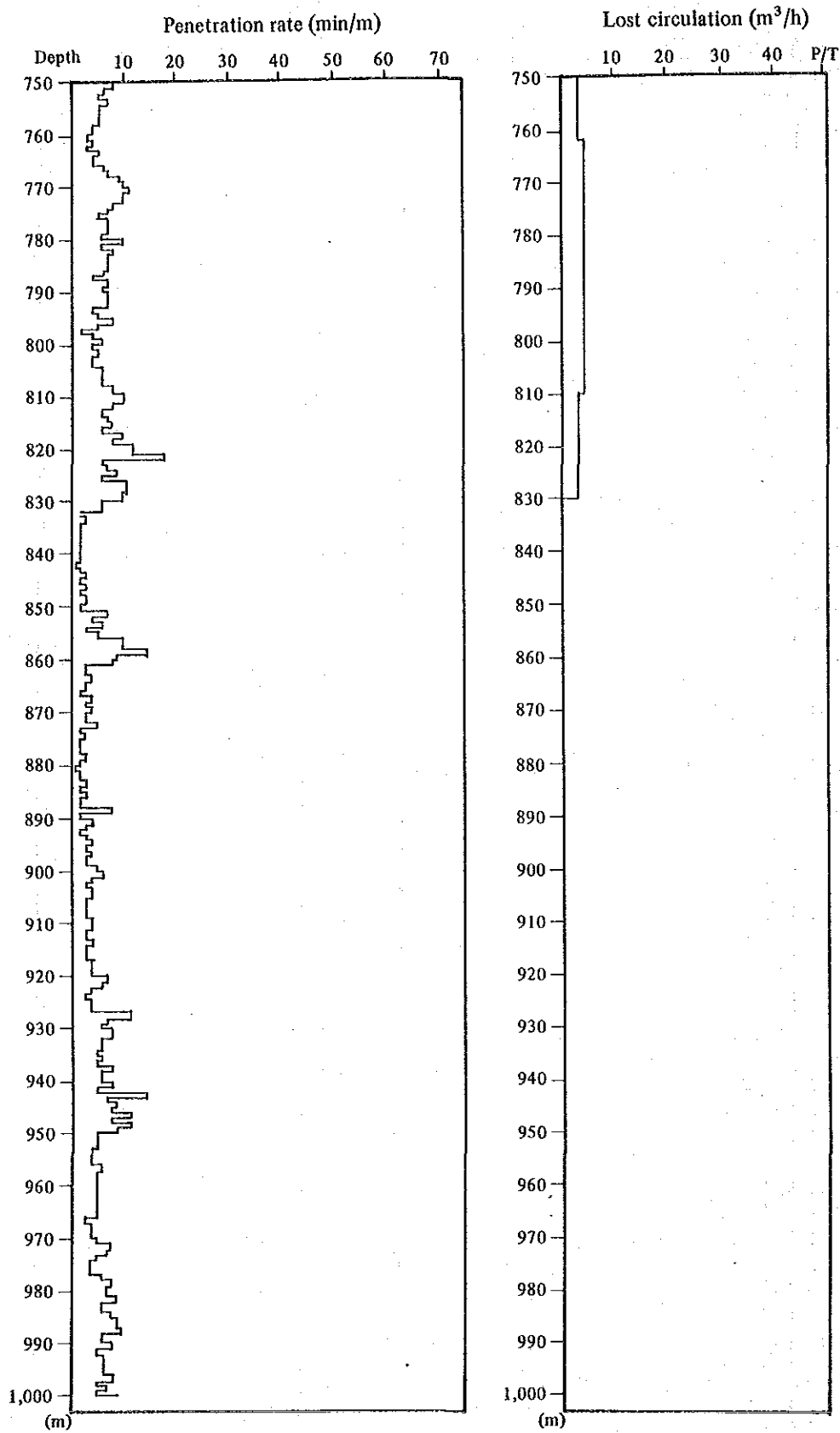


Fig. II. 3-10 Record of Penetration Rate and Lost Circulation of PR-13 (4)

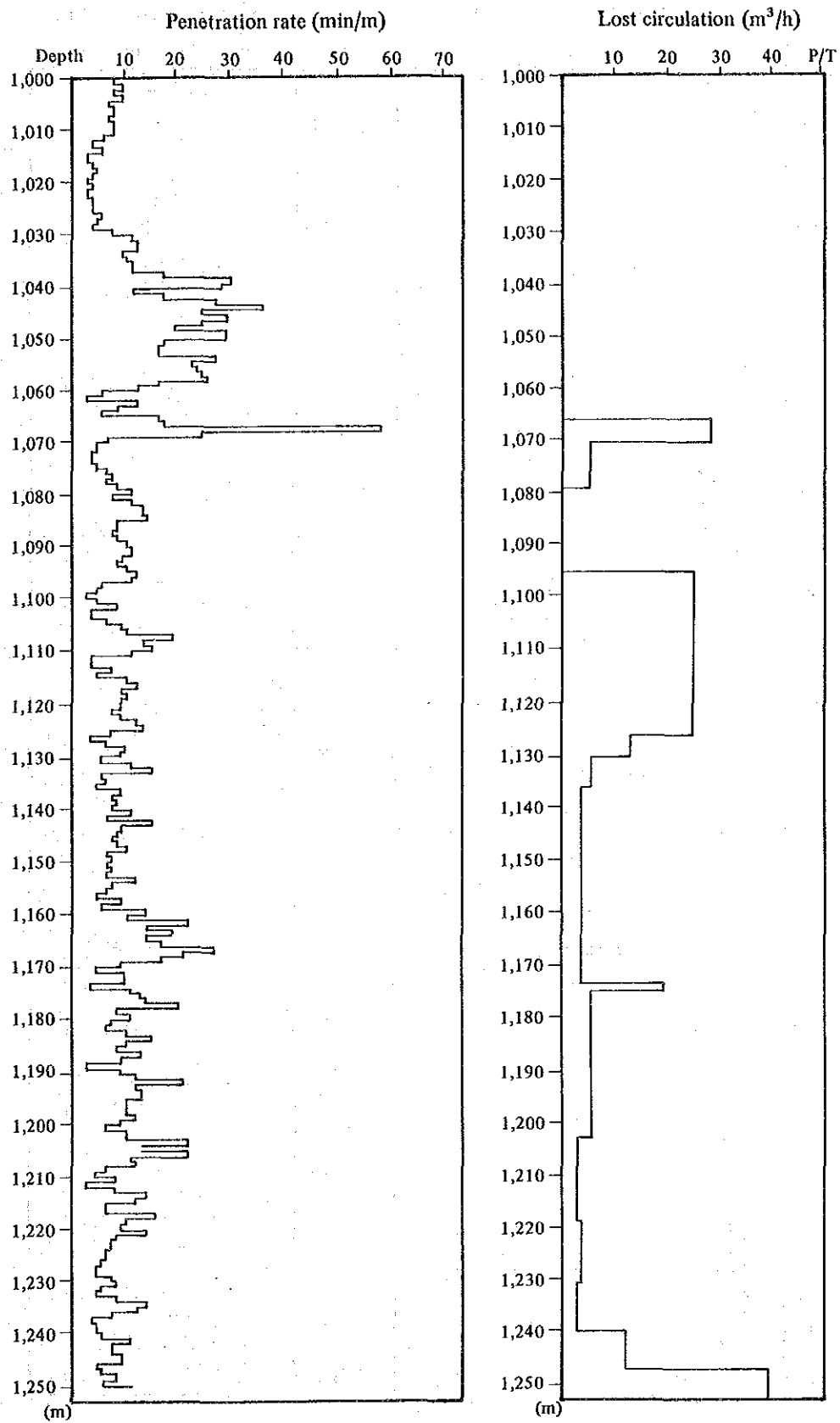


Fig. II. 3-10 Record of Penetration Rate and Lost Circulation of PR-13 (5)

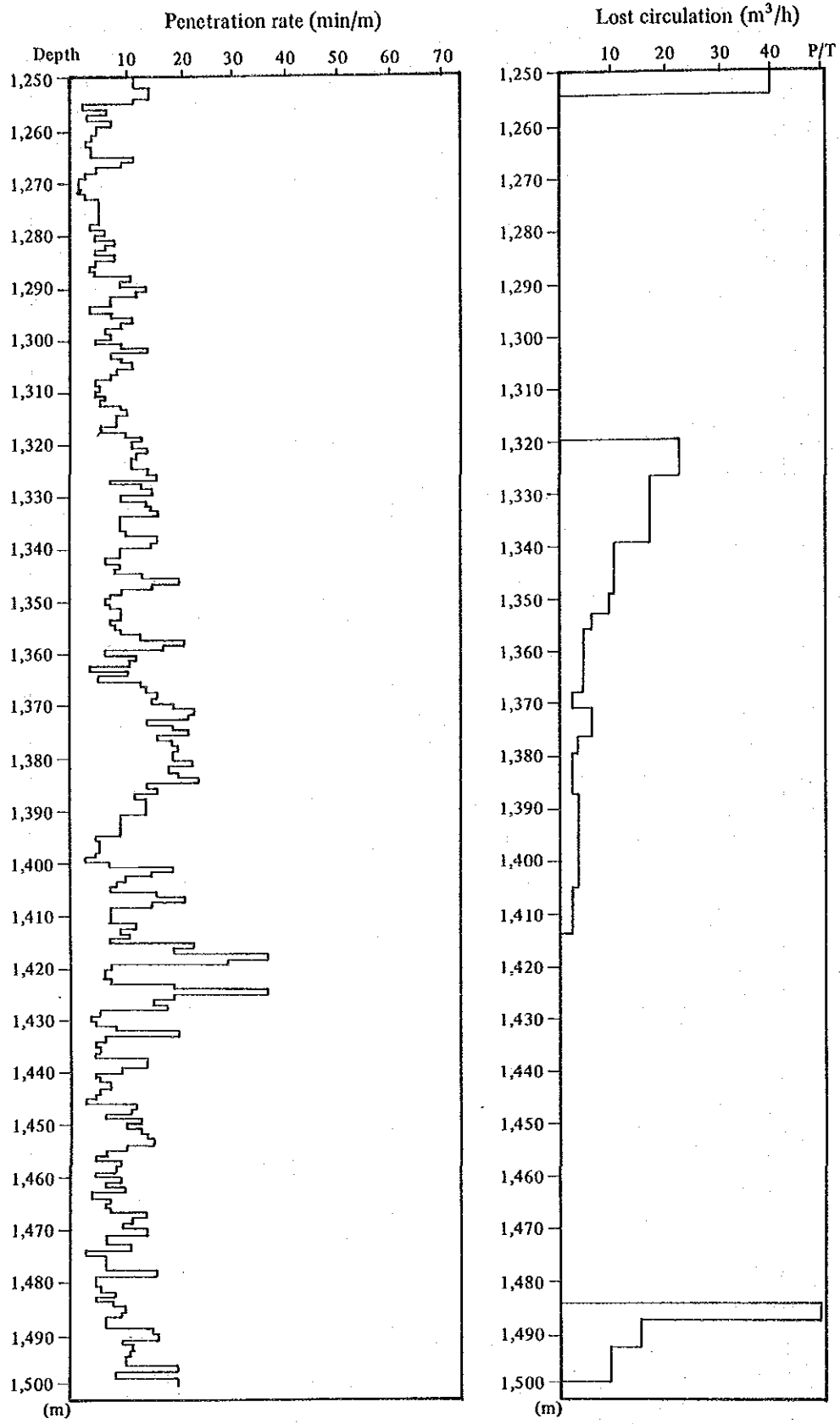


Fig. II. 3-10 Record of Penetration Rate and Lost Circulation of PR-13 (6)

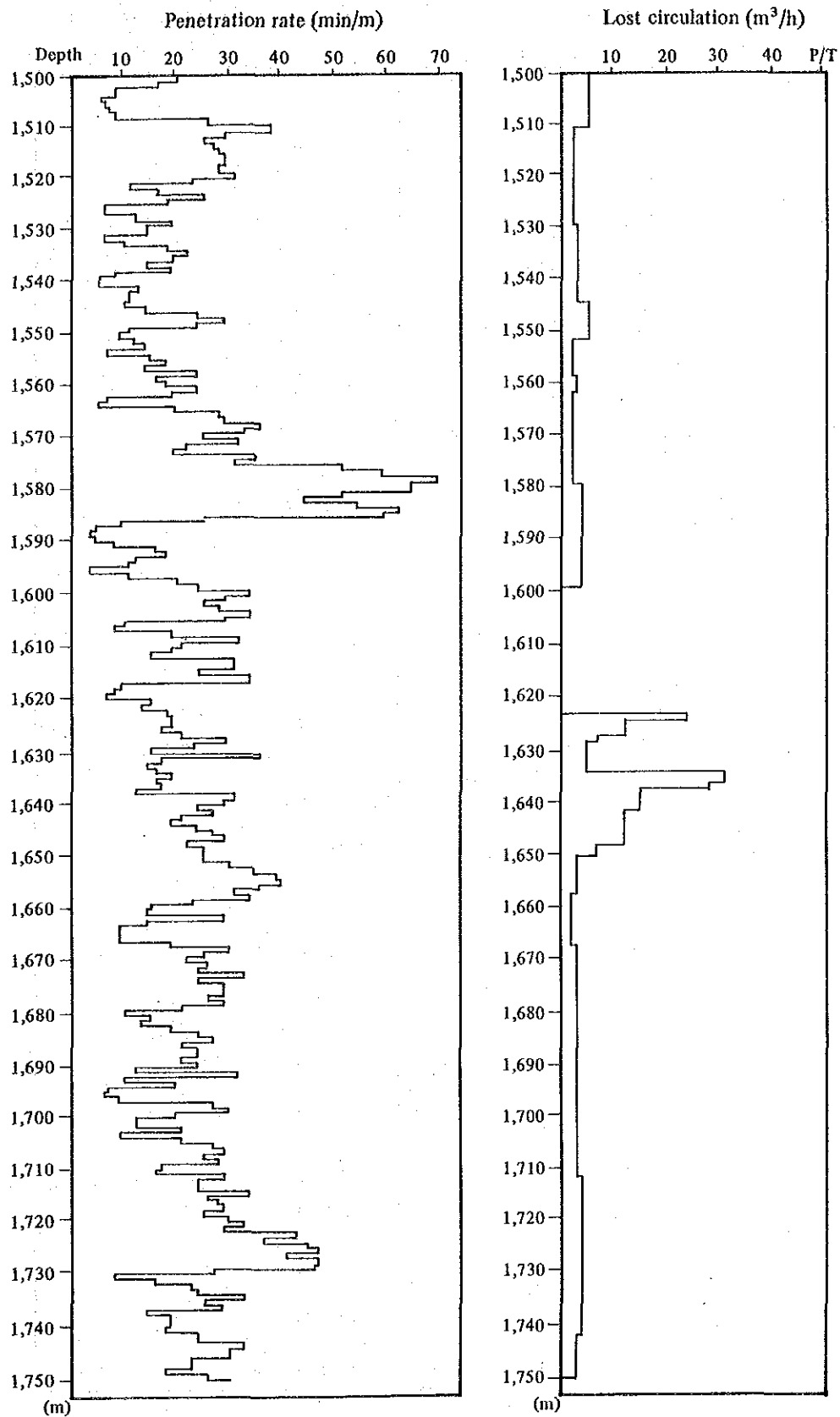


Fig. II. 3-10 Record of Penetration Rate and Lost Circulation of PR-13 (7)

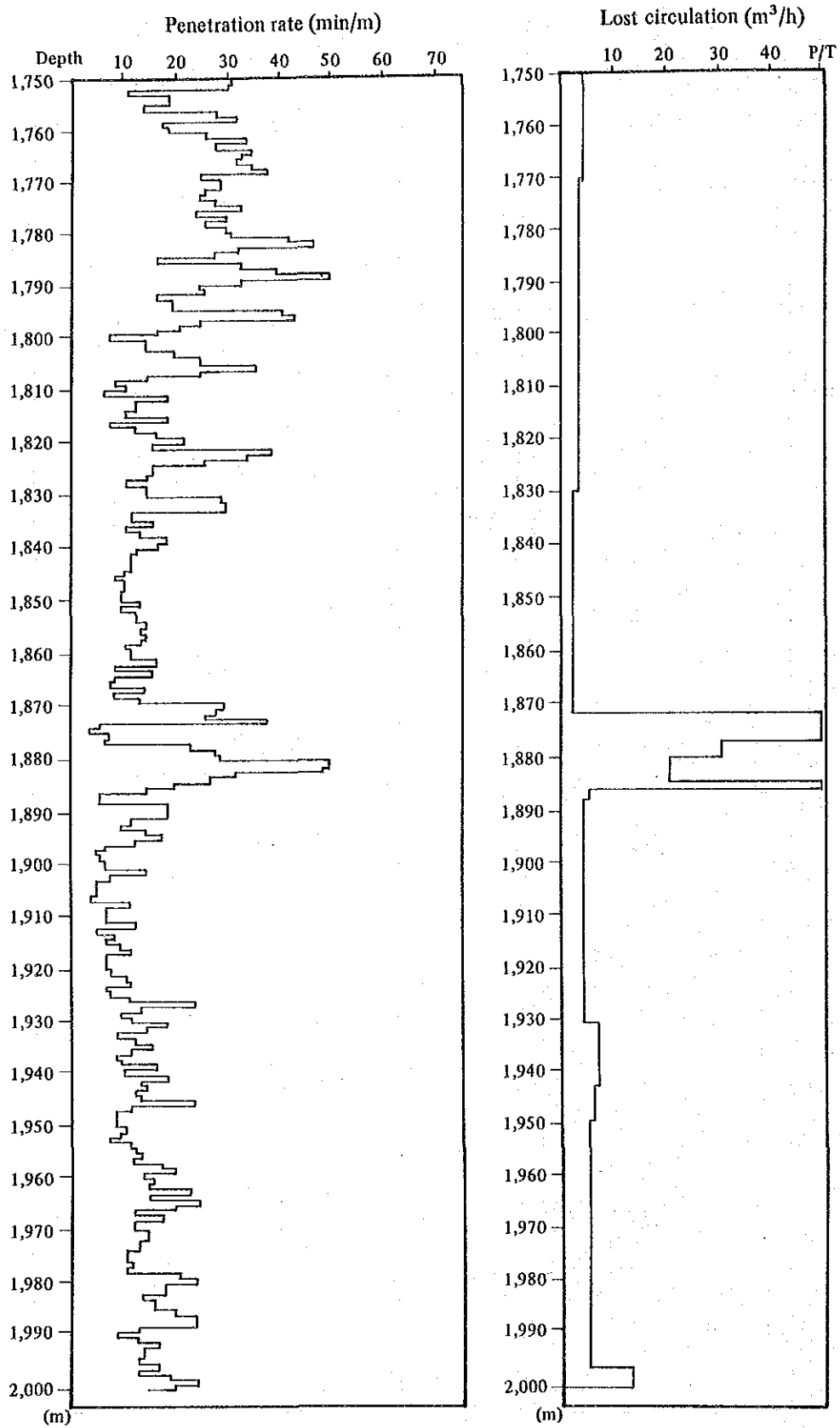


Fig. II. 3-10 Record of Penetration Rate and Lost Circulation of PR-13 (8)

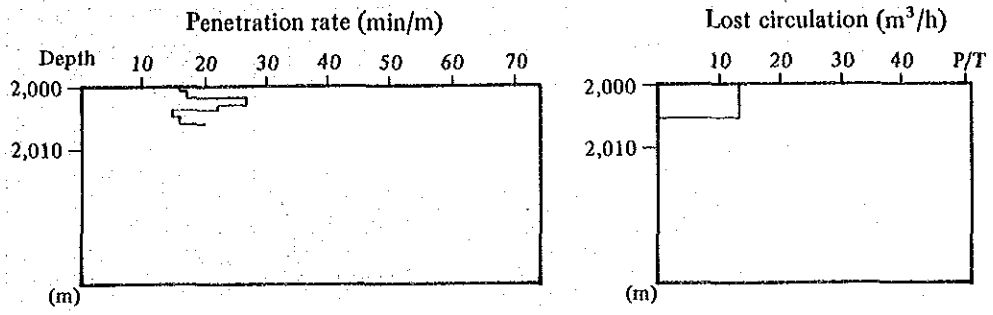


Fig. II. 3-10 Record of Penetration Rate and Lost Circulation of PR-13 (9)

Table II. 3-9 Records of Bits and Lost Circulation of PR-13

No.	Size	Drilling depth (m)	Drilling length (m)	Drilling time (h)	Penetration rate (m/h)	Bit weight (t)	Revolutions/min (RPM)	Pump			Mud water			Remarks
								LS	Pressure (kg/cm ² G)	L/M	SG	P.V	Sand	
1	12 1/4"	12 ~ 112	100	4.51	20.6	6	60		17.5		1	Water		
	20"	12 ~ 109	97	8.30	11.4	5	60			1,174	1	Water		
	26"	12 ~ 108	96	9.57	9.6	5	60			1,174	1	Water		
1A	12 1/4"	112 ~ 345	233	24.37	9.4	6/8	60	6 1/2" x 126	35	1,850	1.09	47	38/42	
	17 1/2"	Drilling out cement									1	Water		
2	17 1/2"	109 ~ 416	307	27.47	11.0	4/5				1,175	1	Water		
	12 1/4"	345 ~ 388	43	3.08	13.7	12	60	6 1/2" x 803 PM	35	1,174	1.07	42		
1B		388 ~ 439	51	5.45	8.9	7	65	126	42	1,174	1.08	46	48/52	
		439 ~ 612	173	14.27	11.9	7	65	126	42.5	1,174	1.08	40	59/60	
2A	17 1/2"	416 ~ 612									1.05	43		
3	17 1/2"													
4	17 1/2"													
5	17 1/2"													
6	17 1/2"													
7	12 1/4"													
Drilling out cement														
2B	12 1/4"	612 ~ 1,043	431	42.11	10.21	10	60	6 1/2" x 130	63	1,908	1.09	45	46/58	
8	12 1/4"	1,043 ~ 1,415	372	69.32	5.35	10/15	60	6 1/2" x 126	77	1,849	1.08	44	45/55	
9	8 1/2"	1,415 ~ 1,418	3	1.22	2.19	5	60	6 1/2" x 90	14	1,321	1.07	42	45/63	
10	8 1/2"	1,418 ~ 1,500	82	14.48	5.54	6/7	65	6 1/2" x 85	70	1,247	1.08	47	44/56	
11	6 1/8"	1,500 ~ 1,503	3	0.35	5.14	4	60	6 1/2" x 80	28	1,174	1.07	40	44/56	Core recovery 100%
10A	8 1/2"	1,503 ~ 1,519	16	6.48	2.35	6/8	65	5 1/2" x 110	14	1,153	1.07	40	44/56	
12	8 1/2"	1,519 ~ 1,795	276	113.11	2.44	5/10	65	6 1/2" x 80	38	1,174	1.09	45	46/60	
13	8 1/2"	1,795 ~ 2,003.40	208.40	52.18	3.98	6/7	65	6 1/2" x 80	24	1,174			59/65	
11A	6 1/8"	2,003.40 ~ 2,006.40	3	0.51	3.53	4	60	6 1/2" x 80	24	1,174			59/65	Core recovery 85%
13A	8 1/2"	2,003.40 ~ 2,006.80	3.40	0.35	1.98		65	6 1/2" x 80	38	1,174			59/65	

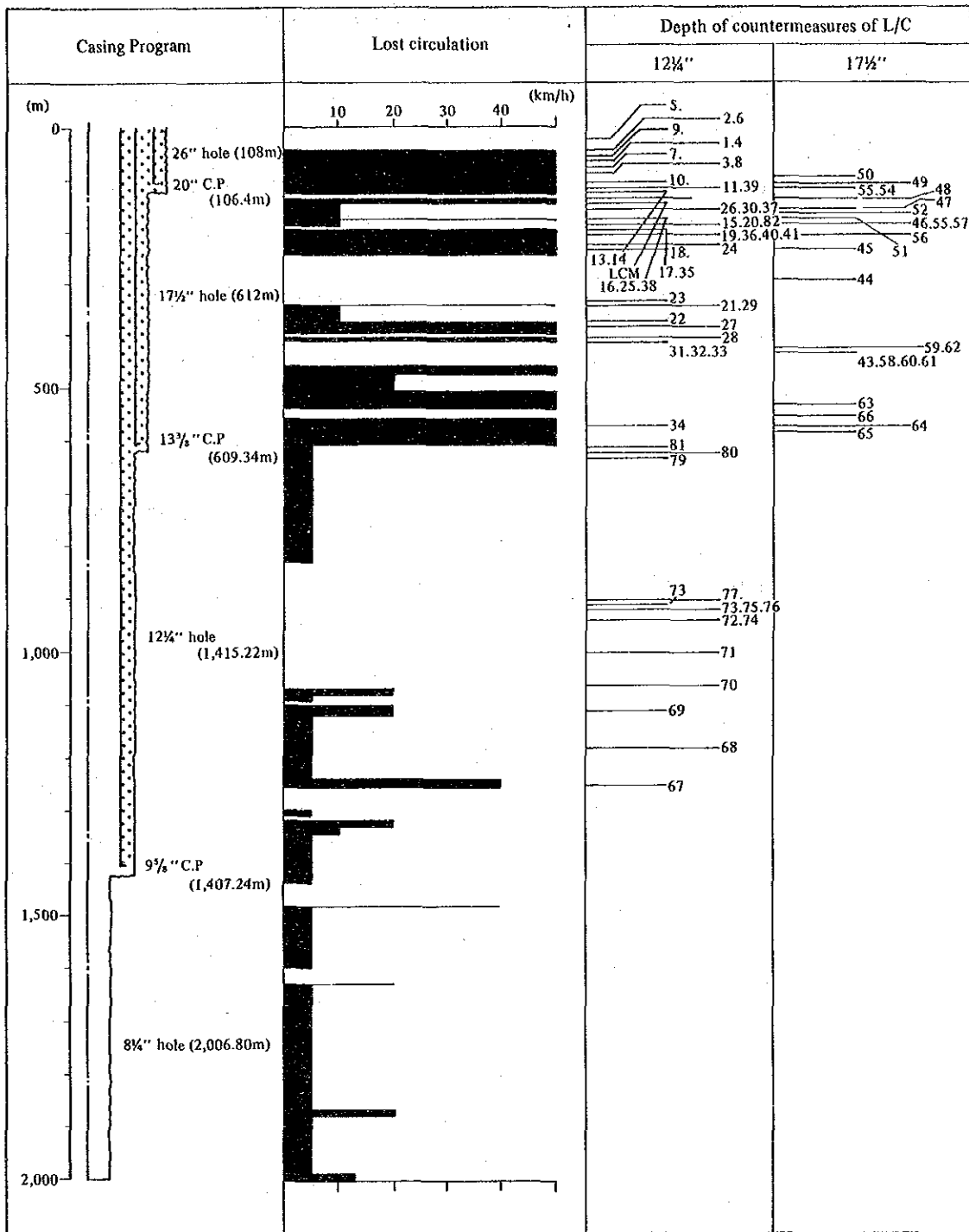


Fig. II. 3-11 Depth of Lost Circulation and Treatments of L/C for PR-13

Table II. 3-10 Measuring of 20" Casing Pipe of PR-13

No.	Length	Total length	Depth*	Remark
			106.40	94 lb/ft. H-40
C/S	1.20	1.20	105.20	94 lb/ft. H-40
1	12.82	14.02	92.38	94 lb/ft. H-40
2	12.22	26.24	80.16	94 lb/ft. H-40
3	12.17	38.41	67.99	94 lb/ft. H-40
4	12.18	50.59	55.81	94 lb/ft. H-40
5	11.80	62.39	44.01	94 lb/ft. H-40
6	11.43	73.82	32.58	94 lb/ft. H-40
7	12.28	86.10	20.30	94 lb/ft. H-40
8	12.73	98.83	7.57	94 lb/ft. H-40
9	12.20	111.03	- 4.63	94 lb/ft. H-40

* Depth of Casing is from Rotary table. G.L from Rotary table is 6.4 m.

Table II. 3-11 Measuring of 13 3/8" Casing Pipe of PR-13

(Pipe 54.5 lb/ft, K-55)

No.	Length (m)	Total length (m)	Depth* (m)	Centra lizer	No.	Length (m)	Total length (m)	Depth* (m)	Centra lizer
			609.94		24	13.24	299.26	310.68	1
C/S	0.43	0.43	609.51		25	12.77	312.03	297.91	
1	12.02	12.45	597.49	2	26	13.81	325.84	284.10	1
2	10.60	23.05	586.89	1	27	11.88	337.72	272.22	
C/C	0.55	23.60	586.34		28	13.06	350.78	259.16	1
3	11.56	35.16	574.78		29	14.28	365.06	244.88	
4	11.88	47.04	562.90	1	30	13.25	378.31	231.63	1
5	11.75	58.79	551.15		31	11.30	389.61	220.33	
6	12.05	70.84	539.10	1	32	12.93	402.54	207.40	1
7	13.44	84.28	525.66		33	11.48	414.02	195.92	
8	12.08	96.36	513.58	1	34	11.03	425.05	184.89	1
9	11.75	108.11	501.83		35	13.50	438.55	171.39	
10	13.81	121.92	488.02	1	36	13.78	452.33	157.61	1
11	11.86	133.78	476.16		37	12.20	464.53	145.41	
12	12.78	146.56	463.38	1	38	12.03	476.56	133.38	1
13	12.05	158.61	451.33		39	13.21	489.77	120.17	
14	12.17	170.78	439.16	1	40	12.51	502.28	107.66	1
15	14.11	184.89	425.05		41	11.04	513.32	96.62	
16	12.08	196.97	412.97	1	42	11.38	524.70	85.24	1
17	13.09	210.06	399.98		43	12.22	536.92	73.02	
18	13.32	223.38	386.56	1	44	12.09	549.01	60.93	1
19	13.21	236.59	373.35		45	13.31	562.32	47.62	
20	11.03	247.62	362.32	1	46	12.48	574.80	35.14	1
21	12.76	260.38	349.56		47	13.28	588.08	21.86	
22	13.15	273.53	336.41	1	48	14.46	602.54	7.40	1
23	12.49	286.02	323.92			7.40	609.94	0.00	

* Depth is from Rotary table. Depth from surface is subtract 6.4 m from it.

Table II. 3-12 Measuring of 9 5/8" Casing Pipe of PR-13

(47 pd/ft, L-80 Hydril, SEU)

No.	Length (m)	Total length (m)	*Depth from rotary table (m)	Centra lizer	No.	Length (m)	Total length (m)	*Depth from rotary table (m)	Centra lizer
			1,407.24		24	12.34	291.68	1,115.56	1
C/S	0.35	0.35	1,406.89		25	11.81	303.49	1,103.75	
1	11.34	11.69	1,395.55	2	26	10.99	314.48	1,092.76	1
2	12.25	23.94	1,383.30	1	27	12.14	326.62	1,080.62	
C/C	0.47	24.41	1,382.83		28	12.23	333.85	1,068.39	1
3	12.77	37.18	1,370.06		29	9.30	348.15	1,059.09	
4	13.39	50.57	1,356.67	1	30	11.05	359.20	1,048.04	1
5	11.28	61.85	1,345.39		31	12.47	371.67	1,035.57	
6	11.02	72.87	1,334.37	1	32	11.07	382.74	1,024.50	1
7	13.09	85.96	1,321.28		33	12.78	395.52	1,011.72	
8	12.65	98.61	1,308.63	1	34	12.44	407.96	999.28	1
9	12.26	110.87	1,296.37		35	13.52	421.48	985.76	
10	12.34	123.21	1,284.03	1	36	12.32	433.80	973.44	1
11	13.49	136.70	1,270.54		37	13.10	446.90	960.34	
12	11.29	147.99	1,259.25	1	38	12.36	459.26	947.98	1
13	11.42	159.41	1,247.83		39	13.13	472.39	934.85	
14	12.32	171.73	1,235.51	1	40	13.06	485.45	921.79	1
15	11.94	183.67	1,223.57		41	12.67	498.12	909.12	
16	12.56	196.23	1,211.01	1	42	13.41	511.53	895.71	1
17	12.85	209.08	1,198.16		43	11.47	523.00	884.24	
18	10.85	219.93	1,187.31	1	44	12.69	535.69	871.55	1
19	11.82	231.75	1,175.49		45	12.83	548.52	858.72	
20	12.40	244.15	1,163.09	1	46	11.67	560.19	847.05	1
21	12.75	256.90	1,150.34		47	12.13	572.32	834.92	
22	10.33	267.33	1,140.01	1	48	11.60	583.92	823.32	1
23	12.11	279.34	1,127.90		49	12.48	596.40	810.84	

* It's 6.4 m from Rotary table to surface.

No.	Length (m)	Total length (m)	*Depth from rotary table (m)	Centra lizer	No.	Length (m)	Total length (m)	*Depth from rotary table (m)	Centra lizer
50	12.82	609.22	798.02	1	75	13.10	913.38	493.86	
51	9.15	618.37	788.87		76	11.55	924.93	482.31	1
52	12.19	630.56	776.68	1	77	12.31	937.24	470.00	
C/M	0.84	631.40	775.84		78	9.57	946.81	460.43	1
53	13.10	644.50	762.74		79	12.04	958.85	448.39	
54	12.60	657.10	750.14	1	80	11.93	970.78	436.46	1
55	12.23	669.33	737.91		81	13.43	984.21	423.03	
56	12.01	681.34	725.90	1	82	12.44	996.65	410.59	1
57	11.75	693.09	714.15		83	10.92	1,007.57	399.67	
58	12.26	705.35	701.89	1	84	13.30	1,020.87	386.37	1
59	12.96	718.31	688.93		85	12.67	1,033.54	373.70	
60	12.00	730.31	676.93	1	86	10.91	1,044.45	362.79	1
61	11.80	742.11	665.13		87	13.42	1,057.87	349.37	
62	12.21	754.32	652.92	1	88	12.68	1,070.55	336.69	1
63	12.62	766.94	640.30		89	12.92	1,083.47	323.77	
64	12.06	779.00	628.24	1	90	11.46	1,094.93	312.31	1
65	12.35	791.35	615.89		91	12.12	1,107.05	300.19	
66	11.42	802.77	604.47	1	92	12.99	1,120.04	287.20	1
67	11.76	814.53	592.71		93	11.84	1,131.88	275.36	
68	12.65	827.18	580.06	1	94	12.26	1,144.14	263.10	1
69	10.24	837.42	569.82		95	13.24	1,157.38	249.86	
70	12.51	849.93	557.31	1	96	12.51	1,169.89	237.35	1
71	12.26	862.19	545.05		97	13.02	1,182.91	224.33	
72	11.75	873.94	533.30	1	98	9.17	1,192.08	215.16	1
73	13.00	886.94	520.30		99	12.72	1,204.80	202.44	
74	13.34	900.28	506.96	1	100	11.64	1,216.44	190.80	1

No.	Length (m)	Total length (m)	*Depth from rotary table (m)	Centra lizer	No.	Length (m)	Total length (m)	*Depth from rotary table (m)	Centra lizer
101	12.60	1,229.04	178.20						
102	11.97	1,241.01	166.23	1					
103	10.43	1,251.44	155.80						
104	11.44	1,262.88	144.36	1					
105	12.67	1,275.55	131.69						
106	12.38	1,287.93	119.31	1					
107	12.80	1,300.73	106.51						
108	12.41	1,313.14	94.10	1					
109	12.50	1,325.64	81.60						
110	12.74	1,338.38	68.86	1					
111	12.97	1,351.35	55.89						
112	11.25	1,362.60	44.64	1					
113	13.05	1,375.65	31.59						
114	12.28	1,387.93	19.31	1					
115	12.91	1,400.84	6.40						
Rotary table	6.40 (11.50)	1,407.24	0.00						

Table II. 3-13 Measuring of 7" Casing pipe of PR-13

(Pipe: 29 lb/ft, L-80
Hydril, SEU)

No.	Length (m)	Total length (m)	Depth (m)	Centra lizer	No.	Length (m)	Total length (m)	Depth (m)	Centra lizer
			1,999.52		25	12.80	320.47	1,679.05	
C/S	0.34	0.34	1,999.18		26	12.86	333.33	1,666.19	
1	12.47	12.81	1,986.71		27	12.67	346.00	1,653.52	
2	12.79	25.60	1,973.92		28	12.91	358.91	1,640.61	
3	12.95	38.55	1,960.97		29	12.97	371.88	1,627.64	
4	12.85	51.40	1,948.12		30	12.89	384.77	1,614.75	
5	12.54	63.94	1,935.58		31	12.78	397.55	1,601.97	
6	12.88	76.82	1,922.70		32	13.32	410.87	1,588.65	
7	12.94	89.76	1,909.76		33	12.60	423.47	1,576.05	
8	12.66	102.42	1,897.10		34	12.78	436.25	1,563.27	
9	12.84	115.26	1,884.26		35	12.79	449.04	1,550.48	
10	12.72	127.98	1,871.54		36	13.47	462.51	1,537.01	
11	12.97	140.95	1,858.57		37	12.73	475.24	1,524.28	
12	12.94	153.89	1,845.63		38	12.79	488.03	1,511.49	
13	13.24	167.13	1,832.39		39	12.77	500.80	1,498.72	
14	13.11	180.24	1,819.28		40	13.10	513.90	1,485.62	
15	12.96	193.20	1,806.32		41	13.36	527.26	1,472.26	
16	13.10	206.30	1,793.22		42	12.58	539.84	1,459.68	
17	12.61	218.91	1,780.61		43	13.16	553.00	1,446.52	
18	12.86	231.77	1,767.75		44	12.47	565.47	1,434.05	
19	13.03	244.80	1,754.72		45	12.74	578.21	1,421.31	
20	12.67	257.47	1,742.05		46	12.59	590.80	1,408.72	
21	12.01	269.48	1,730.04		47	12.96	603.76	1,395.76	
22	12.98	282.46	1,717.06		48	12.98	616.74	1,382.78	
23	12.61	295.07	1,704.45		49	13.00	629.74	1,369.78	
24	12.60	307.67	1,691.85		50	12.62	642.36	1,357.16	
					Liner hanger	3.41	645.77	1,353.75	

(Note) No. 1 ~ 42 Slotted pipe
No. 43 ~ 50 Casing

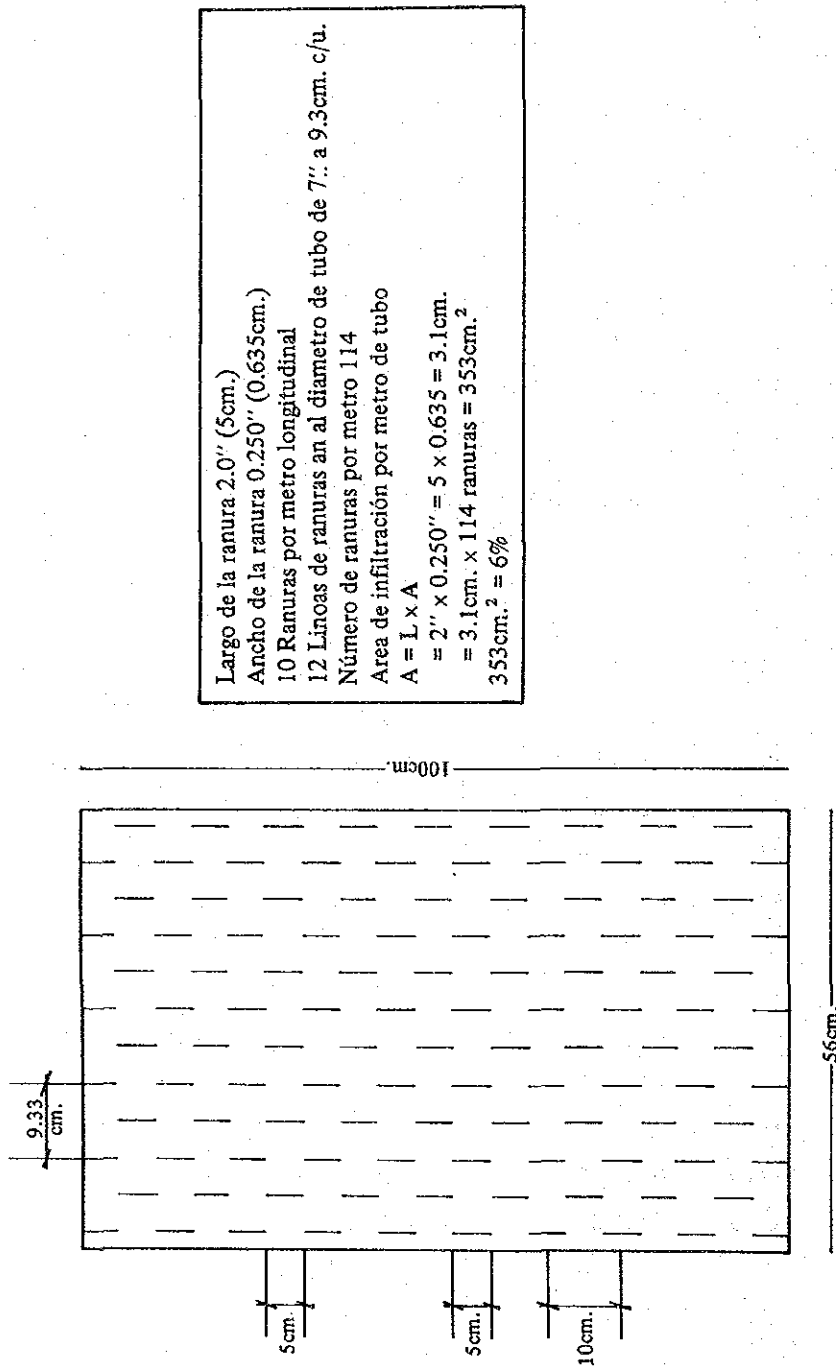


Fig. II. 3-12 7" Slotted Pipe

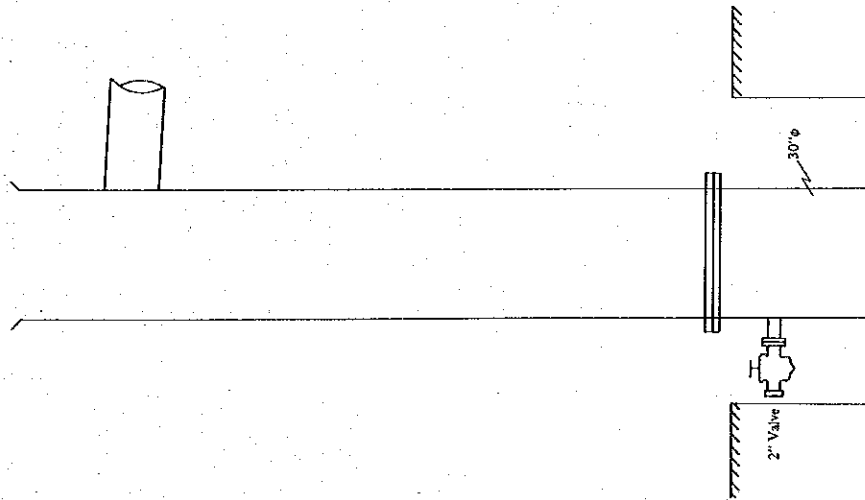
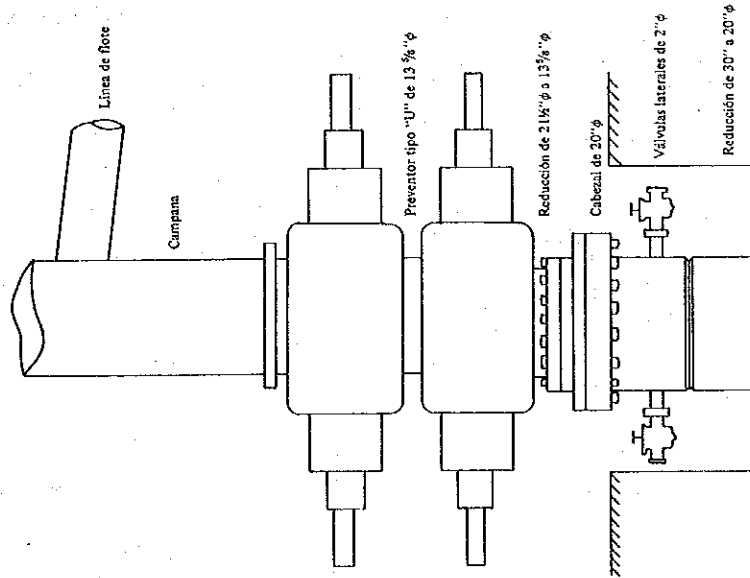
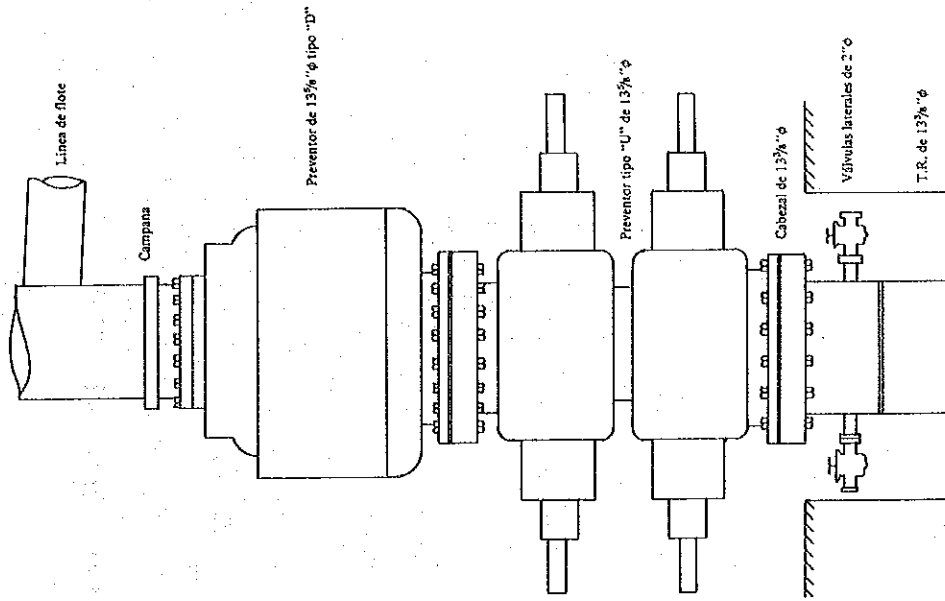


Fig. II. 3-13 Well head Stacks of PR-13 (1)



1. - Instalaciones superficiales para la 1ra. etapa (con barrenos de 12 1/2" φ.)



3. - Instalaciones superficiales para la 3ra. etapa (con barrenos de 12 1/2" φ.)

Fig. II. 3-13 Well head Stacks of PR-13 (2)

Fig. II. 3-13 Well head Stacks of PR-13 (3)

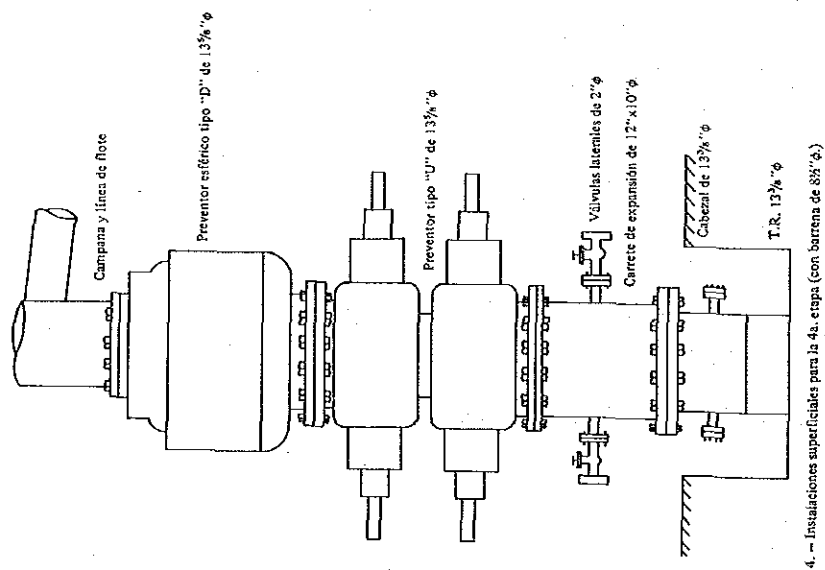


Fig. II. 3-13 Well head Stacks of PR-13 (4)

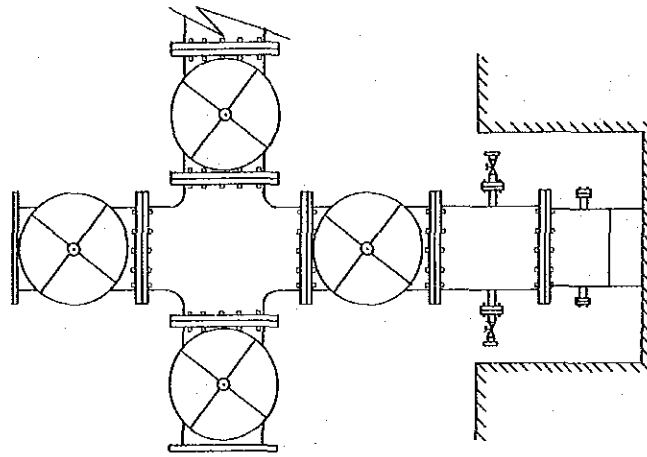


Fig. II. 3-13 Well head Stacks of PR-13 (5)

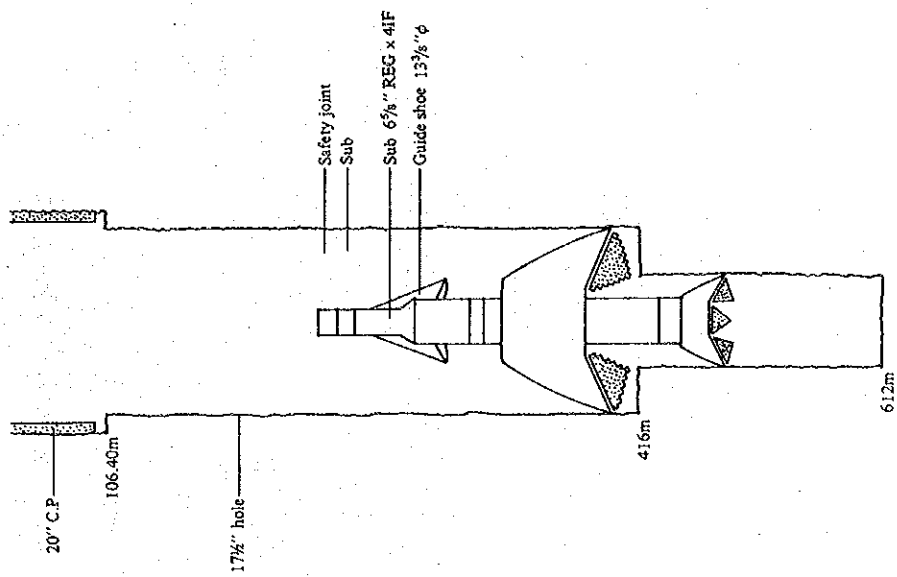


Fig. II. 3-14 Status of Fish for PR-13 (3)

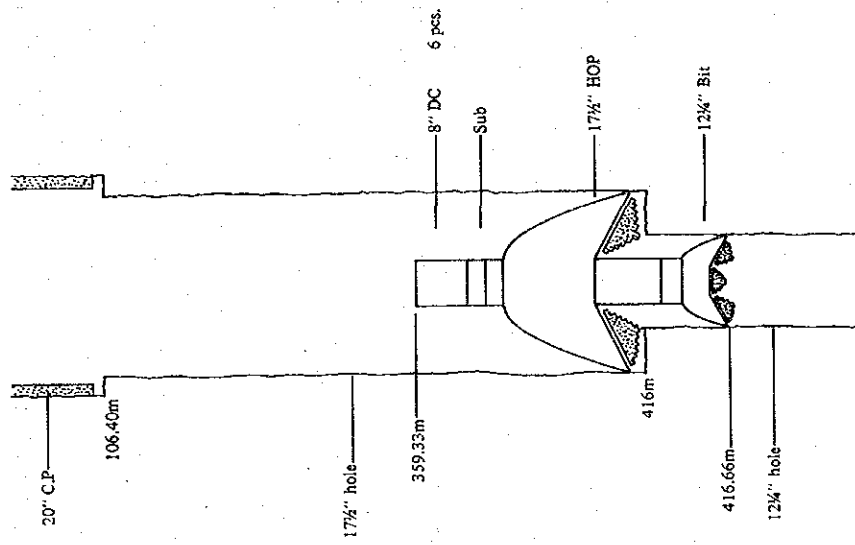


Fig. II. 3-14 Status of Fish for PR-13 (2)

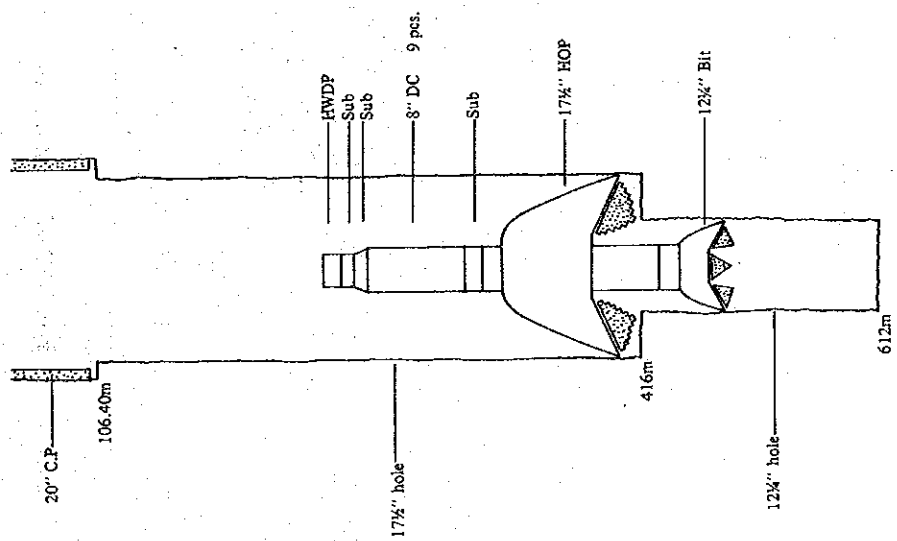


Fig. II. 3-14 Status of Fish for PR-13 (1)

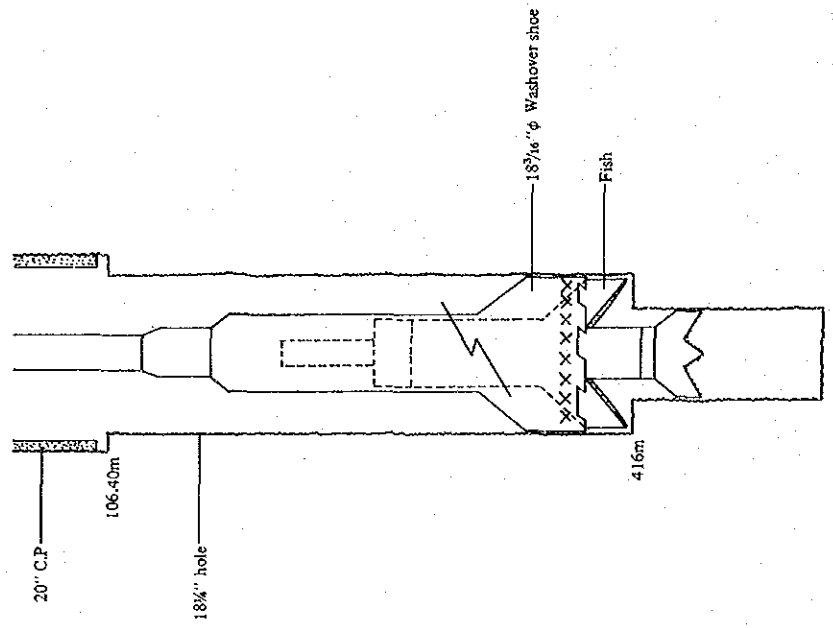


Fig. II. 3-15 Status of Washover for PR-13 (2)

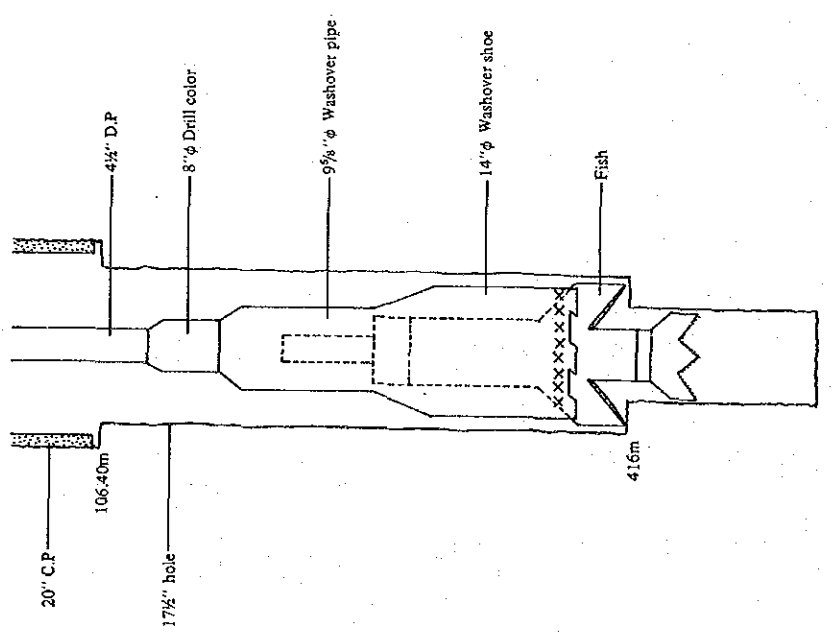


Fig. II. 3-15 Status of Washover for PR-13 (1)

Table II. 3-14 List of Major Drilling Materials of PR-13

		20" C.P	13 ³ / ₈ " C.P	9 ⁵ / ₈ " C.P	Final depth	Total
Mud Additives	Bentnite 50 kg/SX	1,039 SX	19,984 SX	3,114 SX	2,231 SX	26,368 SX
	Lignite 25	0	44 SX	211 SX	150 SX	405 SX
	Supercaltex 25	0	55 SX	225 SX	120 SX	400 SX
	Bicromat Sodico 50	0	0	23 SX	6 SX	29 SX
	Corstic Soda	0	20 kg	420 kg	880 kg	1,320 kg
	Bicarbonate 40	19 SX	102 SX	83 SX	1 SX	205 SX
Lost Circulation Materials	Cero Automatico 10	0	8 SX	0	0	0 SX
	LCM (Fine) 25 kg	23 SX	58 SX	0	0	81 SX
	LCM (Medium) 25 kg	38 SX	87 SX	204 SX	0	329 SX
Cement	Cement 50	1,245 SX	5,759 SX	1,225 SX	0	8,229 SX
	SiO ₂ 40	50 SX	1,560 SX	542 SX	0	2,152 SX
	NaCl	23 SX	107 SX	17 SX	0	147 SX
Fishing	Free Well	0	755 ℓ	480 ℓ	100 ℓ	1,335 ℓ
	Oil	0	64 kℓ	45 kℓ	26 kℓ	133 kℓ

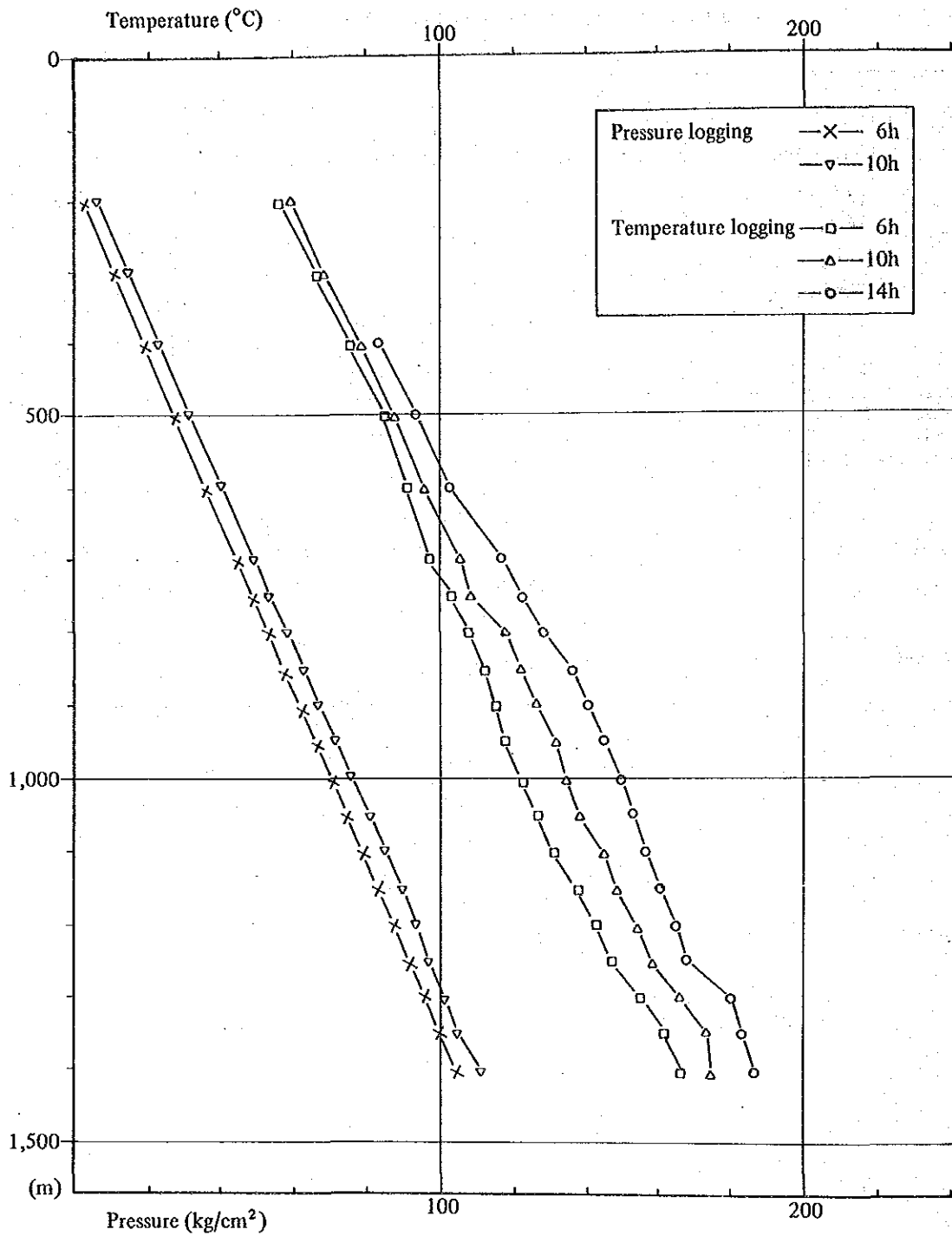


Fig. II. 3-16 Temperature and Pressure Logging Chart of PR-13 (1,400m)

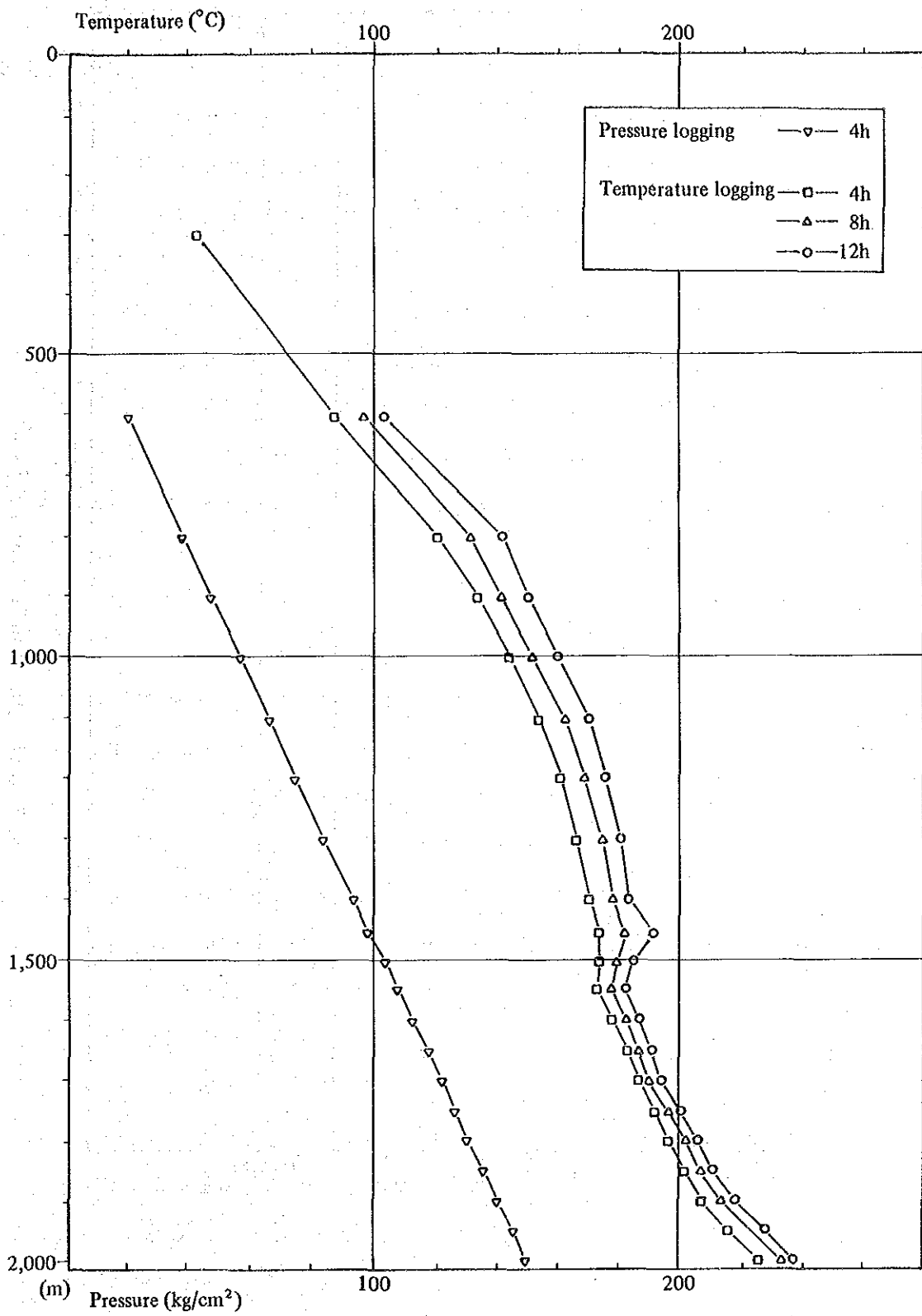


Fig. II. 3-17 Temperature and Pressure Logging Chart of PR-13 (2,000m)

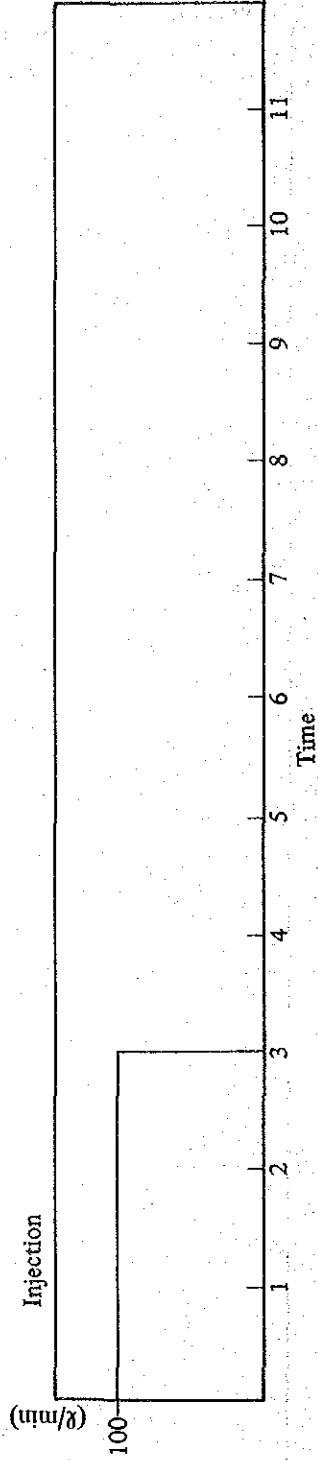
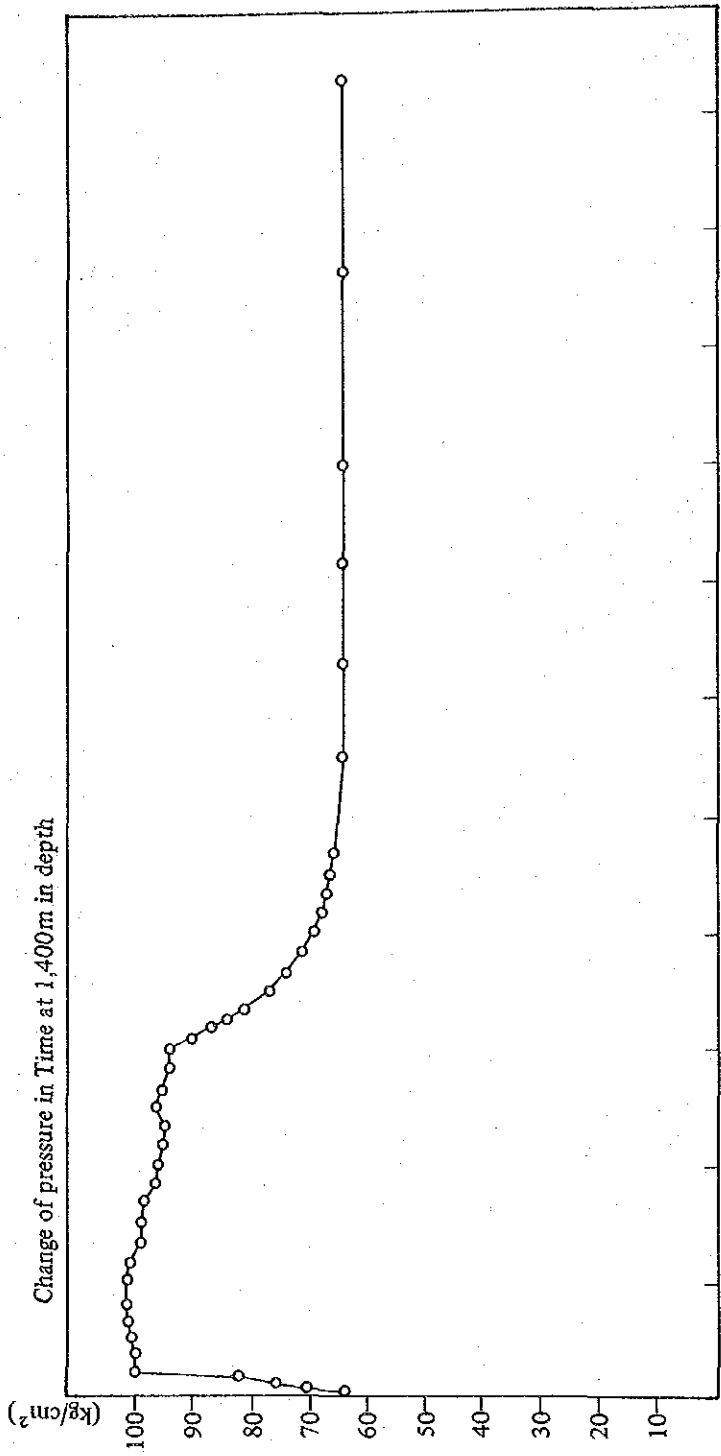


Fig. II. 3-18 Injection Test Chart of PR-13

3.3 PR-13井の調査

3.3.1 PR-13井のコア・カッティングス調査

PR-13井の深度1,200mから2,000mにかけて20m毎に採取した計41個のカッティングスを用いて、HgとAsの化学分析、X線回折分析、流体包有物の均質化温度測定を実施した。Fig. II.3-19にPR-13の総合柱状図を示す。

(1) Hg、Asの化学分析

Hg濃度は深度1,420mで最大値0.09ppmを示すが、それを除けば0.04ppm以下であり、大半は0.02ppm以下の値を示している。Hgの化学分析はこれまでに数坑井で実施しているが、本坑井のHg濃度はそのなかで最も低い値を示す。As濃度は深度1,500~1,640mにかけてやや高い値を示し、この付近に逸泥現象が見られることから、フラクチャーゾーンを形成していると考えられる。また、As濃度は深度1,900m以深の坑底付近で高まりがみられ、フラクチャーの存在を示唆する。なお、プロダクションテスト(昭和63年8月19日測定)から、この付近のフラクチャーが主たる蒸気供給層となっている。

(2) X線回折分析

変質鉱物としてモンモリロナイト・緑泥石/モンモリロナイト混合層鉱物・緑泥石・セリサイト・石英・方解石・黄鉄鉱が認められた。

モンモリロナイトは深度1,200~2,000mにわたりほぼ普遍的に分布している。この深度における回復温度(スタンディングタイム2,160時間)は281~289°Cを示しており、PR-12での考察と同様に当坑井付近の地下温度は変質期から現在にかけて120°C以上上昇したと判断される。

(3) 流体包有物の均質化温度

流体包有物の均質化温度の測定は5つの深度(870m、1,260m、1,440m、1,820m、2,000m)から採取した石英と方解石を用いて、加熱顕微鏡で行った。

最低均質化温度は、深度870mから1,440mにかけて228°Cから290°Cへと急上昇し、その後1,820mまでは286~290°Cとほぼ一定するが、さらに深部では温度の低下が見られ、坑底2,000mでは264°Cとなる。

各深度における最低均質化温度の分布幅は深度870mおよび1,260mで約50°Cと広いものの、その他の3深度では8~24°Cと狭いことから、PR-12の場合と同様に、石英や方解石中の各流体包有物はほぼ同時期に生成したと考えられる。

3.3.2 PR-13 井の熱水化学性状調査

(1) 試料採取

昭和63年8月12日にPR-13井の坑井調査を実施した。

蒸気、蒸気凝縮水および熱水の採取方法および試料採取状況は、3.1.3項PR-12井の熱水化学性状調査に述べた方法とおなじである。

ただし、PR-13では坑口圧力が190psi(13.4kg/cm²G)、セパレーター圧力が35psi(2.5kg/cm²G)であった。また、PR-12と同様に、採取した試料について、不安定な成分であるpHおよびH₂Sは現地の化学実験室でただちに分析を行い、保存中に濃度変化が予想される成分については、酸やアルカリを添加したり、蒸留水で希釈するなどの処理をほどこして日本に持ち帰り、化学分析および同位体分析を実施した。

(2) 分析結果および考察

化学分析および同位体分析の結果をTable II.3-15に示す。

セパレーター圧力35psi(2.5kg/cm²G)で分離採取した蒸気のトータルガス濃度は、1.76vol.%であり、このうちCO₂が99.0vol.%である。アルカリ溶液に溶解しないガスの中では、CH₄が最も多くこれまでの調査結果および今回の他坑井の調査結果も同じ特徴を有している。

PR-13の蒸気のHe、ArおよびN₂濃度は、今回調査した他坑井(PR-8およびPR-12)のそれらの値とほぼ同じである。

蒸気凝縮水は、pHが6.99と中性であり、電気伝導度は333μS/cmである。NH₄以外のCl、As、およびHgは極めて低い値を示している。

熱水は、他坑井同様NaおよびClに富んだ中性のものであるが、SO₄濃度は112mg/lとPR-1およびPR-12(19~45mg/l)と比較して多く、PR-8(約110mg/l)熱水と同程度である。また、SiO₂およびB濃度も、PR-8熱水と同程度である。

熱水の水素および酸素同位体組成は、 δD が-66.7%、 $\delta^{18}O$ が-1.7%であり、 δD はPR-1、PR-8およびPR-12の値より若干軽く、 $\delta^{18}O$ はPR-8の値とほぼ同じである。トリチウム濃度は、0.25TR未満(1TR = 10¹⁸ × T/H)であり現在の地表水の値(10~30TR)と比較して極めて低いことから、新しい地表水の貯留層への浸透は少ないと考えられる。

熱水の溶存成分から、いくつかの地化学温度計をもちいてPR-13の貯留層温度をも

とめた。その結果は、PR-12 の結果とともに Table II.3-2 に示すとおりである。

得られた温度は、236~278°C であり、Na-K-Ca 温度が他より低い温度を示す。

SiO₂ 温度計の値が 278°C であり、Na/K 温度計 (Fournier) の値が 269°C であり、さらに昭和 63 年 8 月 19 日および 8 月 23 日に実施された噴出中の温度検層時の最高温度が 276°C であることから、PR-13 の貯留層温度は 280°C 程度であると考えられる。

この温度は、昭和 62 年に調査した PR-8 の推定貯留層温度と同程度であり、PR-1 および PR-12 よりは熱的に劣ると考えられる。また、B/Cl 比については、PR-13 と PR-1、PR-12 および PR-8 の間に大きな差はなく、熱水の起源は同じと考えられる。

PR-13 および他坑井の化学データに基づく当地域の考察は、第 III 章の 1.1.4 で述べる。

3.3.3 PR-13 井の坑井試験

(1) 測定方法および測定状況

PR-13 井の坑井試験では、PR-12 と同様、オリフィスで調整した設定流量毎に、噴気中の坑井内温度分布と圧力分布を測定した。測定は、昭和 62 年度に JICA が CFE に供与した検層機器を使用した。測定概要および主な使用機器は、それぞれ Fig. II.3-3 および Table II.3-3 に示すとおりである。

本坑井の試験では、Table II.3-16 に示すような流量特性のもとで 2 回の測定を実施した。つまり 2 次弁全開で開口径が 3"φ および 2½"φ のオリフィスによって流量調整した、それぞれ 17.0kg/cm²G および 21.8kg/cm²G の坑口圧力のもとで、温度・圧力同時測定を行った。

なお、本坑井の掘削深度は 2,006.4m であるが、測定器が 1,985m 以深に降下しなかったため、1,980m を最終測定深度とした。

(2) 測定結果

PR-13 の坑井内温度と圧力の結果を Table II.3-17 および Fig. II.3-20 に示す。これらの結果から本坑井の坑井内状況は次のようにまとめられる。

- ① 坑井内は坑底付近を除けば、2 相フラッシュ流を呈しているとみられる。一方坑底付近は、測定温度と静止平衡時の温度 280°C (CFE 測定) との差が小さいことおよび圧力勾配が液相状態に近いことから、液相流が主体と考えられる。つまり第 1 回

目の測定時の坑底付近は、坑井近傍の地層内で一部フラッシュするが大部分は液相流を呈し、また第2回目は、主として深度1,900m以深は液相の等温流で、1,900m付近でフラッシングを開始しているものと思われる。

- ② 流入点は、測定結果からは必ずしも明確ではないが、坑底付近が推定される。
- ③ 測定器が深度1,985m以深に降下できないことから、坑底には10数mの埋設が予想される。

Table II. 3-16 Conditions of Well Test of PR-13

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

(3) 透水量係数の算出

前述したようにPR-13の噴気流体は、坑底付近より坑井内に流入していると推定されるが、地層内の流動は、第1回目は坑井近傍地層内で一部フラッシュし、大部分が液相で占める2相フラッシュ流であり、第2回目は液相流と考えられる。このことから透水量係数の算出に当たっては、第1回目の測定結果に対しては気液2相流動式を、第2回目に対しては液相流動式を用いることとした。

気液2相放射状流の式は次のように表わされる。

$$G = \frac{2\pi k h (P_e - P_w)}{\ln(r_e / r_w)} \left(\frac{r_e}{\mu_g} k_{rg} + \frac{r_w}{\mu_w} k_{rw} \right) \dots\dots\dots(1)$$

- ただし G : 総流量 kg/s
- Pe : 流入深度の貯留層圧力 kg/m²
- Pw : 流入深度の坑井内圧力 kg/m²

$\bar{k}h$: 透水量係数	m^3
\bar{k}	: 絶対浸透率	m^2
k_r	: 相対浸透率	
h	: 有効層厚	m
γ	: 流体の比重量	kg/m^3
μ	: 流体の粘性係数	$kg\cdot s/m^2$
r_o	: 影響圏半径	m
r_w	: 坑井半径	m

添字 s : 蒸気

w : 熱水

ここで $k_{rs} + k_{rw} = 1$ とし、乾き度 x を用いると、(1)式は次のように書きかえられる。

$$G = \frac{2\pi \bar{k}h (P_e - P_w)}{\ln(r_o/r_w)} \cdot \frac{1}{\frac{\mu_s}{\gamma_s} x + \frac{\mu_w}{\gamma_w} (1-x)} \quad \dots\dots\dots(2)$$

したがって気液 2 相流動の場合の透水量係数は次式により求められる。

$$\bar{k}h = \frac{G \ln(r_o/r_w)}{2\pi (P_e - P_w)} \left\{ \frac{\mu_s}{\gamma_s} x + \frac{\mu_w}{\gamma_w} (1-x) \right\} \quad \dots\dots\dots(3)$$

次に、液相放射状流の式は次式で表わされる。

$$G = \frac{2\pi \gamma_w k h (P_e - P_w)}{\mu_w \ln(r_o/r_w)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

したがって液相流動の場合の透水量係数を求める式は次のようになる。

$$k h = \frac{G \mu_w \ln(r_o/r_w)}{2\pi \gamma_w (P_e - P_w)} \quad \dots\dots\dots(5)$$

第 1 回目および第 2 回目の測定結果に対して、それぞれ(3)式および(5)式を用いた時の計算条件を Table II. 3-18 に、計算結果を Table II. 3-19 に示す。なお、流入点での貯留層圧力としては、静止平衡時の圧力 $14.3 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs}$ (CFE 測定) を用いた。また(3)式における乾き度 x は、静止平衡時の流入点付近における温度 (280°C) から算出している。

Table II. 3-18 List of Parameters used in Calculation of kh in case of PR-13

Stage	Static (10 May, 1988)	I	II
Well head pressure (kg/cm ² G)	—	17.0	21.8
Total flow rate (t/h)	—	89.8	64.4
Pressure at feed point P _w (kg/cm ² abs)	143	59.5	72.8
Specific weight of fluid at feed point γ (kg/m ³)	—	γ _w = 761 γ _s = 30	γ _w = 739
Viscosity coefficient of fluid at feed point μ (kgs/m ²)	—	μ _w = 9.77 × 10 ⁻⁶ μ _s = 1.89 × 10 ⁻⁶	μ _w = 9.26 × 10 ⁻⁶
Quality at feed point	—	0.02	0.0

Table II. 3-19 Results of Calculation of kh in case of PR-13

Stage	kh (m ³)
I	3.3 × 10 ⁻¹³
II	2.6 × 10 ⁻¹³

Table II. 3-19 より、PR-13 のフラクチャーの透水性は、PR-12 と同様の 0.3 darcy m 程度で、通常の透水性を有していると言える。

Table II. 3-15 Chemical Composition of Well Discharge Sample from PR-13

(1) Gas composition of steam

	PR-13	PR-8	PR-12
Well-head pressure (psi)	190	155	120
Liquid-vapor separate pressure (psi)	35	17	47
Total gas in steam (vol. %)	1.76	2.11	1.92
Gas Composition			
H ₂ S (Vol. %)	0.3	0.3	0.9
CO ₂ (vol. %)	99.0	99.0	98.5
H ₂ (ppm)	140	56.9	478
N ₂ (ppm)	2340	2790	2510
CH ₄ (ppm)	4470	4100	2960
He (ppm)	12.8	13.5	15.5
Ar (ppm)	39.4	43.2	40.3

(3) Chemical composition of hot water

Component	Unit	PR-13
Electrical conductivity	μS/m	4,010
Total dissolved solids	mg/l	3,690
pH	-	8.53
Cl	mg/l	870
SO ₄	mg/l	112
H ₂ CO ₃	mg/l	3.3
HCO ₃	mg/l	475
CO ₃	mg/l	12.2
Na	mg/l	767
K	mg/l	132
Ca	mg/l	1.26
Mg	mg/l	0.35
Fe	mg/l	0.68
Al	mg/l	2.04
SiO ₂	mg/l	964
Li	mg/l	8.39
B	mg/l	109
F	mg/l	6.3
NH ₄	mg/l	3.7
As	mg/l	12.9
Hg	mg/l	<0.0005
D/H	‰ (SMOW)	-66.7
¹⁸ O/ ¹⁶ O	‰ (SMOW)	-1.7
Tritium	TR	<0.25

(2) Chemical composition of steam condensate

Component	Unit	PR-13
Electrical conductivity	μS/cm	333
pH	-	6.99
Cl	mg/l	0.31
NH ₄	mg/l	51.1
As	mg/l	
Hg	mg/l	0.0011

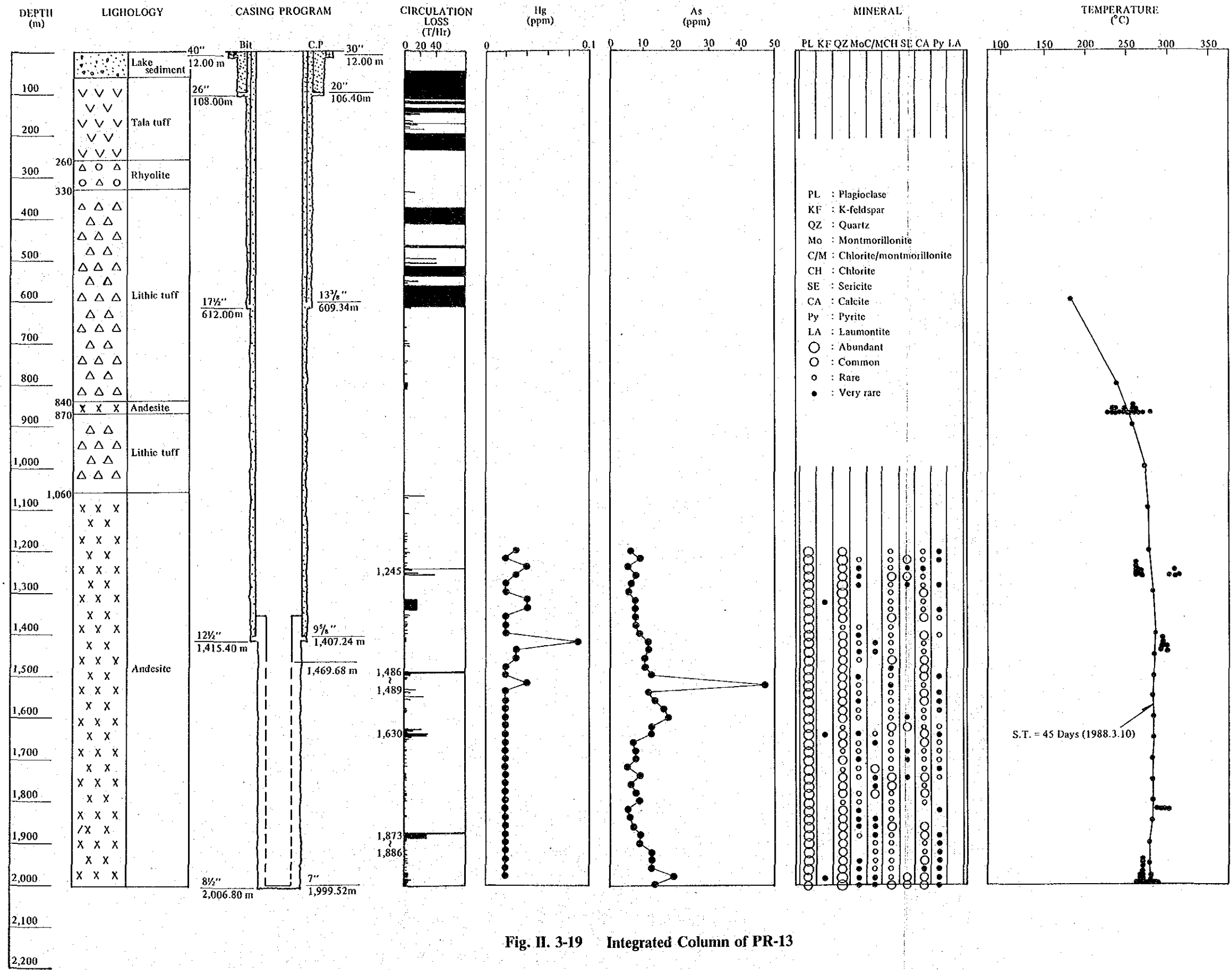


Fig. II. 3-19 Integrated Column of PR-13

Table II. 3-17 Results of Measurement of PR-13

Stage	I		II	
Date	19. Aug. 1988		23. Aug. 1988	
Well head condition	3" ϕ orifice		2½" ϕ orifice	
Well head pressure	17.0 kg/cm ² G		21.8 kg/cm ² G	
Depth (m)	Temperature (°C)	Pressure (kg/cm ² ·abs)	Temperature (°C)	Pressure (kg/cm ² ·abs)
100	212	18.7	224	23.7
200	216	19.8	227	25.2
300	218	20.7	230	26.8
400	221	22.3	233	27.9
500	224	23.5	235	29.4
600	227	25.1	238	30.7
700	229	25.9	240	32.3
800	232	27.6	243	33.9
900	235	28.9	245	35.6
1000	237	30.0	248	37.1
1100	240	31.5	251	39.1
1200	242	33.3	253	41.0
1300	245	34.8	256	43.2
1400	248	36.4	259	45.2
1500	251	38.8	261	48.1
1600	253	41.1	264	51.3
1700	256	43.9	266	55.1
1800	260	47.9	270	59.9
1900	267	54.0	276	66.9
1980	270	59.5	276	72.8

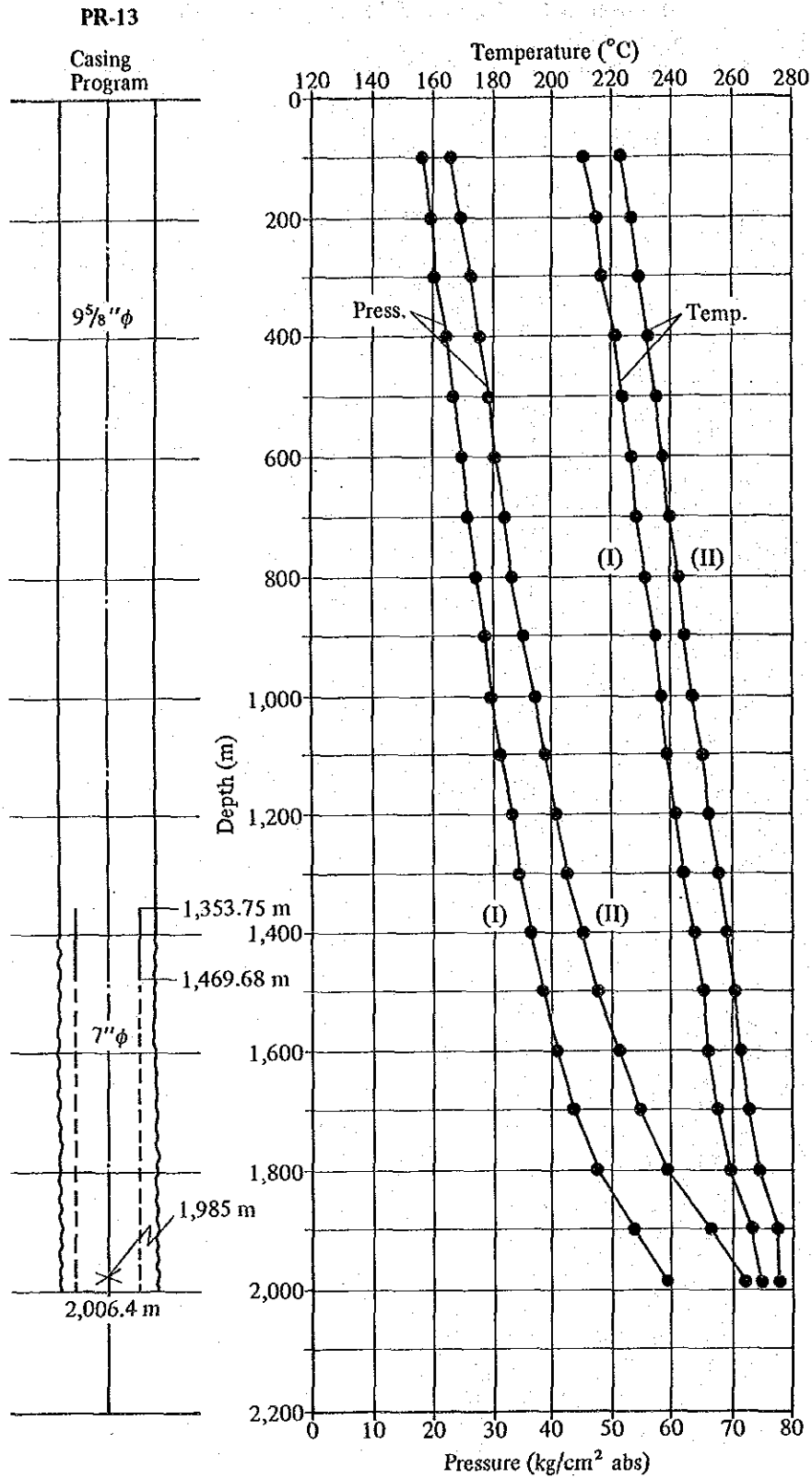


Fig. II. 3-20 Downhole Temperature and Pressure Curves of PR-13 in the Producing Condition

3.3.4 PR-13 井の総合評価

(1) フラクチャーの評価

深度 600m 以浅には掘削時に多数の逸泥が発生している。また掘削終了後に実施した 912、1,080、2,160 時間の各スタンディングタイムでの温度回復試験結果を比較すると、約 900m より浅部において 1,080 時間から 2,160 時間にかけて温度の著しい低下が見られる。このことから、タラ凝灰岩やコルディリェーラン火山噴出物の上部層は天水の浸透が著しい地層であると判断される。(Fig. II. 3-21)

9 ⅜" ケーシングパイプ設置深度である 1,407.24m 以深における掘削時に測定されている泥水の出入りの温度の深度に伴う変化をみると、著しい温度変化は 1,880m 付近に見られ、ここで急上昇する。逸泥状況が深度 1,873~1,877m および 1,885~1,886m で全量逸泥に遭遇していることから、この付近に発達するフラクチャーを通じて高温地熱流体が流動していると考えられる。本坑井のプロダクションテストは JICA によって昭和 63 年 8 月 19 日から 23 日にわたり実施された。それによれば、これらの深度付近に流体が流入しているような形跡は認められないことから、これらのフラクチャーの透水性はあまり良くないのであろう。本テストによって、PR-13 に流入している流体は坑底付近から流入していると推定されたが、この付近に全量逸泥は確認されておらず、小規模逸泥を発生させたフラクチャーが主たる蒸気供給層になっていると考えられる。当フラクチャーの透水量係数は $2.6 - 3.3 \times 10^{-18} \text{ m}^3$ でほぼ PR-12 と同様の値を示し、通常の透水性を有している。

以上のように、本坑井では深度 1,873~1,886m の逸泥個所が主流入点と考えられるがこの他にフラクチャーと判断されたのは以下の深度である。

- ① 深度 1,486~1,489m の全量逸泥：若干深度はずれるが 1,500m 付近で Hg・As 濃度が高く、掘削後の温度回復試験で高温の異常が出るので (Fig. II. 3-17)、比較的大きなフラクチャーと考えられる。
- ② 深度 1,630m 付近：20~30kl/h の小規模逸泥があり、As 濃度も高いので小規模なフラクチャーである。
- ③ 深度 2,000m 付近：13kl/h の小規模逸泥があり、As 濃度も高いので 1,630m 付近と同様小規模なフラクチャーである。

この他、CFE の圧力ピボット解析によれば深度 1,760m 付近が主流入点という判断がでていますが、この付近に大きな逸泥はなく、温度異常や Hg・As 異常も認められない

ので、流入点ではない。この圧力ピボット解析はフラクチャーの透水性がよく、圧力値の測定精度がよくかつ液相主体の場合に適応可能であるので、本坑井のようにフラクチャーの透水性があまり良くない場合は誤差が生じることになる。

ところで、Fig. Ⅲ. 1-11によれば本坑井はHorizon 3（コルディリエーラン火山噴出物下部層、流紋岩の上面）の褶曲構造において向斜軸部に位置している。したがって、深度1,486～1,489m、1,630m付近、1,873～1,886mおよび2,000m付近のフラクチャーはこの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。

(2) 温度の評価

スタンディングタイム2,160時間の温度回復試験結果によれば、深度1,900m以深の地下温度に大きな変化は見られず281℃を示しており、PR-12の深部に比較すると50℃ほど地層温度は低いと推定される。

プロダクションテストによれば、流体は坑井内流入付近でフラッシュを開始する。坑底付近の流体温度は約280℃ぐらいを示し、地層温度281℃との差は小さいことから、流体は地層温度とほぼ平衡に達しているといえる。

次に、温度回復試験、流体包有物の均質化温度および変質鉱物から、地下温度を考察する。前述のように、石英や方解石中の流体包有物はほぼ同時期に生成したと考えられるが、各深度での均質化温度を検層温度と比較すると、870m、1,440m、1,820mの各深部では最低均質化温度は検層温度とよく一致するが、1,260m、2,000mの両深度では最低均質化温度が検層温度より17～22℃ほど低い。この結果は、当坑井付近の地下温度は流体包有物のトラップ期から現在にかけて、深度によって温度変遷を異にし、ほぼ一定ないし上昇傾向にあったと推定される。一方、モンモリロナイトや濁沸石などの変質鉱物の分布から、過去の変質期から現在にかけて地下温度は120℃以上上昇したと推定された。これらの結果を総合すると、変質期→流体包有物トラップ期→現在という過程で地下温度はほぼ一定ないし上昇傾向にあったと推察される。

(3) 掘削前の予測と掘削結果の比較

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℃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。

(4) PR-13 の坑井能力

Table II. 3-16 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. 3-22 のようになる。しかし、この図からは坑口圧 7 kg/cm²G 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. 3-20 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. 3-22 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. 3-23 のようになり、坑口圧 7 kg/cm²G (8 ata) では約 40 t/h の蒸気が得られることになる。Fig. II. 3-22 の値を直線的に延長すると、28 t/h 程度であるのに 40 t/h になるのは次の理由による。

- ① Fig. II. 3-20 をみると深度 1,985m 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 1,486～1,489、1,630、1,873～1,886m 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 1,300m 以深 280°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。

もし、今後さらに 500m 掘進すれば、Fig. III. 1-11に示すようにせん断性の断層を通過するので、より蒸気量が得られると思われる。

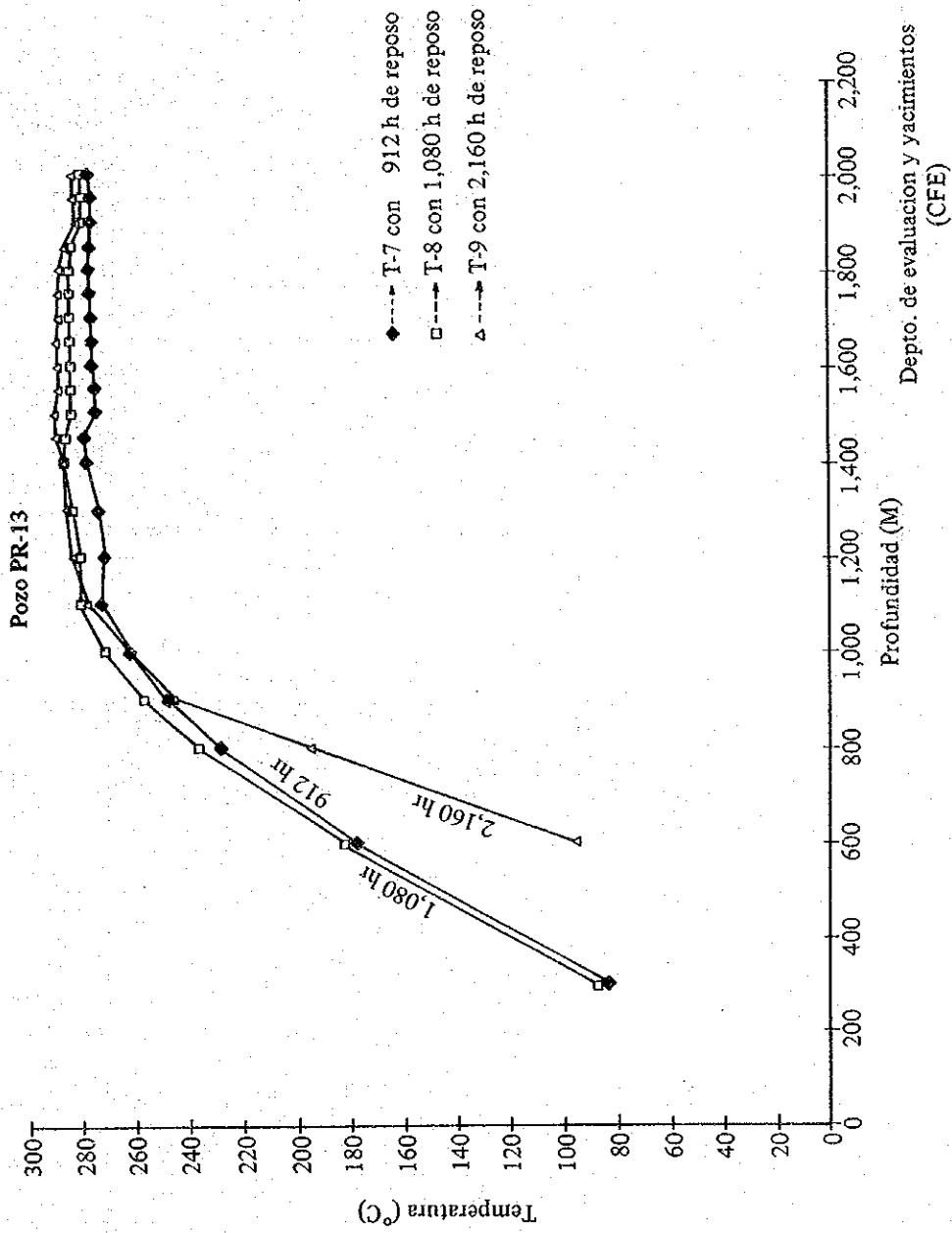


Fig. II. 3-21 Recovery of Temperature of PR-13

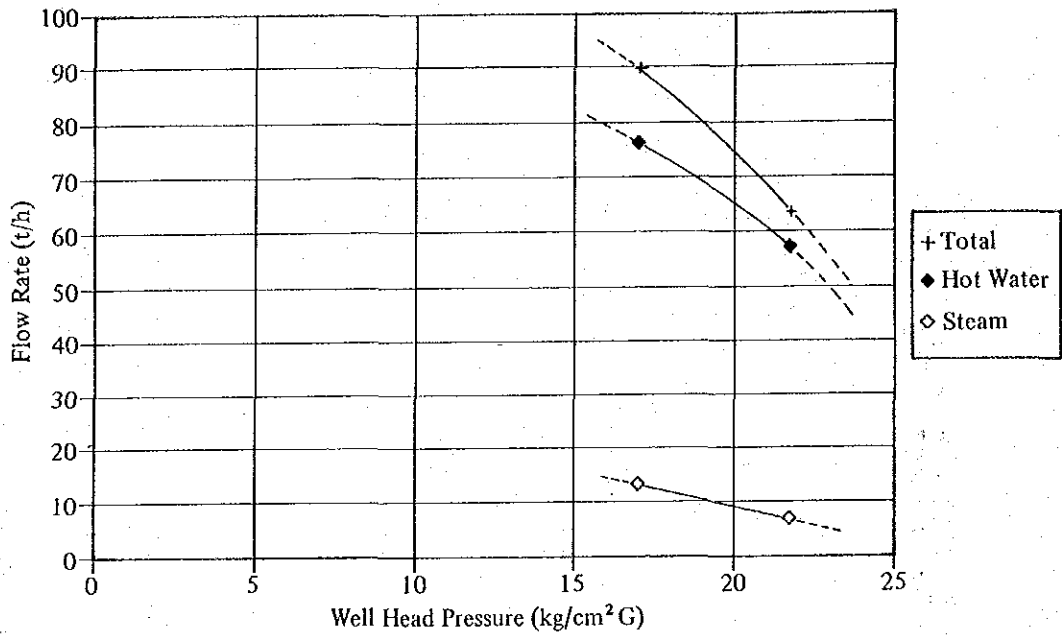


Fig. II. 3-22 Characteristics of Well head Pressure VS. Flow Rate of PR-13

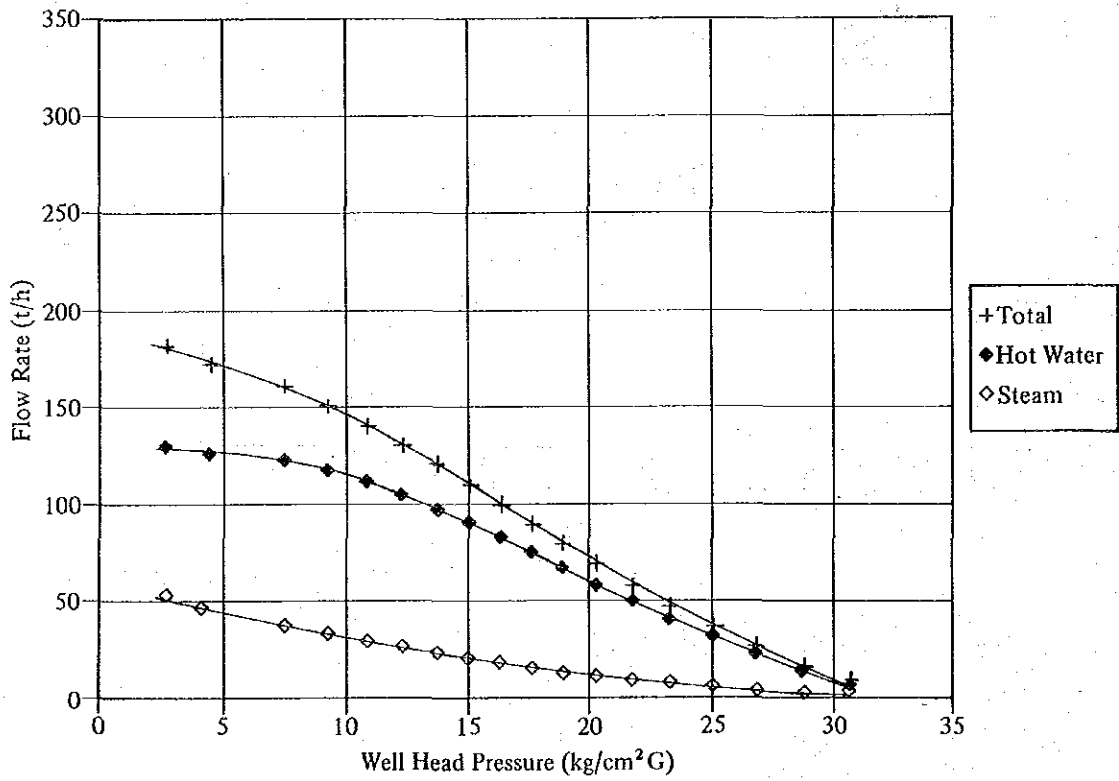


Fig. II. 3-23 Prediction Curve of Well head Pressure VS. Flow Rate of PR-13

