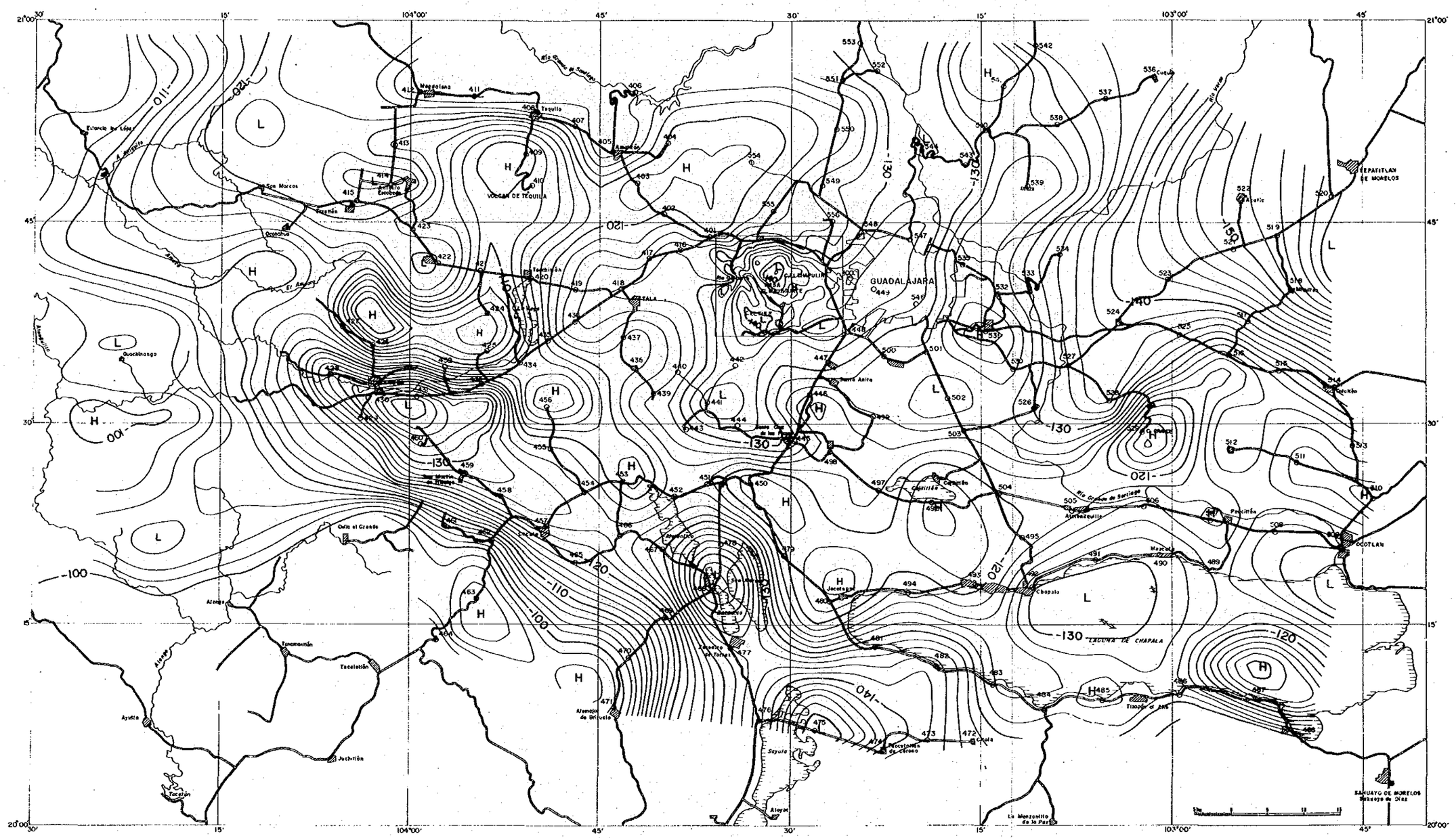

GUADALAJARA
LAGUNA DE CHAPALA
VOLCAN DE TEQUILA
TEPATITLAN DE MORELOS
OCOTLAN
SAHUAYO DE MORELOS
Magdalena
Tequila
Ameca
Etzatlán
Tala
Chapala
Jocotepec
Tizapán el Alto
Zacoalco de Torres
Atemajac de Brizuela
Tacolotlán
Ixtlahuacán
Ayutla
Juchitlán
Tecolotlán
Tamazula
Atenco
Ocotlán el Grande
Quockhango
Estancia de Lobos
San Marcos
Tuxpan
Ocotlán
Cuquío
Ixtlán
Mascota
Puerto Vallarta
Cocula
Zacoalco
Sayula
Aloyas
Tuxpan
Ameca
Tepic
Mexicaltzingo
Jocotepec
Chapala
Ajijic
Poncitlán
Atotonilco el Alto
Tizapán el Alto
Zacoalco de Torres
Cocula
Sayula
Aloyas
La Manzanillo de la Paz
Río Grande de Santiago
Río Verde
Río Ameca
Río Tuxpan
Río Ayutla
Río Tecolotlán
Río Juchitlán
Río Zacoalco
Río Sayula
Río Aloyas
Río Chapala
Río Ocotlán
Río Tizap

Table 5. Densities of rock samples

Geology		Wet Density (g/cm³)	Number of Sample	Mean Density(g/cm³)		
Quaternary	rhyolite (Central Dome)		6	2.21	2.12	2.21
	Welded tuff (Tala tuff)		9	2.06		
Tertiary	rhyolite		10	2.33	2.28	
	tuff		7	2.22		
	andesite		7	2.39		
	basalt		6	2.60		
Cretaceous sedimentary rock			2	2.57		

• Surface Sample ▫ core Sample

Ⅱ－4　電気探査（ＭＴ法）

電気探査は、リモートリファレンスＭＴ法により、測定を実施した。測点配置は、既存坑井近傍では約３００ｍ間隔、その周辺では約５００ｍ間隔としたが、地形が急峻な測点は、状況に応じて適宜移動させて測定を行った。

(1)　測定およびデータ処理

地熱徴候地を中心に５４点の測点を設け（Fig. 24）Remote Reference Magnetotelluric Method を実施した。５４点のうち８点については、データの質を吟味するために２度測定を行った。データ取得帯域、パラメーターおよび取得時間についてはTable 6、データ取得システムはFig. 25に示した。フィールドプロセッサーはデータ取得中にもリアルタイムでデータ処理が可能であるので、現地において見かけ比抵抗曲線（Fig. 26）や位相曲線等を算出した。これらはデータの品質管理のために実施したものであり、データの質の向上をめざし、各測定点ではRemote Reference（２測点での同時測定）処理とシングル処理の両者を実施した。

最終的なデータ処理では、電場と磁場の相関を調べ（Coherency Check）、データ品質の低い区間を自動的に除いてからＦＦＴ（First Fourier Transform）処理を行い次のＭＴパラメーターを算出・表示した。

① 見かけ比抵抗（ρ_{XY}，ρ_{YX}）

② 位相（Φ_{XY}，Φ_{YX}）

③ インピーダンス・ストライキ

④ ティッパー・ストライキ

⑤ ティッパー・マグニチュード

⑥ スキュー

(2)　モデルインバージョン解析と構造指標

地下の比抵抗値を算出するために、まず始めに地下が水平多層構造とする１次元モデルインバージョン解析を実施した。この解析手順をFig. 27に示した。Fig. 27からわかるようにこの解析における主眼は、測定から得られた見かけ比抵抗・周期曲線に対し、水平多層の比抵抗値と層厚を各種仮定してあてはめ、最も適合する比抵抗値を得ることにある。このインバージョン解析の例をFig. 28に示す。

このような１次元モデルインバージョン解析の問題点は、地下が水平多層構造になっていない場合の適合性である。すなわち、地下の比抵抗構造が２次元あるいは３次元構造で

ある場合、どのように1次元解析を適用させることができるかである。地下が2次元比抵抗構造の場合、得られる見かけ比抵抗値にはρ_{XY} ρ_{YX}があるので、一般に次の2種類のモードが考えられる。

ＴＥモード：電場の方向が構造の軸と平行

ＴＭモード：磁場の方向が構造の軸と平行

磁場は周囲の地質的状況（岩石の磁気・変質など）によって変化しやすく、側方からの影響があるために1次元解析には不適当である。したがって、今回の解析には常にＴＥモードを使用した。

ρ_{XY}，ρ_{YX}のうちどちらがＴＥモードであるかを決めるには、ティッパー・ストライキ（ＴＥの方向を示す）とインピーダンス・ストライキ（ρ_{XY}の方向を示す）の角度を検討し、もしその角度がπ／4以下ならρ_{XY}をＴＥモード、π／4以上ならρ_{YX}をＴＥモードとした。

また、地下比抵抗構造の次元を判断するには、ティッパーマグニチュード（Ｔ）とスキュー（Ｓ）を用いた。

1次元的構造：Ｔ≒0　かつ　Ｓ≒0

2次元的構造：Ｔ≫0　かつ　Ｓ≒0

3次元的構造：Ｔ≫0　かつ　Ｓ≫0

周期30秒におけるティッパー・マグニチュードとスキューの分布図をそれぞれFig. 29と30に示したが、本地域は全体として1次元的構造であり、わずかに測点01および46近傍において2次元的構造が認められる。また、3次元的構造は本地域では認められていない。

(3) 水平断面解析

水平断面における見かけ比抵抗を調べるために3周期（0.01秒、1秒、30秒）におけるＴＥモード見かけ比抵抗分布図を作成した。それらのうち、30秒の分布図をFig. 31に示した。Fig. 31から、本地域の深部における見かけ比抵抗帯がＰＲ－1とＰＲ－8の南方にあり、ＮＷ－ＳＥの方向性をもっていることが読みとれる。

次に、見かけ比抵抗・周期曲線にポスティック・インバージョンを適用させ、比抵抗・深度曲線を求めた時に、任意の深度の比抵抗値を各測点について抽出し、ＴＥモードの比抵抗水平断面図を作成した。海抜1,500 mから－1,000 mの間に500 mおきに6層準さらに－3,000 mと計7深度の水平断面図を作成し、これらのうち、本地域の主たる貯留層と考えられる海抜0 mと－500m（深度1,800mおよび2,300m）の水平断面図をFig. 32～33に示した。これらの図から、5Ω－m以下の低比抵抗帯が、ＰＲ－8の南方、本地

域南部およびＰＲ－２南方に局所的に分布しているのが読みとれる。なお、ＰＲ－８南方の低比抵抗帯は海抜－3,000 m の水平断面にも表われており、地質調査で見出された uplift 帯および流体包有物や坑内温度測定から見出された upflow 帯と一致しており注目に値する。

(4) 垂直断面解析

垂直断面における見かけ比抵抗を調べるために、測線Ｂ（東西断面）および測線３（南北断面）の見かけ比抵抗・周期断面を作成した。（測線３の断面を Fig. 34 に示す）。なお、測線位置は Fig. 24 参照のこと。

測線Ｂをみると、短周期部では 50 Ω・m 以上の高見かけ比抵抗域がほぼ連続的に分布しているのに対し、長周期部では低見かけ比抵抗部と高見かけ比抵抗が交互に出現している。一方、測線３では、測点１８を中心として低見かけ比抵抗が存在し、それが、深部から上方および側方に広がった様相を呈する。

次に、水平断面解析の時と同様にして、ボスティック・インバージョン後の比抵抗・深度断面を作成した。測線Ｂにおける比抵抗パターンは、上述の見かけ比抵抗パターンと似ているが、測線３での比抵抗パターンは Fig. 34 とは異なり、測点１８を中心とする低比抵抗帯は深部から浅部に垂直的に連続しており、upflow がこの地域に存在することを示しているように見える（ Fig. 35 ）。

インバージョンによって得られた比抵抗・層厚解を測線に沿って連結すると１次元モデル断面図が描ける。これを９測線について実施したが、それらのうち代表的な測線Ｂと測線３のモデル断面図を Fig. 36 および 37 に示した。断面図からわかるように浅部の高比抵抗層、中深部の低比抵抗層そして深部の高比抵抗層の典型的な３層構造を示している。浅部の高比抵抗層はおそらく Tala Tuff の dry な地層を反映していると考えられる。これは、坑井試験によってＰＲ－１やＰＲ－８の地熱流体が地層内でフラッシュしている事実（すなわち浅部地層における水分の欠如）と調和する。測線３では中部は一様な低比抵抗を示すが、測線Ｂでは場所によって比抵抗値が異なる。Fig. 36 に既存坑井の軌跡を入れてみたところ、蒸気噴出の大きい坑井は低比抵抗帯中に掘削されていることがわかり、この中部の低比抵抗帯はフラクチャーが卓越した地熱貯留層として注目される。測点１８の深部には周囲とは全く異常な形で低比抵抗があらわれているが、これは upflow と関係があるものと推定される。

測線Ｂと測線３については、２次元モデル解析をも実施した。その結果は、１次元モデル断面図とよく似た比抵抗分布、比抵抗構造が認められるが、水平多層構造がより強調されているし、比抵抗のコントラストがより強調されている。例えば、測線Ｂの最下層の比

抵抗や測点18の比抵抗がより低くなっているのが特徴的である（Fig. 38, 39参照）。

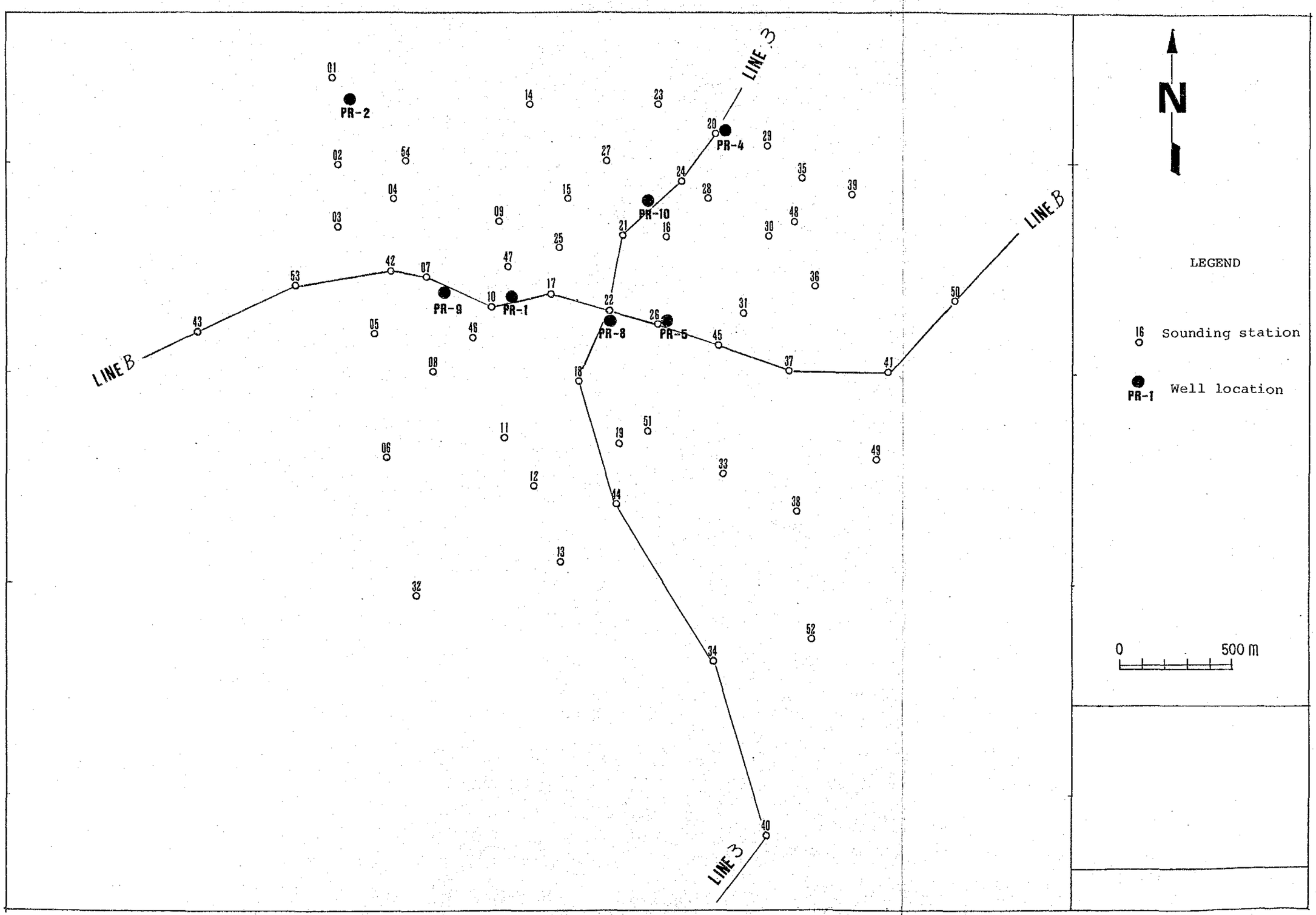


Fig. 24. Location and line map of MT survey

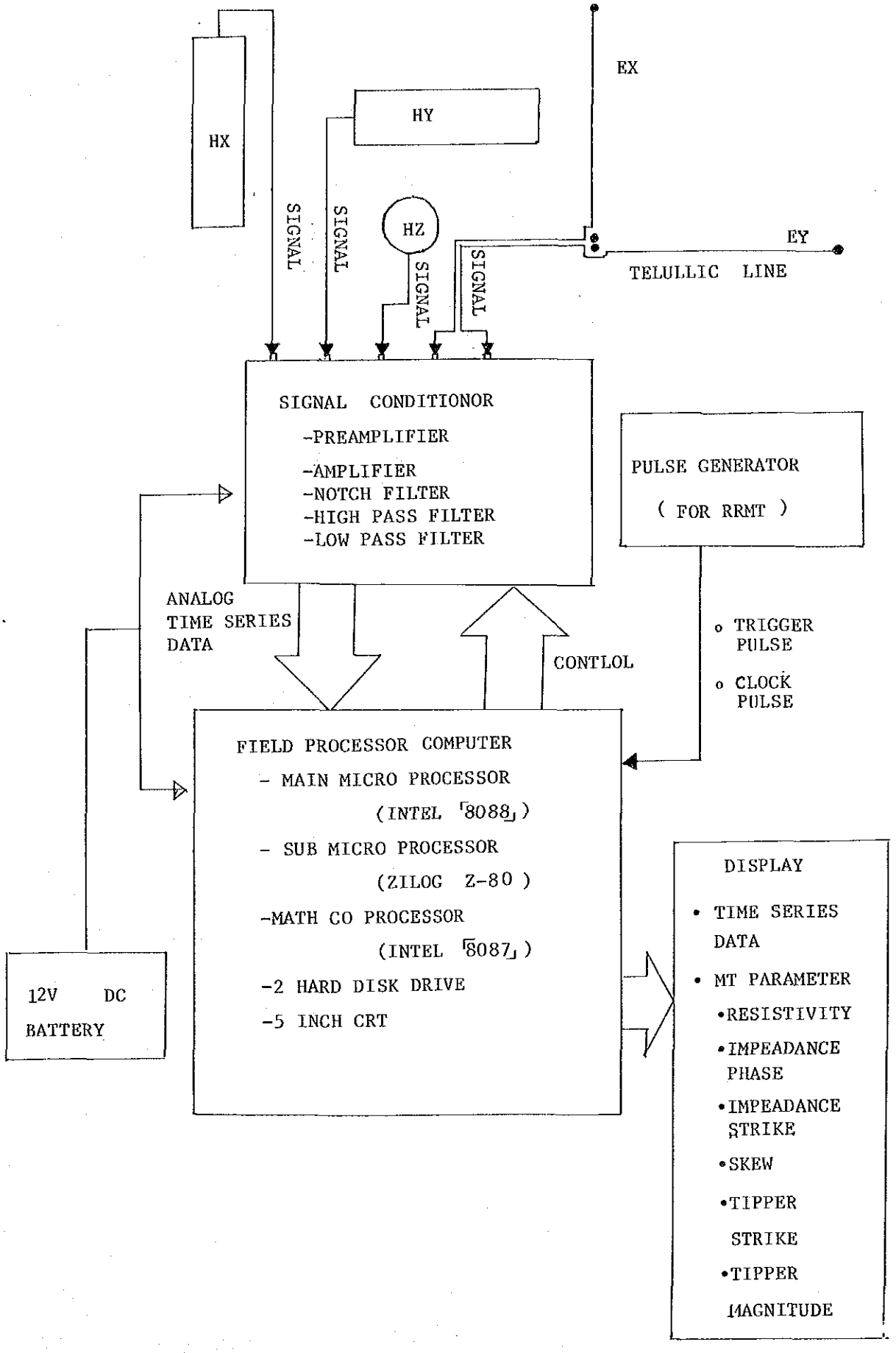
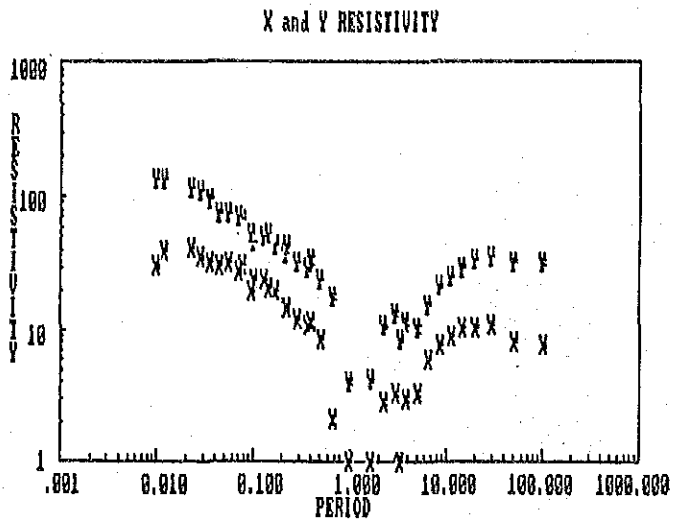
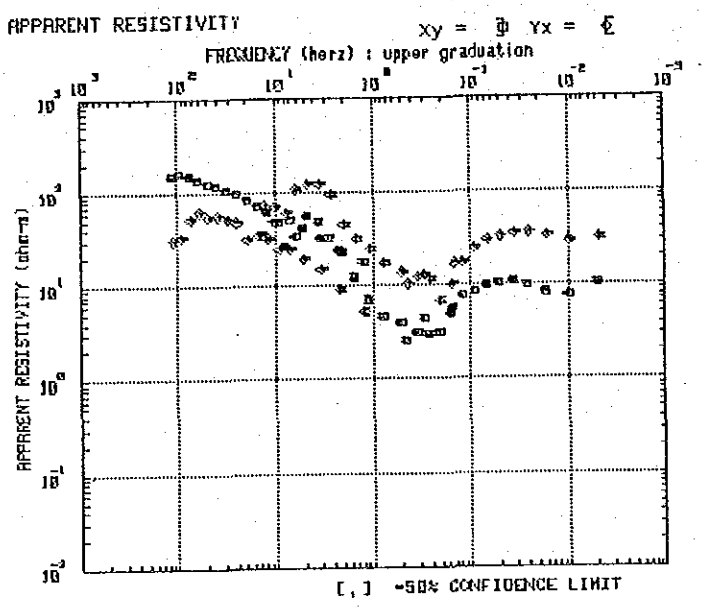


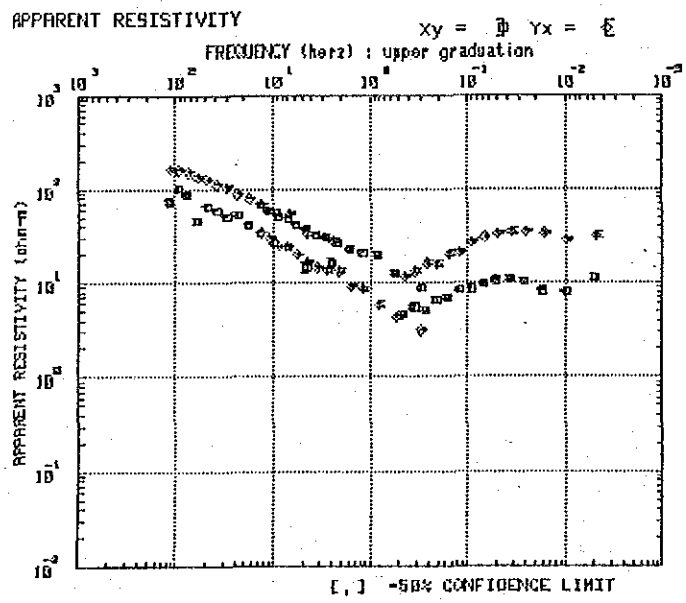
Fig. 25. Outline of MT data acquisition system



a) Single Data Processing Result using Field Processor (in Field)



b) Single Data Processing Result after editting using Data Processing System



c) Final Remote Reference Data Processing Result using Data Processing System

Fig. 26. Comparison with field processor and final data processing, station O7

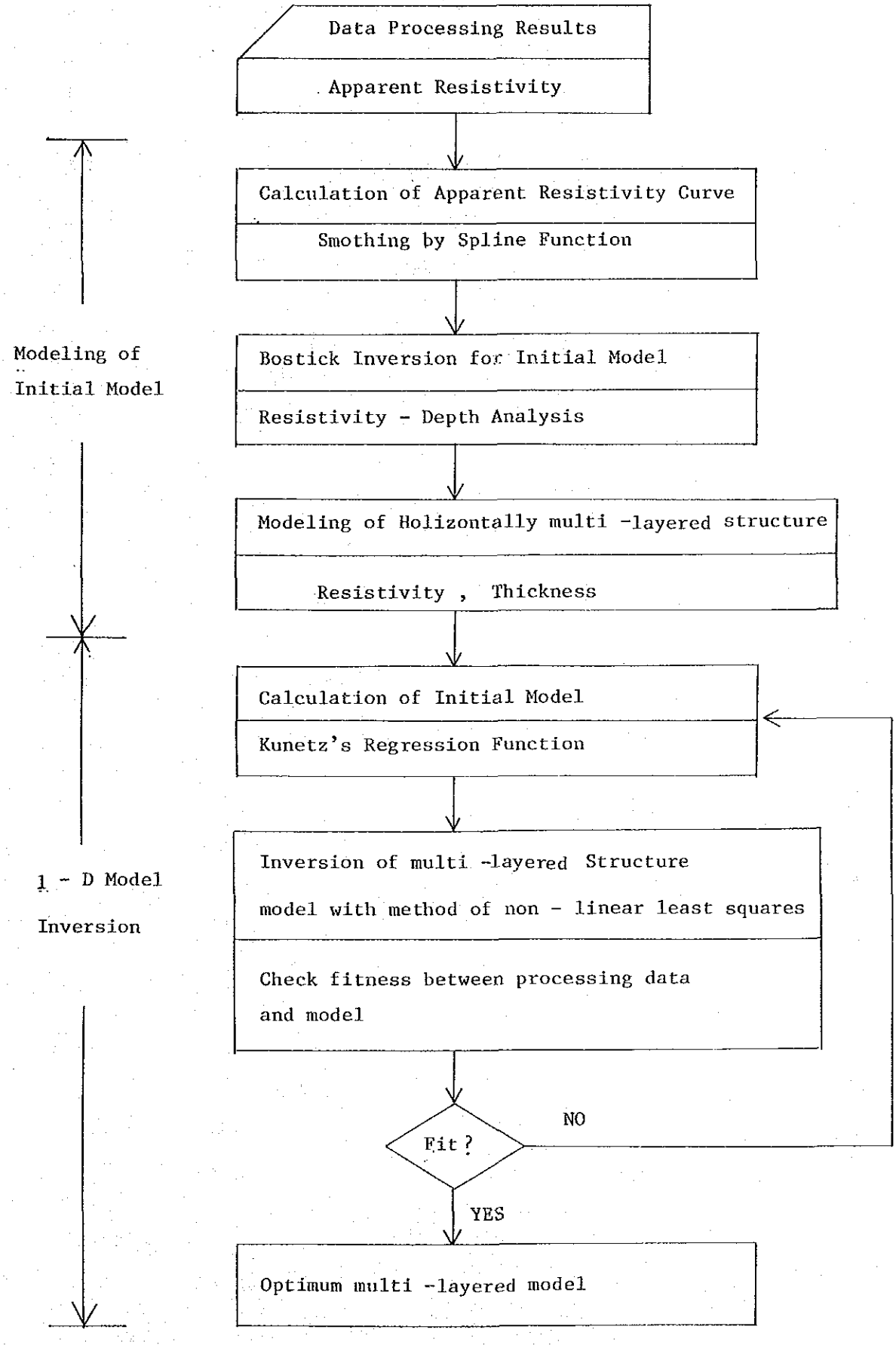


Fig. 27. Flowchart of 1-D model inversion

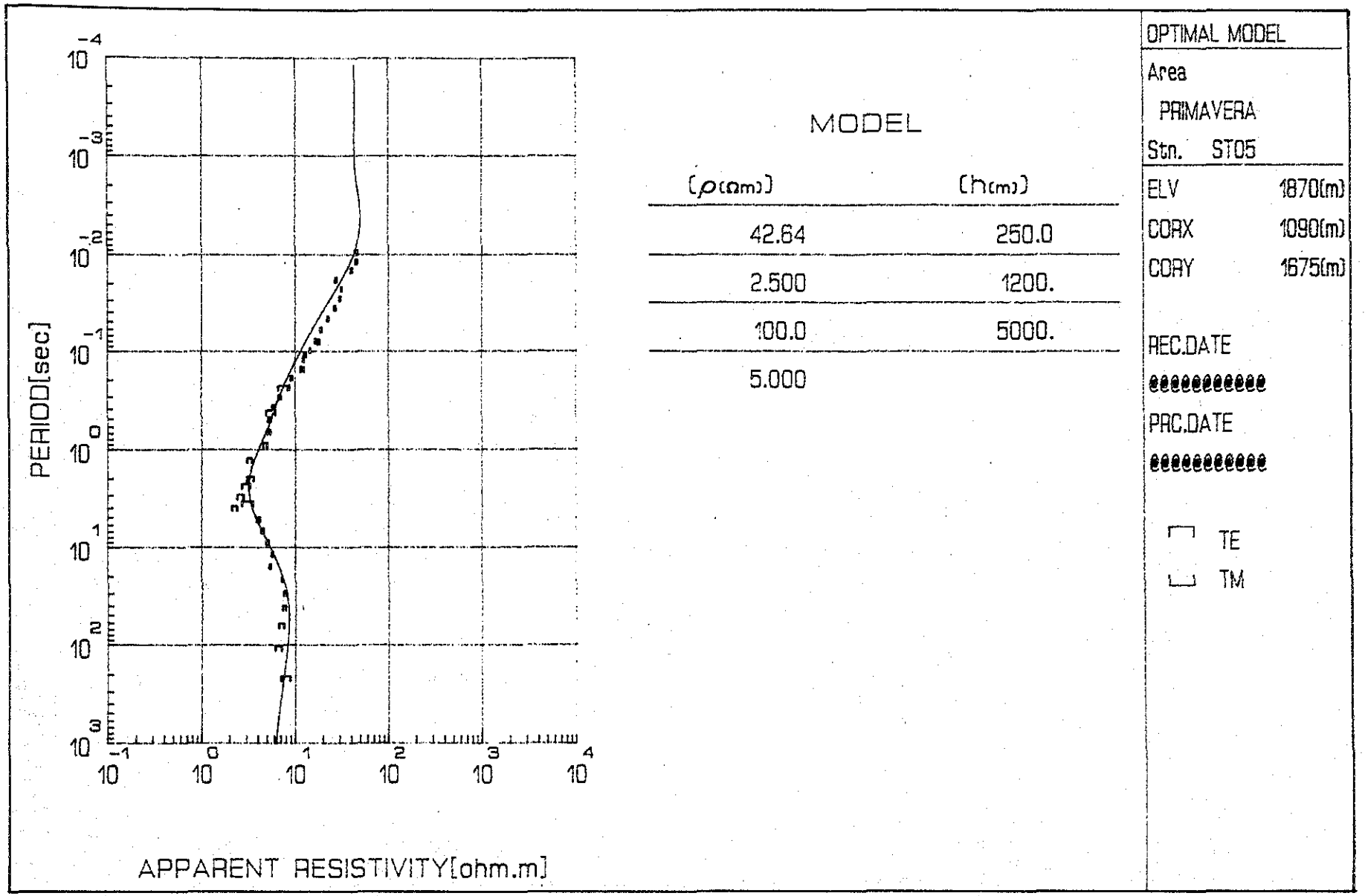


Fig. 28. Example of 1-D model inversion result, station 05

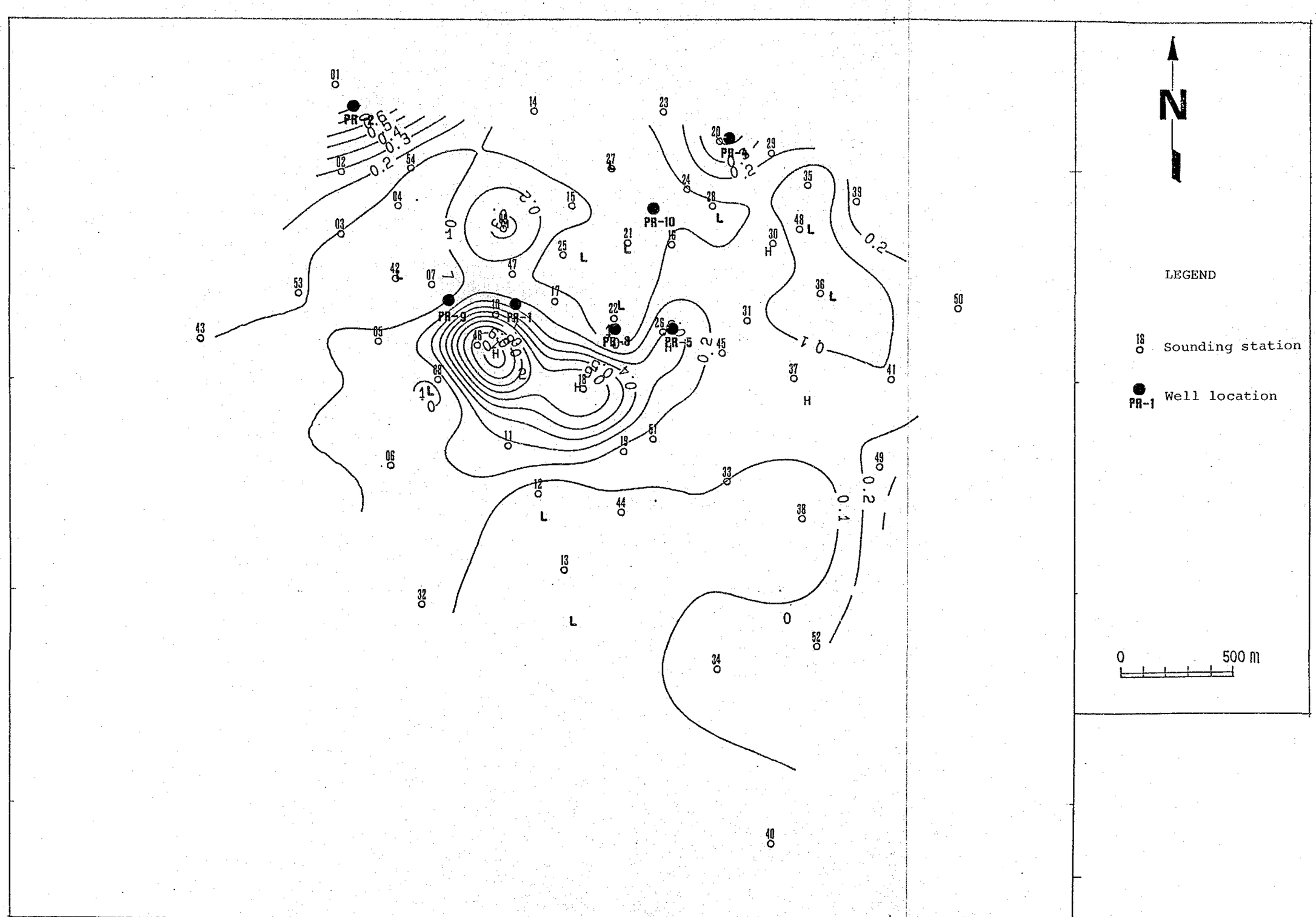


Fig. 29. Distribution map of Tipper magnitude, period = 30 sec.

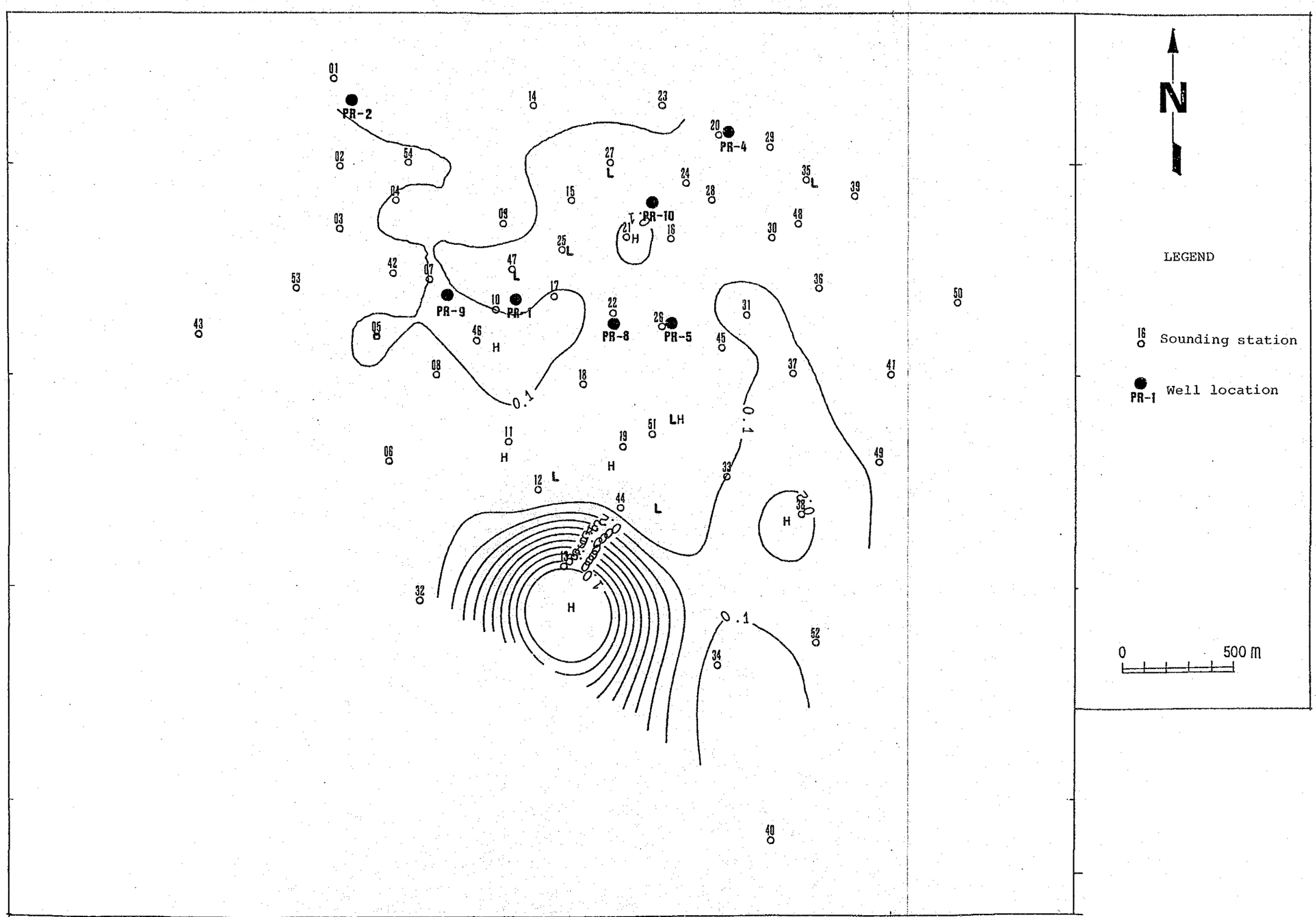


Fig. 30. Distribution map of Skew, period = 30 sec.

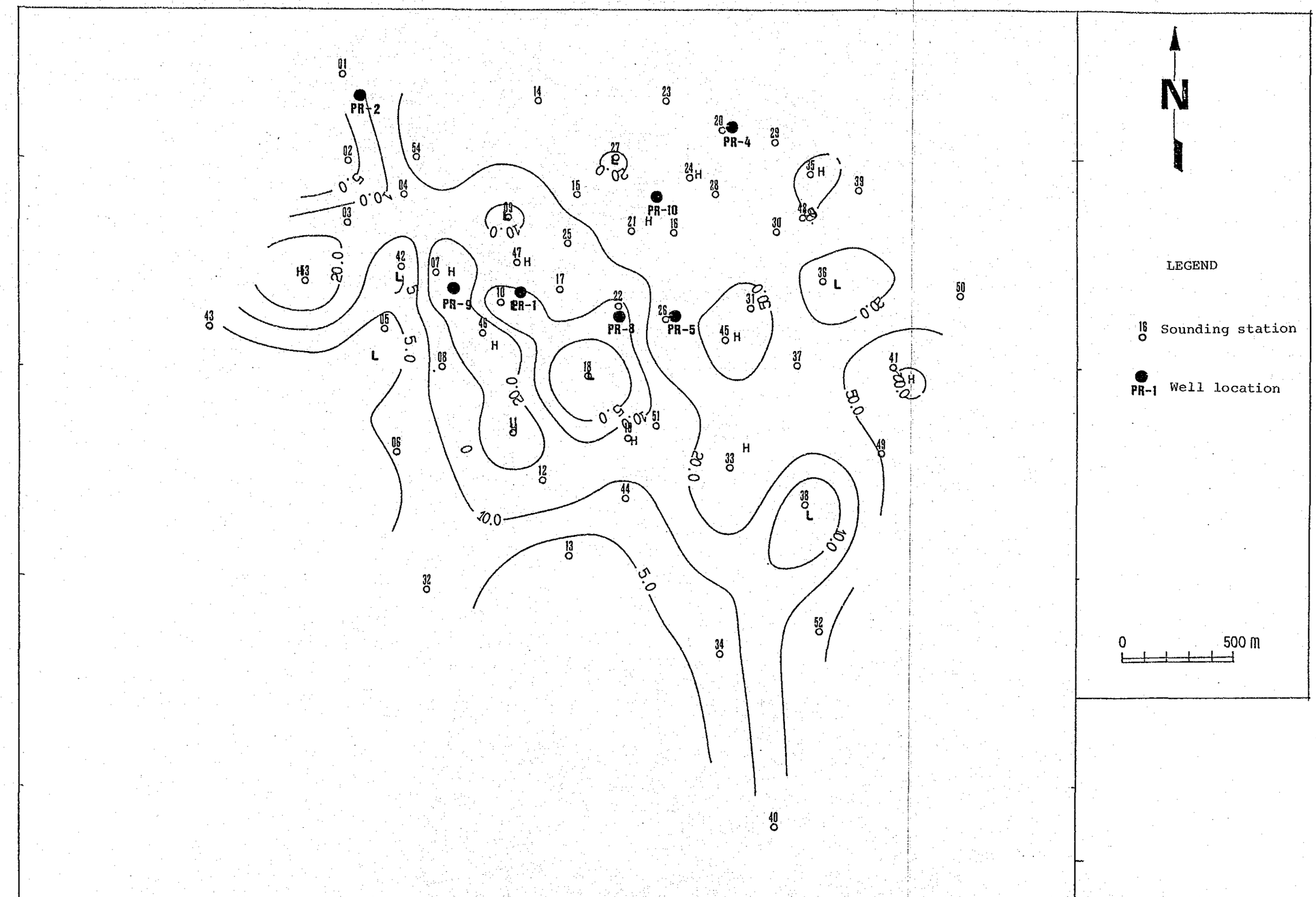


Fig. 31. Apparent resistivity map (TE mode), period = 30 sec.

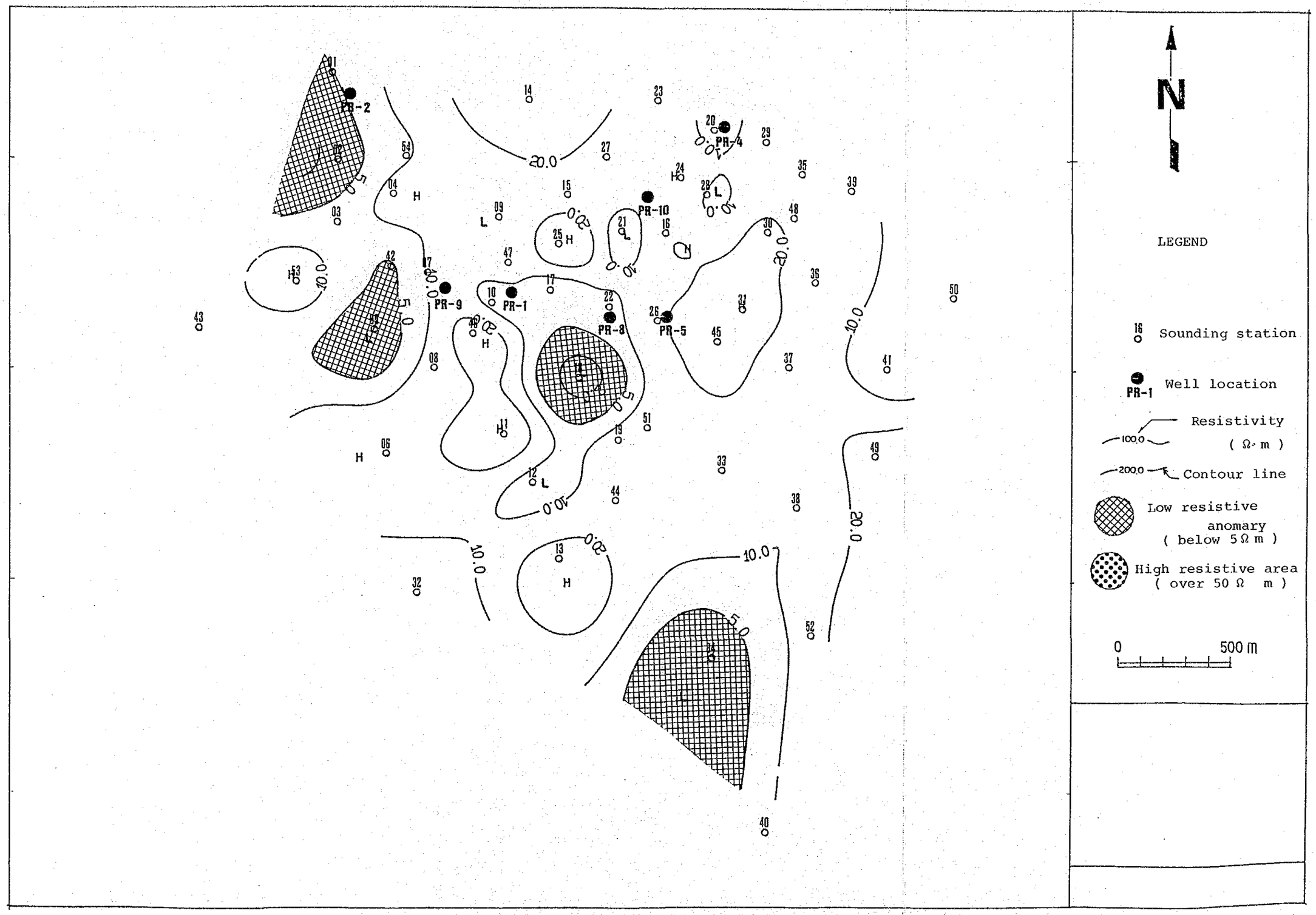


Fig. 32. Resistivity map (TE mode), Om above sea level

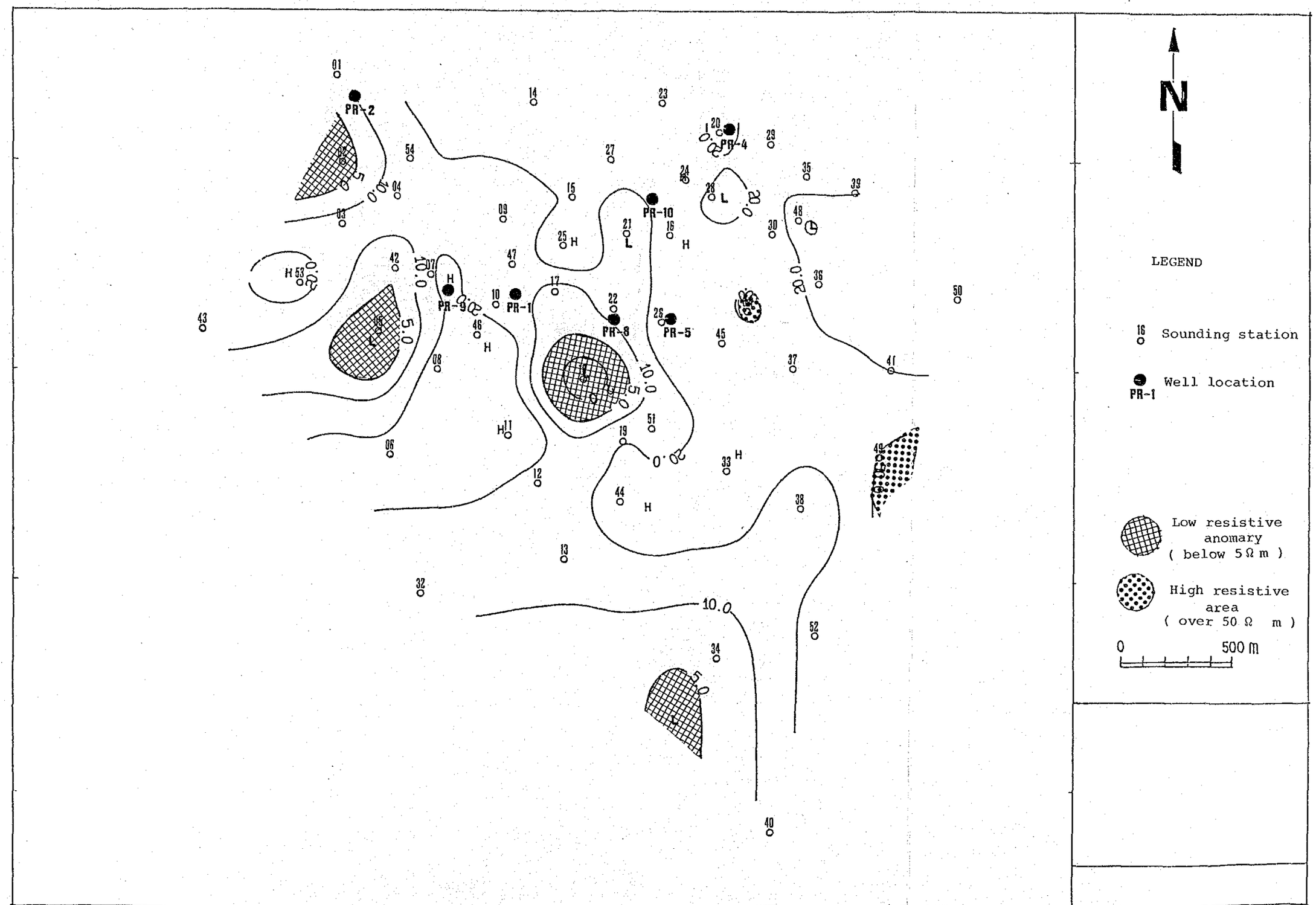


Fig. 33. Resistivity map (TE mode), 500m below sea level

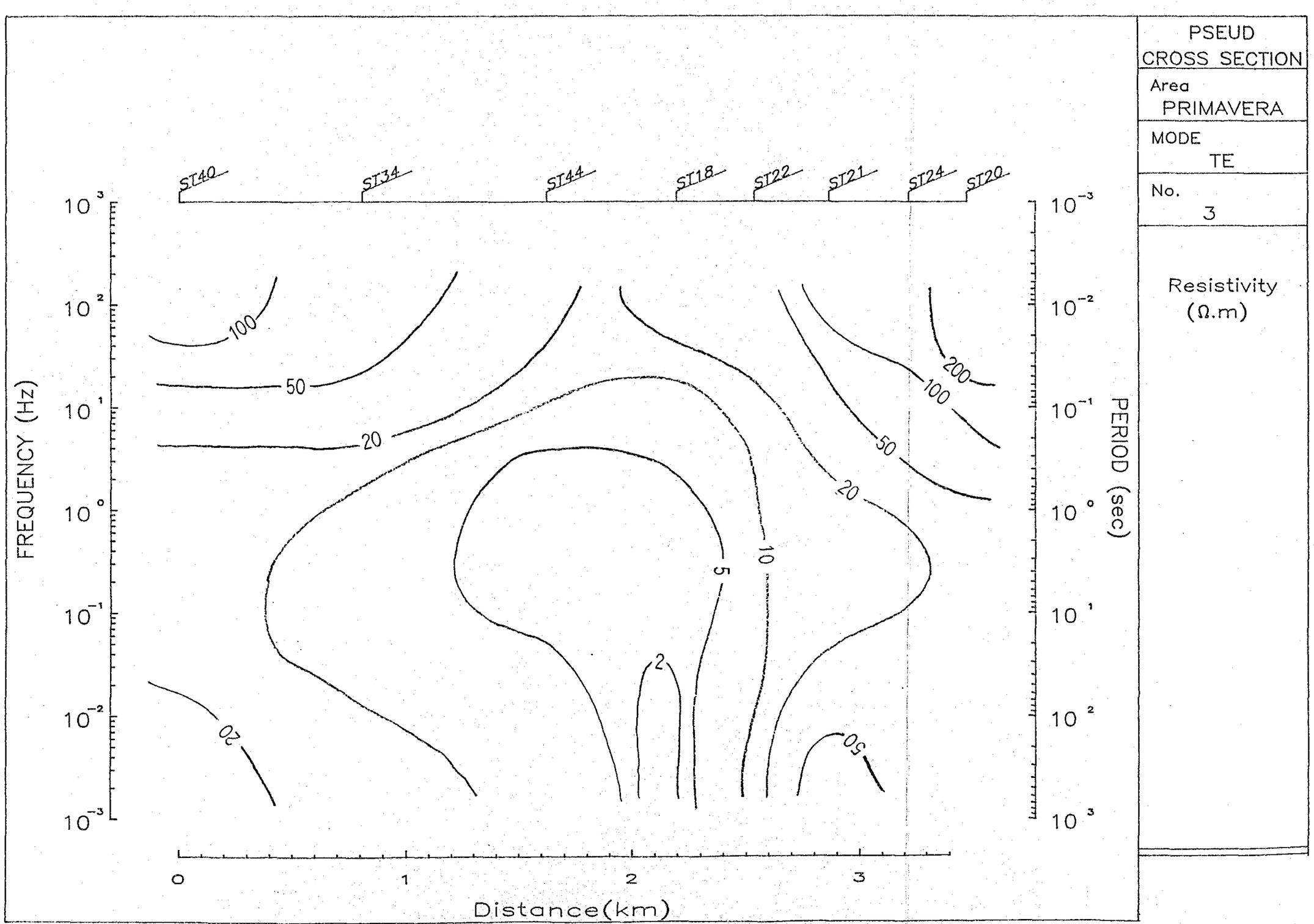


Fig. 34. Apparent resistivity pseudo-cross section (TE mode), line 3

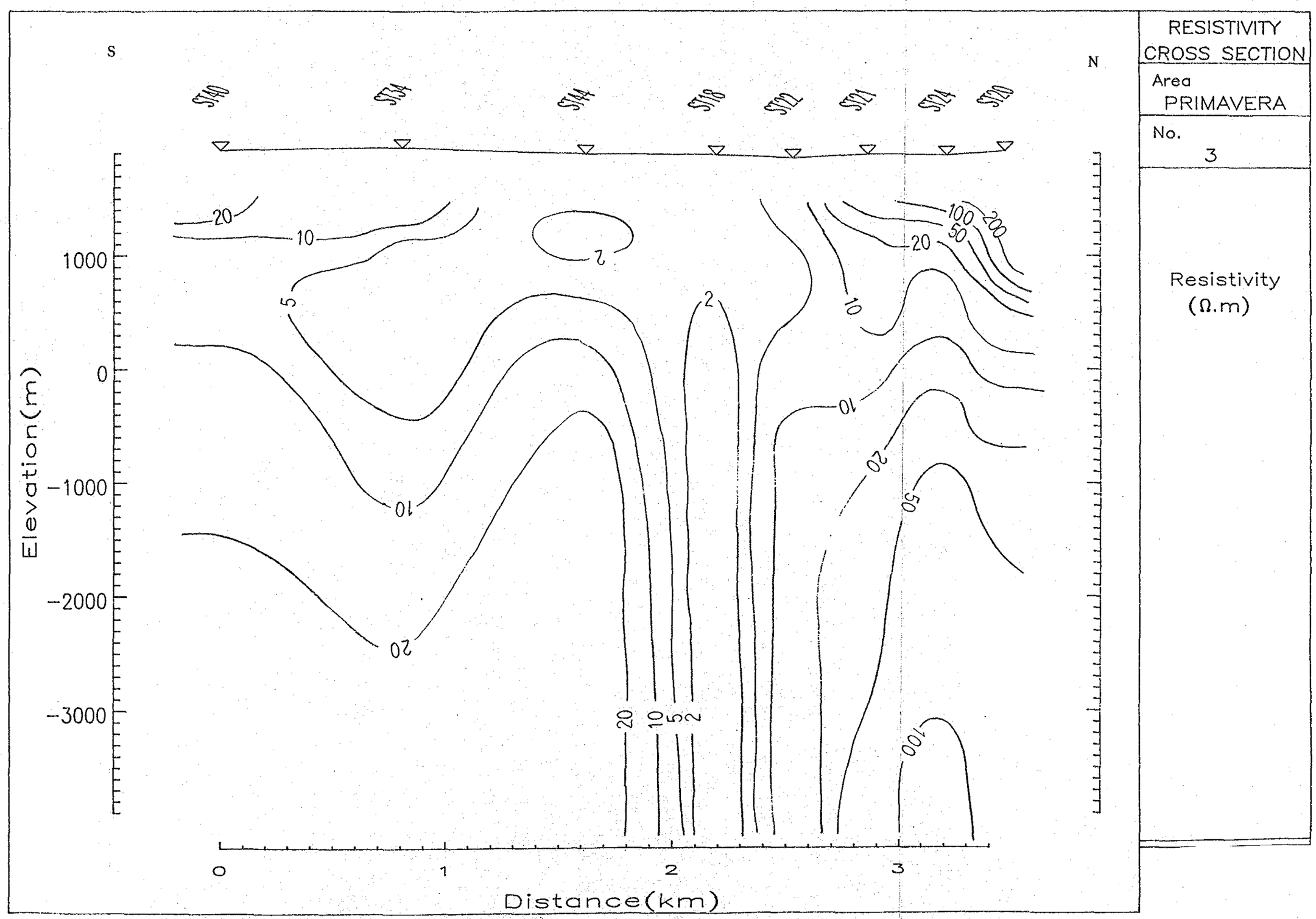


Fig. 35. Resistivity cross section (TE mode), line 3.

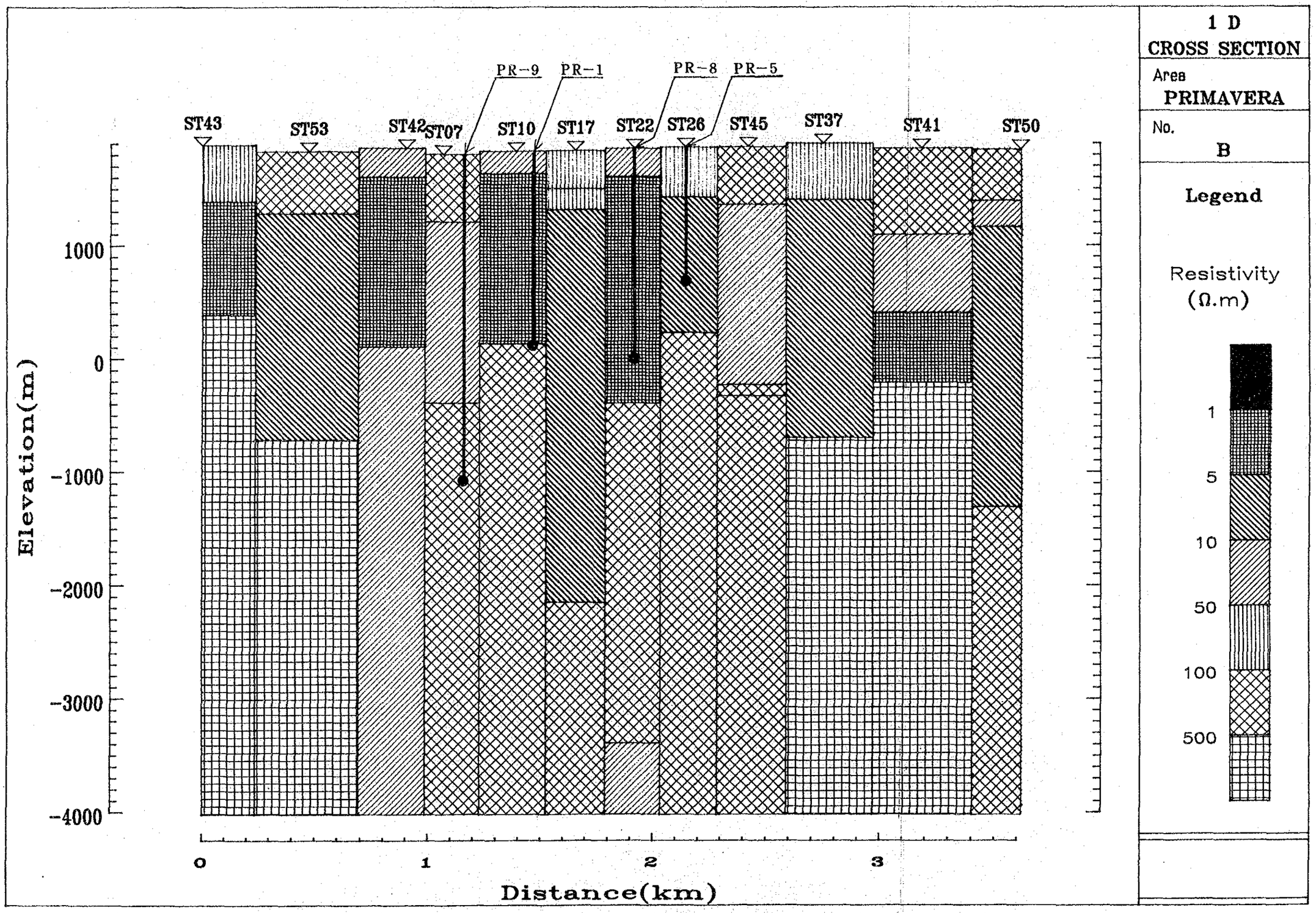


Fig. 36. 1-D model cross section line B.

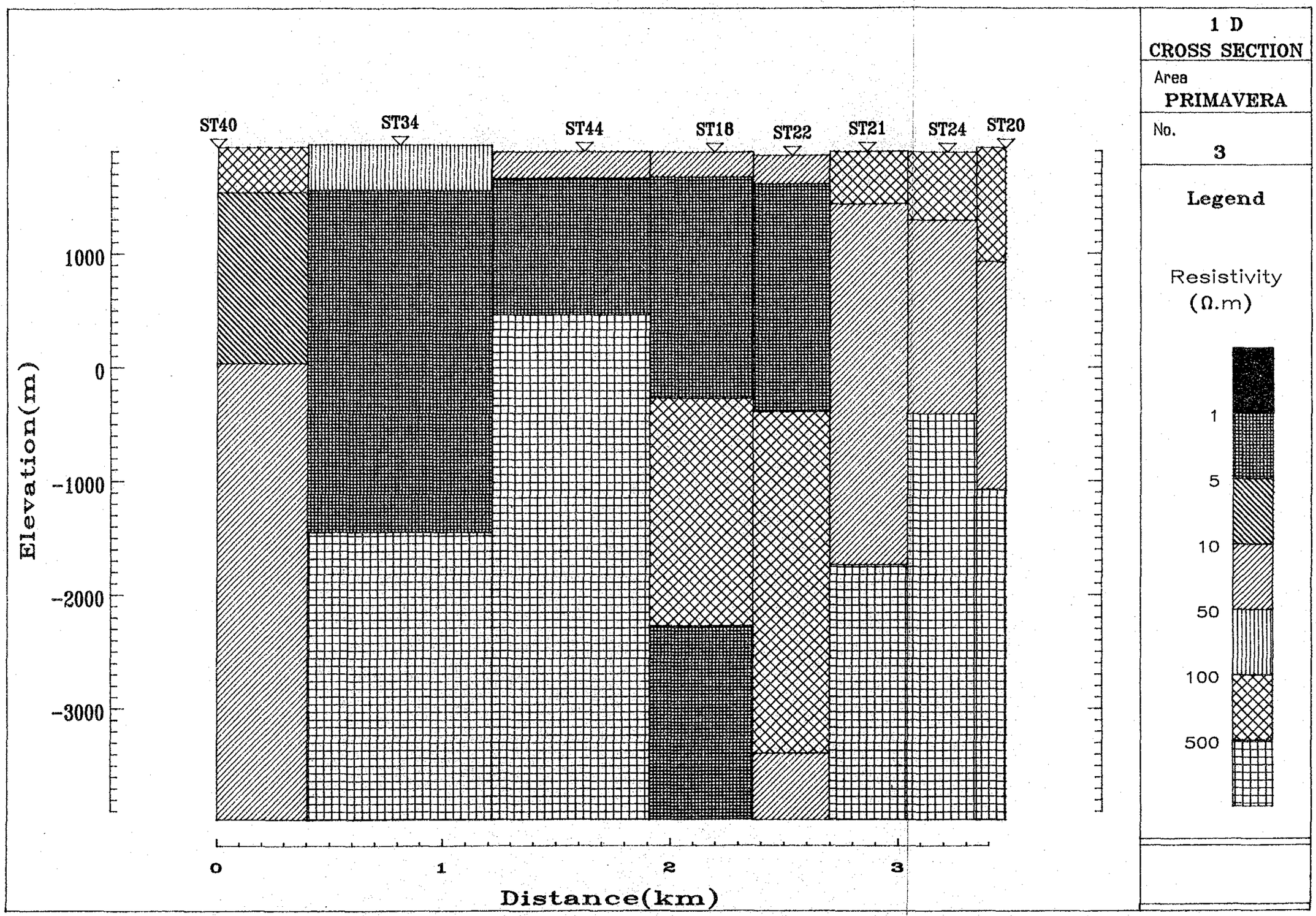


Fig. 37. 1-D model cross section line 3.

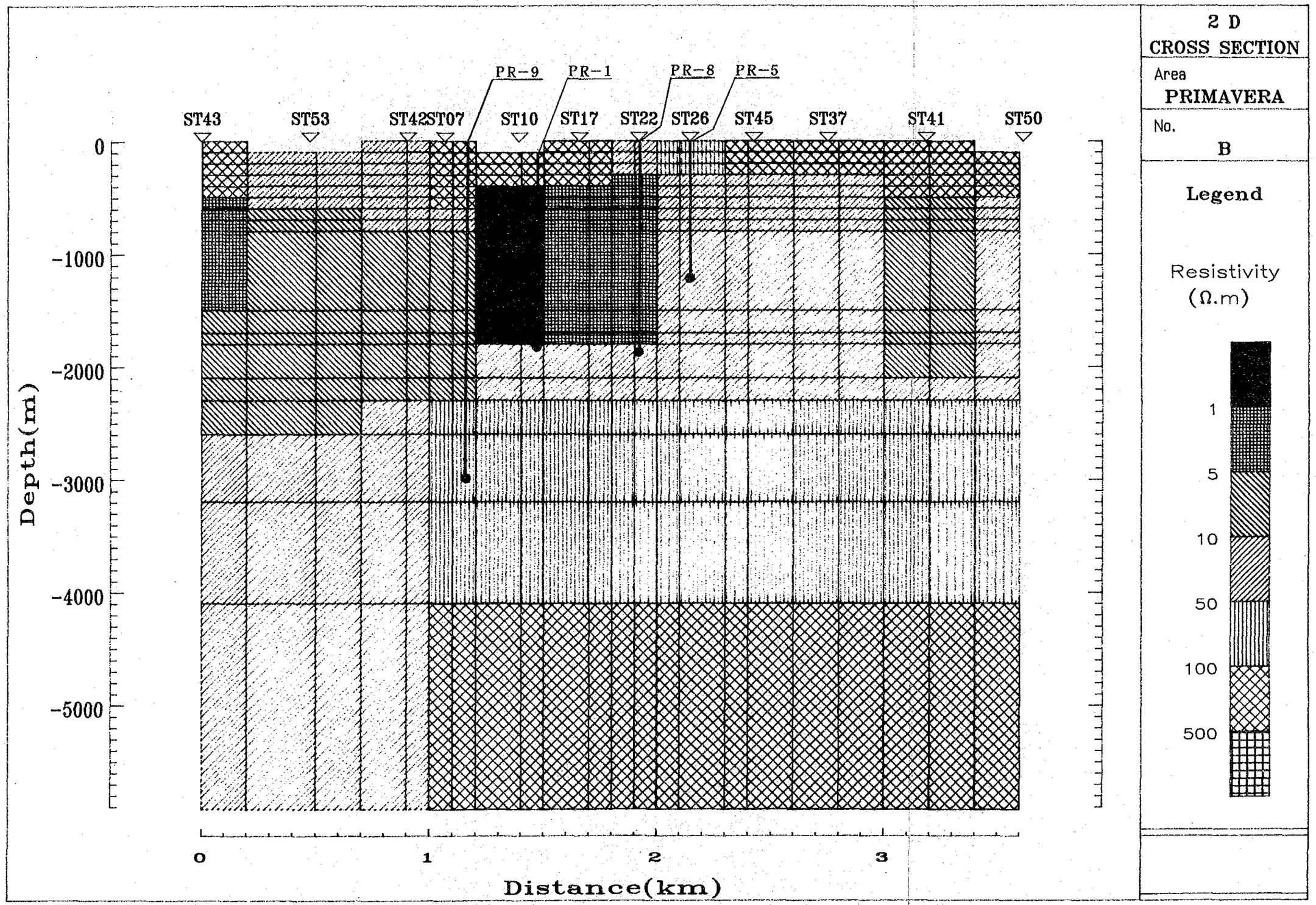


Fig. 38. 2-D model cross section, line B.

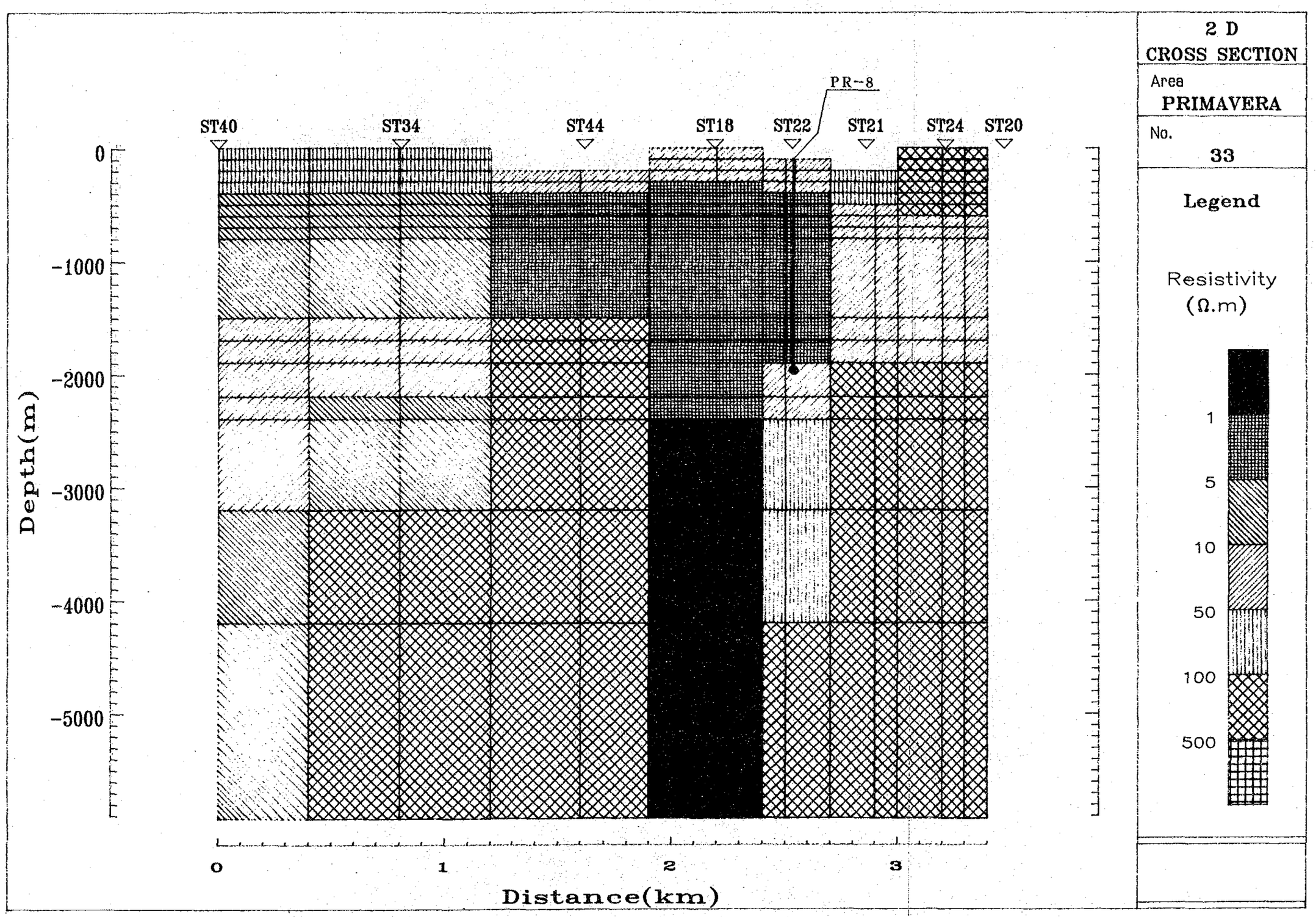


Fig. 39. 2-D model cross section, line 3.

Table 6. Recording band width, parameter and duration of MT survey

	Band width of freguency	Sampling Channel rate	Length of each recording segment	Segment number for 1 file	recording duration for 1 file	file number	Sampling number for FFT	Q value
HF	125Hz 3HZ	each 500Hz	512	64	about 1 min.	3～5	512	6
MF	15Hz 10second	each 60Hz	512	64	about 9 min.	3～5	512	6
LF	0.5Hz 200second	each 2Hz	512	30 40	130 170 min	1	1024	4

Ⅱ－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井でプロダクションテストを実施し、坑内温度・圧力を測定した。

(1) 測定方法および測定状況

今回ＰＲ－１，ＰＲ－８井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ーブリケーターを介して行われる。使用した測定器は、５㎜径のステンレスワイヤーに接続されたKuster社製温度計、圧力計である。

ＰＲ－１井は、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 7 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、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のオリフィスに交換して、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。

ＰＲ－８井からの地熱流体は直接サイレンサーより大気放出しており、気水分離装置もなかったため、この流量条件でのみ測定した（ Table 8 ）。

(2) ＰＲ－１の測定結果

ＰＲ－１の坑井内温度と圧力の測定結果をTable 9およびFig. 40に示した。この結果よりＰＲ－１の坑井内状況を考えると以下のようになる。

① 坑井内各深度の温度と圧力の関係は坑口より坑底に至るまでほぼ飽和関係にある。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1,800mでの流体温度は299°Cと極めて高い。又この地点での静止平衡時の温度は304～305°Cである。（C.F.E. 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 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ってそれぞれ上

昇する。そして孔明部のきれる1,440m付近にてアニュラス部を通っ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、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。

(3) PR－8の測定結果

PR－8の測定結果をTable 10およびFig. 41に示した。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 1,750mでの坑内温度は231°C、坑内圧力は30.7kg/cm²G である。この付近の静止平衡時の温度は270°C以上、又圧力はこれよりずっと高い値を示す(C.F.E.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1,750m以深降下できない様子より、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－1およびPR－8の圧力測定結果からこれらの坑井周囲地層の透水量係数の算出を試みた。

PR－1およびPR－8からの噴気流体は、前述した様に、坑井近傍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、ＰＲ－１およびＰＲ－８に関しては、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、又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。

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

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　kgS／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様になる。

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

噴気時の２回の測定値を用いると次式のようになる。

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

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。

計算条件をTable 11 と 12 に、計算結果をTable 13 に示した。ＰＲ－１の計算には(3)式、ＰＲ－８の計算には(2)式を用いている。Table 13 をみると、ＰＲ－１のフラクチャーの透水性はＰＲ－８のそれよりも良い。しかし、透水量係数を絶対値としてみると１

darcy・m 以下の値なので、著しく透水性が良いとはいえない。特に、ＰＲ－８では坑底の上約１００mで測定器が降下しなかったことは（埋没の可能性）、透水性を小さくしているのではないかと思われる。このように、ＰＲ－１，ＰＲ－８ともに透水性が通常であるにも拘らず、非常に優勢な蒸気を得ているのは、極めて高温の流体のためと考えられる。

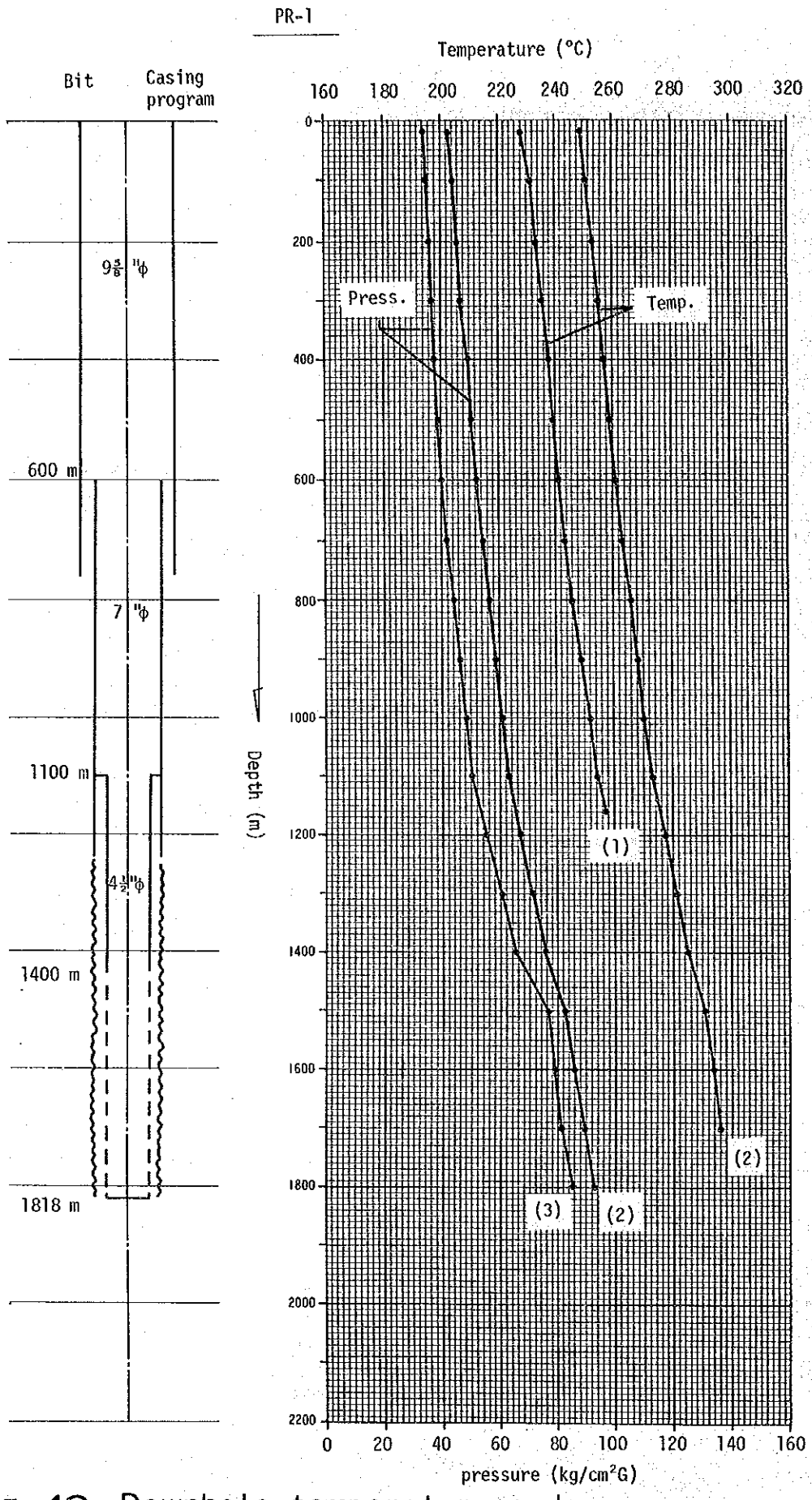


Fig. 40. Downhole temperature and pressure curves of PR-1 in the productive condition.

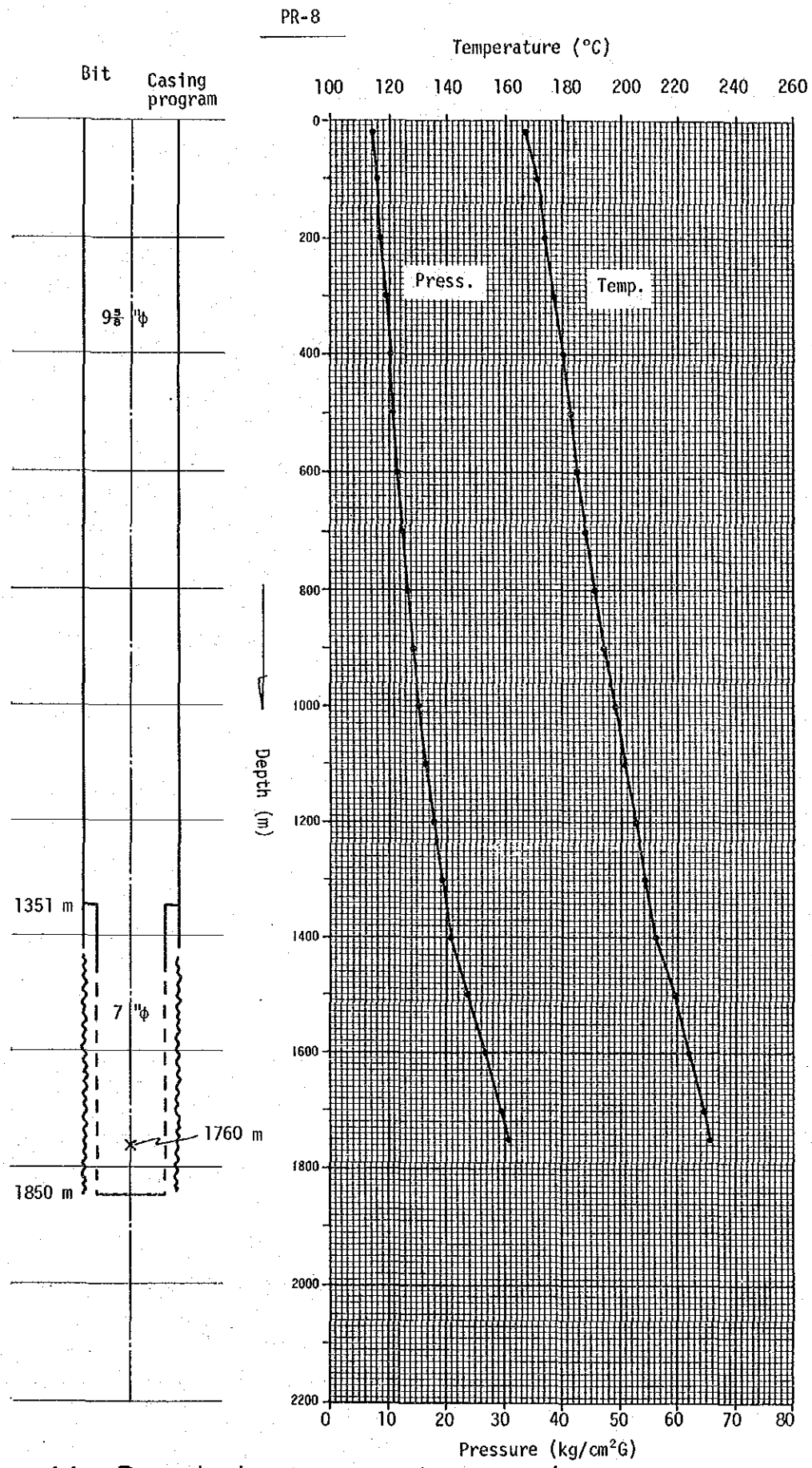


Fig. 41. Downhole temperature and pressure curves of PR-8 in the productive condition

Table 7. Situation of the well test for 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	Gs = 53 t/h Gw = 51 G = 104 at atmosphere	0.31
(2)	temperature pressure	2"ϕ orifice 2nd valve: full open	42 kg/cm^{2}G	Gs = 43 t/h Gw = 40 G = 83 at line press.	0.25
(3)	pressure	$2\frac{1}{2}$"ϕ orifice 2nd valve: full open	36 kg/cm^{2}G	Gs = 50 t/h Gw = 47 G = 97 at line press.	0.27

Table 8. Situation of the well test for 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.

Table 9. Results of measurement for PR-1

Date	7. Feb. 1986	8. Feb. 1986		10. Feb. 1986
Well depth	1818 m			
Well head condition	3"ϕ orifice	2"ϕ orifice		$2\frac{1}{2}$ "ϕ orifice
Well head pressure	28 kg/cm^{2}G	41.5 ∿ 43		36
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
1000	252	270	60.7	48.4
1100	254	273	62.9	50.4
1160	257			
1200		277	67.2	55.3
1300		281	71.5	60.5
1400		285	75.8	65.6
1500		291	82.7	76.4
1600		294	85.9	79.1
1700		296	89.2	81.8
1800		299	92.5	84.8

Table 10. Results of measurement for PR-8

Date	30. Jan. 1986	31. Jan. 1986	
Well depth	1861 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
1000	198	197	15.3
1100	201	200	16.5
1200	205	204	17.8
1300	208	208	19.2
1400	212	211	20.8
1500	219	218	23.8
1600	224	224	26.8
1700	229	228	29.2
1750	231	231	30.7

Table 11. List of parameters used in calculation of kh for PR-1

	1st step well head press. 42 kg/cm²G total flow rate 83 t/h	2nd step well head press. 36 kg/cm²G total flow rate 97 t/h
Pressure at feed point Pw kg/cm²G	92.5	84.8
Steam flow rate at feed point G t/h	20.4	26.5
Specific gravity of fluid at feed point γ_W kg/m³	49.9	45.1
Viscosity coefficient of fluid at feed point μ_W kgs/m²	2.18×10^{-6}	2.15×10^{-6}

Table 12. List of parameters used in calculation of kh for PR-8

	Static test	Production test well head press. 7 kg/cm^2G total flow rate 105 t/h
Pressure at feed point Pw kg/cm^2G	123	30.7
Steam flow rate at feed point G t/h	—	21.5
Specific gravity 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}

Table 13. Results of calculation of kh

Well	kh (m^3)
PR-1	7.6×10^{-13}
PR-8	2.1×10^{-13}

Ⅱ－6　地熱貯留層に関する知見

(1)　貯留層構造

前述のように地下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、Sierra La Primaveraカルデラ形成後のresurgent uplift（再生隆起、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。

一方、地下温度の分布及びＰＲ－１，ＰＲ－８の坑井試験の結果からＰＲ－１とＰＲ－８との間に高温流体のupflow帯があることが認められた。この上昇した熱水はＰＲ－８→ＰＲ－５→ＰＲ－４と離れるに従って地下水と混合する。すなわち上昇した高温の熱水は地下浅部のＮＥ性フラクチャーを通じて薄まって行くということである。なお、ＰＲ－２の熱水はこれと別の機構で生じたものである。

以上のように本地域ではuplift帯とupflow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ということができる。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も支持される。

(2)　貯留層の拡がり

当地域の地熱貯留層の拡がりについては次のように考えられる。

ＰＲ－９井はＰＲ－１井（深度1,800mで３０４～３０５°Ｃ）の西方約３００mで2,986mまで掘削され、基盤岩類に達したが坑底温度は２４０°Ｃ程度に過ぎず、かつ大きなフラクチャーにも遭遇しなかった。またＰＲ－１０井はＰＲ－８井（深度1,750mで２７０°Ｃ以上）の北方約６００mの地点で深度1,250mまで掘削されたが坑内温度は最高１４４°Ｃであった。これらの事実は本地域の地熱貯留層が典型的なタテ型貯留層であることを示し、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ことを意味する。

これまでの解析結果からupflow帯深部のＮＷ－ＳＥ性フラクチャーの発達範囲及び浅部のＮＥ－ＳＷ性のフラクチャーの延びを図示するとFig. 42のようになる。このうちＮＷ－ＳＥ性のフラクチャーの発達範囲はＭＴ法による解析結果、ＮＥ－ＳＷ性のそれは変質帯の存在等を参考にしたものである。但しＮＥ－ＳＷ性のフラクチャーでは高温の流体が地下水によって稀釈されているためエンタルピーの高い蒸気が得られるかどうかは疑問

である。

以上述べたように本地域の地熱貯留層は1,000m以深のタテ型のフラクチャーが主体であり、このフラクチャー帯からはずれると地熱流体の存在は期待できないと結論される。

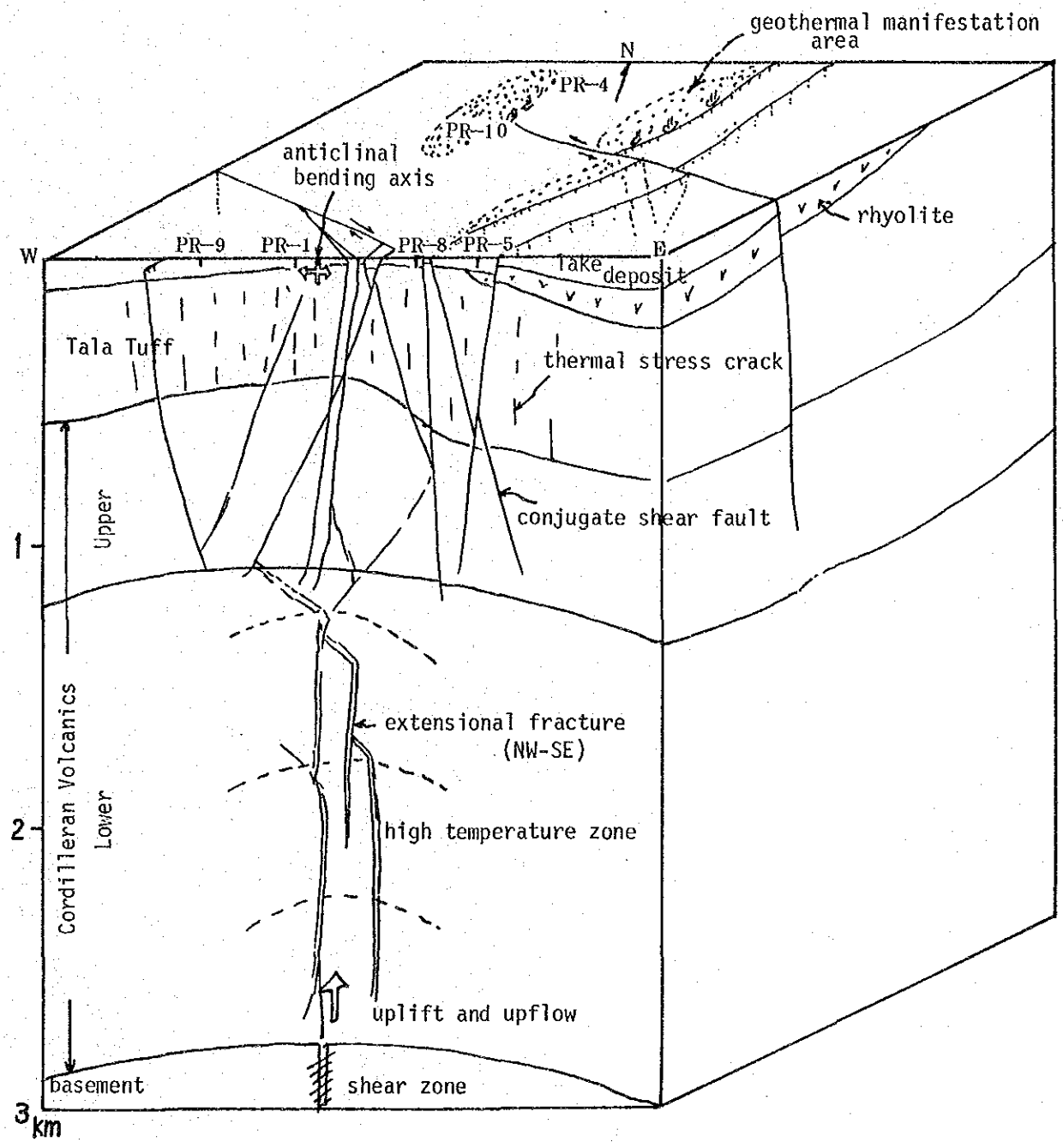


Fig. 42. Conceptual geothermal reservoir model in La Primavera

Ⅲ. 次段階調査への提言

Ⅲ. 次段階調査への提言

昭和６０年度は、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、調査井の掘削資料を含め総合的に解析した結果、貯留層の拡がり、地下温度の分布、フラクチャー分布等の実態がほぼ解明された。

従来の計画によれば、昭和６１年度はC.F.E.が深度７５０ｍの温度調査孔３孔を掘削することになっているが、

① 昭和６０年度の調査によって、地熱流体のupflow帯が明らかになったこと。

② C.F.E.によって深度６００～3,000ｍの坑井が既に７本掘削され、熱的拡がりが把握されていること。

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いこと。

などのため、温度調査孔を掘削するよりは、むしろupflow帯にむけ調査井を掘削することが重要である。

このため、昭和６１年度の調査計画案は、温度調査孔３孔の代りに深度2,000ｍ前後の調査井を掘削するという計画案に変更することを提言する。

Ⅲ－１　調査井掘削の目的

現在まで、フラクチャーの発達したupflow帯に掘削された坑井はＰＲ－１とＰＲ－８の２本である。他の坑井（ＰＲ－２，５，９，１０等）はこのupflow帯からはずれた場所に掘さくされている。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、upflow帯の規模を把握する必要があり、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、調査井掘削の目的である。

Ⅲ－２　ターゲット選定の理由

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及び今回の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る。

A、B2地点の位置をFig.43に示したが、各点の選定理由は次の通りである。

A、B点共通の理由

① 開発可能範囲を抑える上に必要な地点である。

② いずれにもupflow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。

A点選定のうち②引張りフラクチャーはFig.4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.3に基づいている。掘削ターゲットを選定するに当り、C.F.E.では地表でみ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くかつ、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（参考文献参照）。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である。

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upflow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。

Ⅲ－3 調査井掘削に伴う調査計画

A点はC.F.E.により昭和61年度に掘さくされ、B点はJICAにより昭和62年度に

掘さくされる予定である。A点への坑井名を仮に、PR－11、B点への坑井名をPR－12とし、坑井の仕様および坑井調査計画をたてるとFig.44およびTable14のようになる。

PR－12の坑井の仕様については、垂直掘り、PR－5又はPR－9からのサイドトラック、PR－8敷地からの傾斜掘り等が考えられるが、具体的にはPR－11の掘削終了を待って総合的な検討を行った上で、決定すべきである。

参考文献

① K. Sato, et al., "Breakdown pressure prediction in hydraulic fracturing at the Nigorikawa geothermal field", Hydraulic fracturing and geothermal energy, 1983 Martinus Nijhoff Publishers.

② M. Takanohashi, et al., "Evaluation of rock fracture toughness in the presence of pressurized water at elevated temperatue by means of AE technique", Progress in Acostic Emission Ⅱ, Proceedings of The 7th International Acostic Emission Symposium, The Japanese Society for Non-Destructive Inspection (1984).

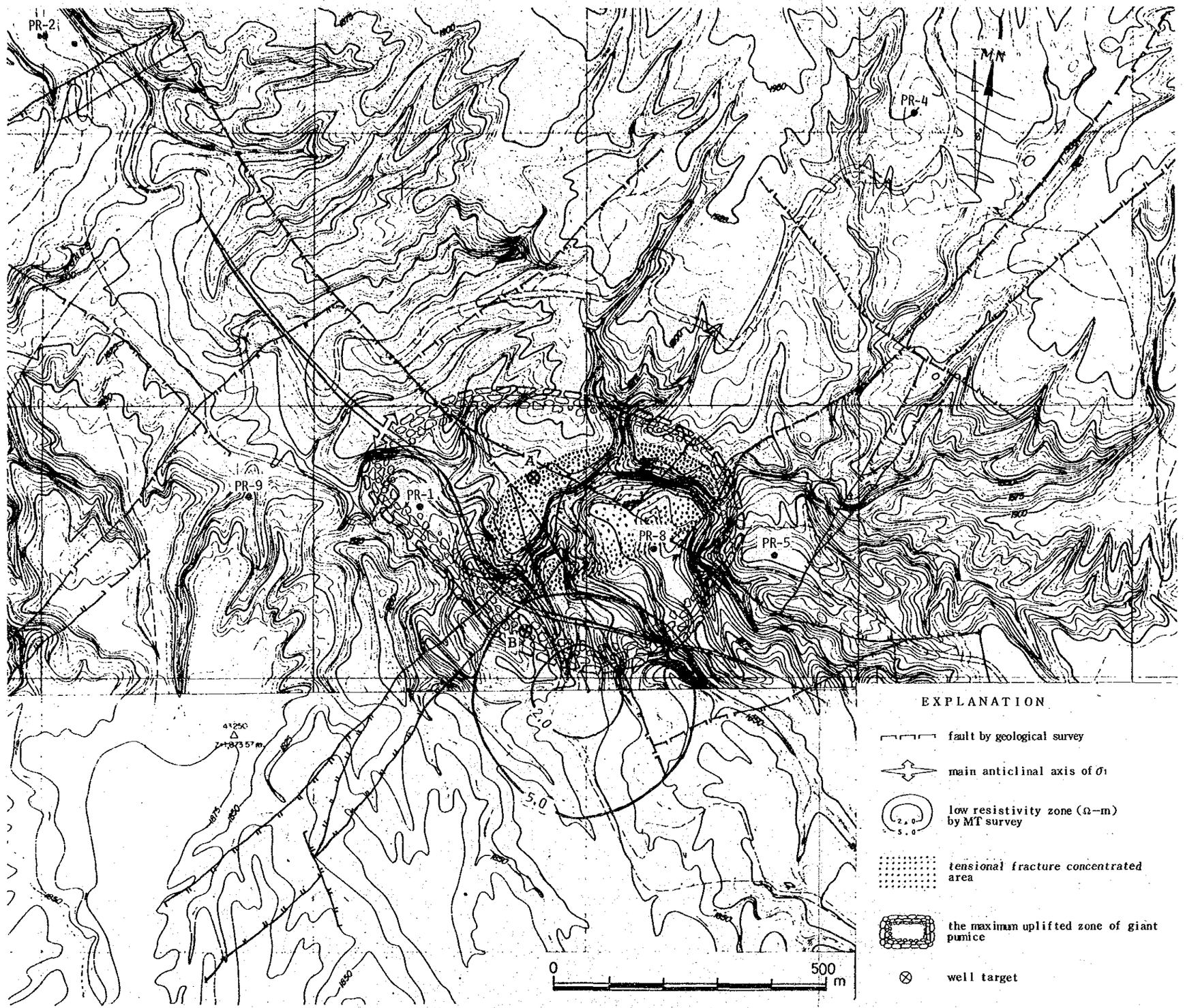


Fig. 43. Map showing various parameters for well target selection

PR-11 (well target A)

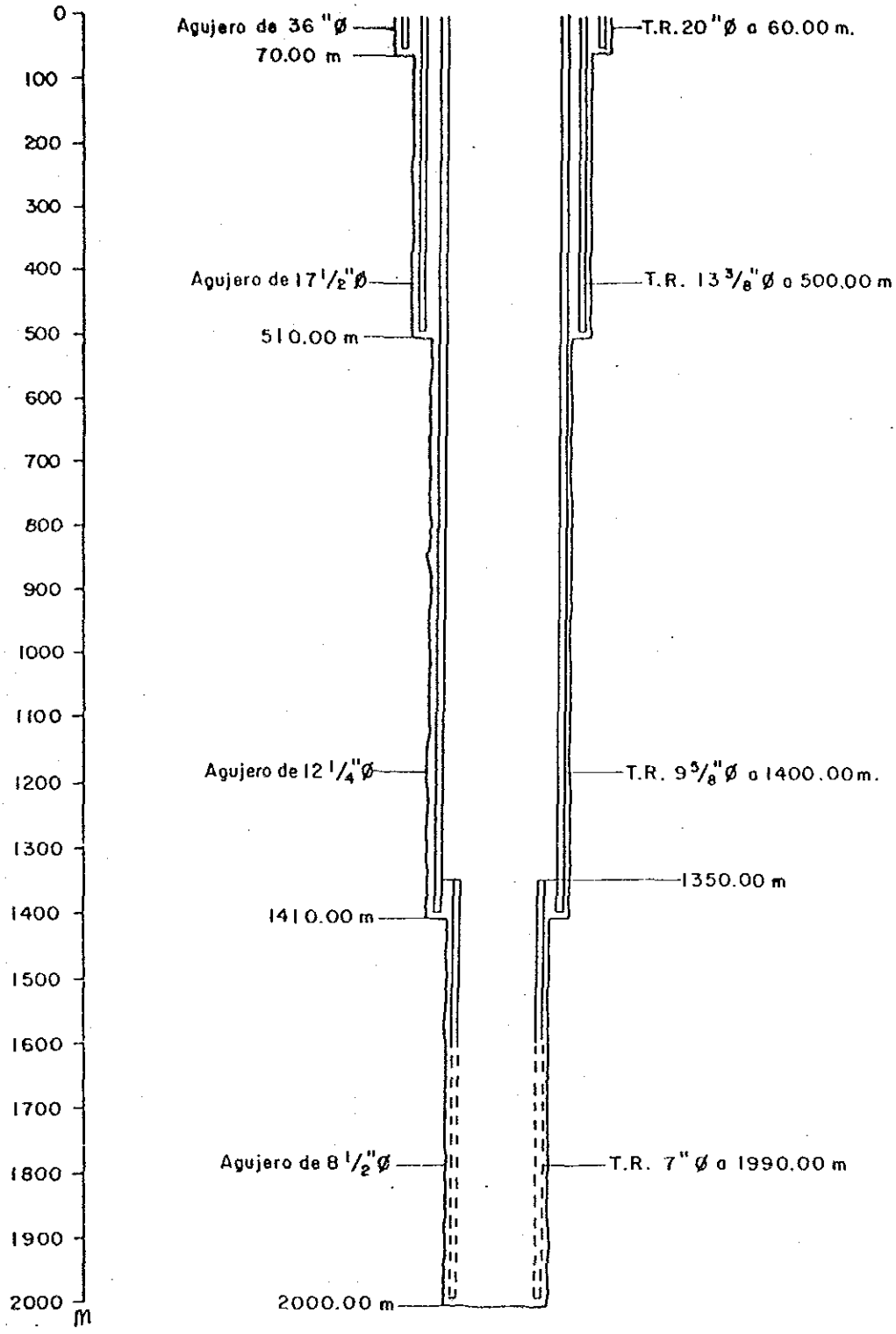


Fig. 44. Well layout of PR-11

Table 14. Respective undertaking for the exploration wells

Well	JICA	CFE
PR-11	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.	1.Drilling works 2.Core sampling at 1400, 1700 and 2000 m (each 1-3m long of core) 3.General geological survey 4.Downhole temperature and pressure logging 5.Measurement of physical characteristics of geothermal fluid
PR-12	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	1.Drilling works 2.General geological survey 3.Downhole temperature and pressure logging 4.Measurement of physical characterristics of geothermal fluid

ま　と　め

まとめ

ラ・プリマベーラ地熱地域において、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、土壌水銀調査、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、Sierra La Primaveraカルデラ形成後のresurgent upliftで形成されたものであり、upliftの中心部はＰＲ－１，ＰＲ－８井近傍に位置することが判明した。

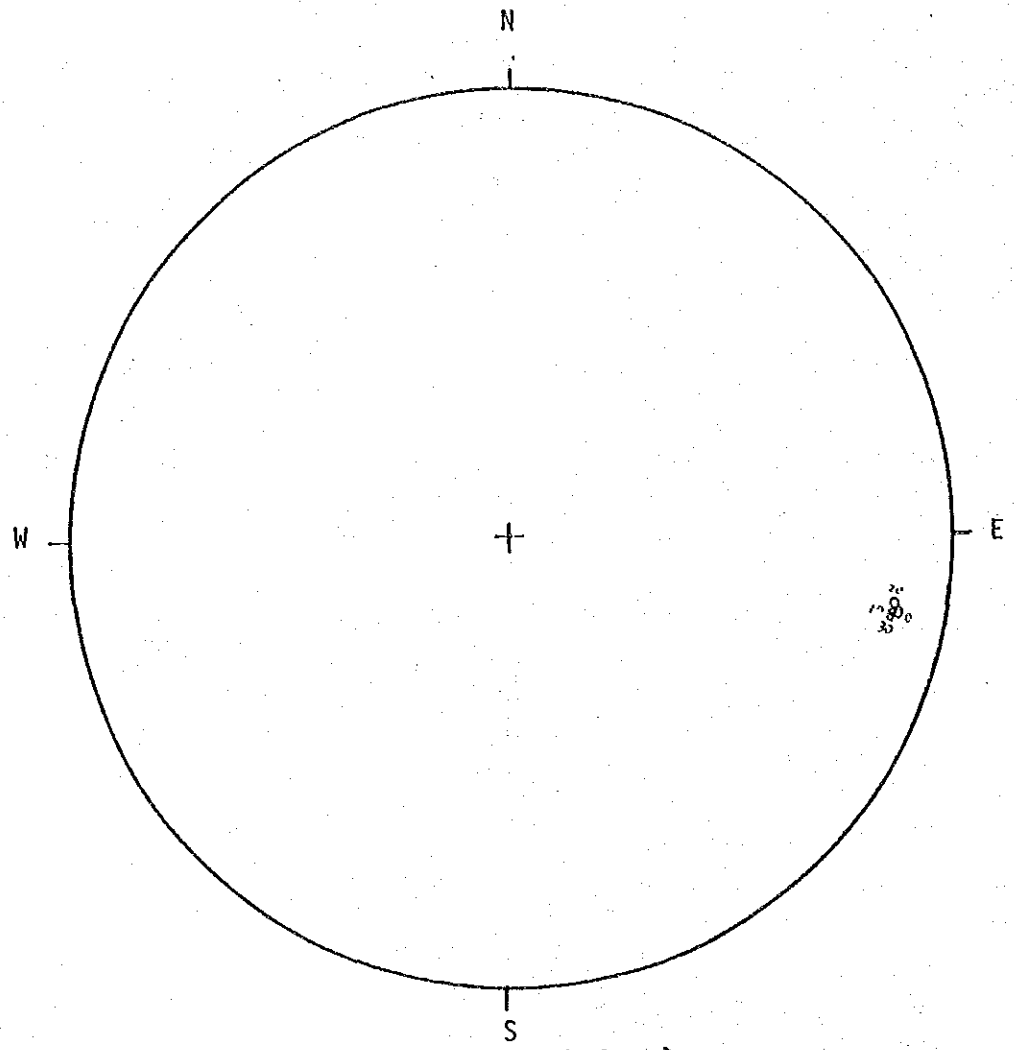
流体包有物の最低充塡温度、地熱井の流体の化学性状調査およびＰＲ－１，ＰＲ－８の坑内温度測定の結果によれば、高温のupflow帯もまたＰＲ－１，ＰＲ－８の近傍にあり、本地域では、uplift帯がupflow帯にほぼ一致した縦型の貯留層となっている。

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upflow帯に掘削する必要があるので、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本に代るものである。

添　付　資　料

コアの残留磁気と応力場復元の原資料

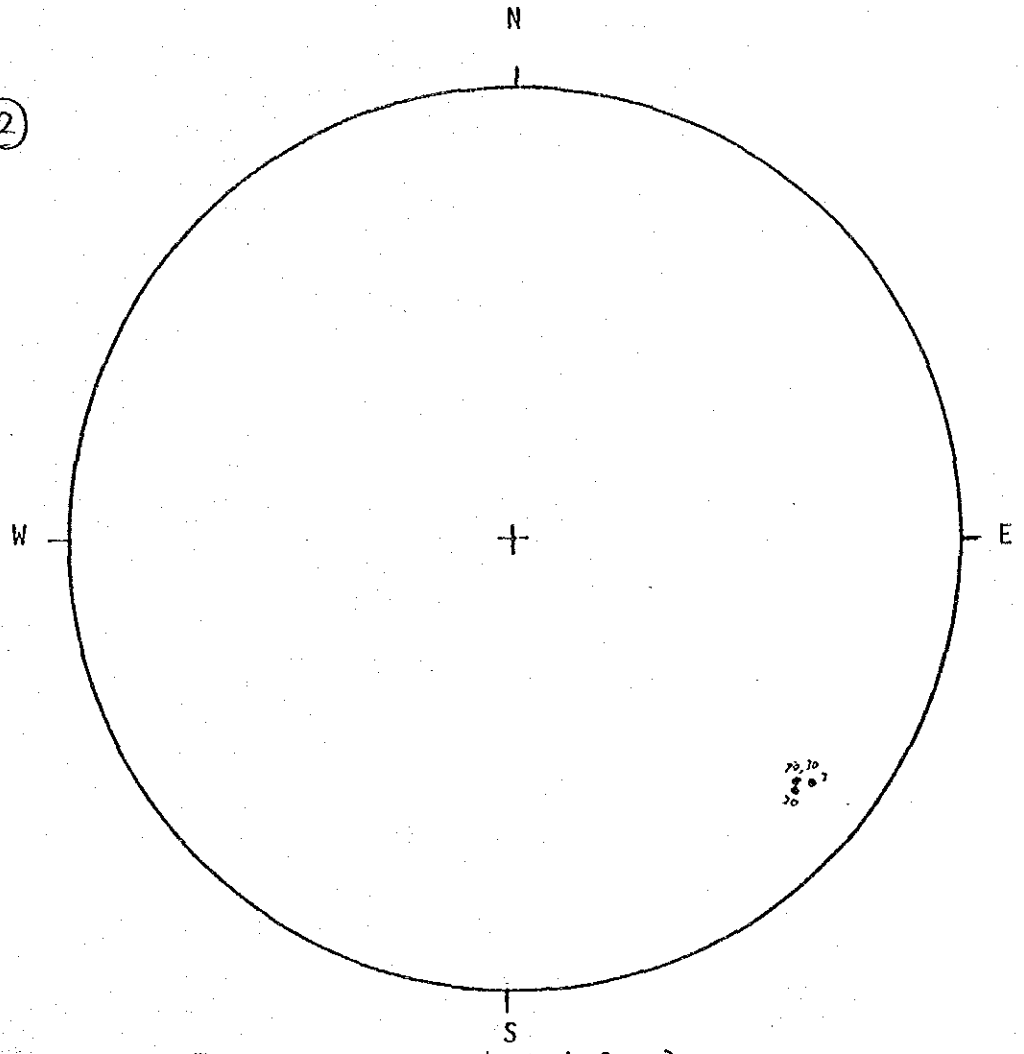
①



AF demag. mT ▲ △ before } bedding correction
MW demag. min. ● ○ after }
Susceptib. mA ⊙ Max. ○ Int. □ Min.

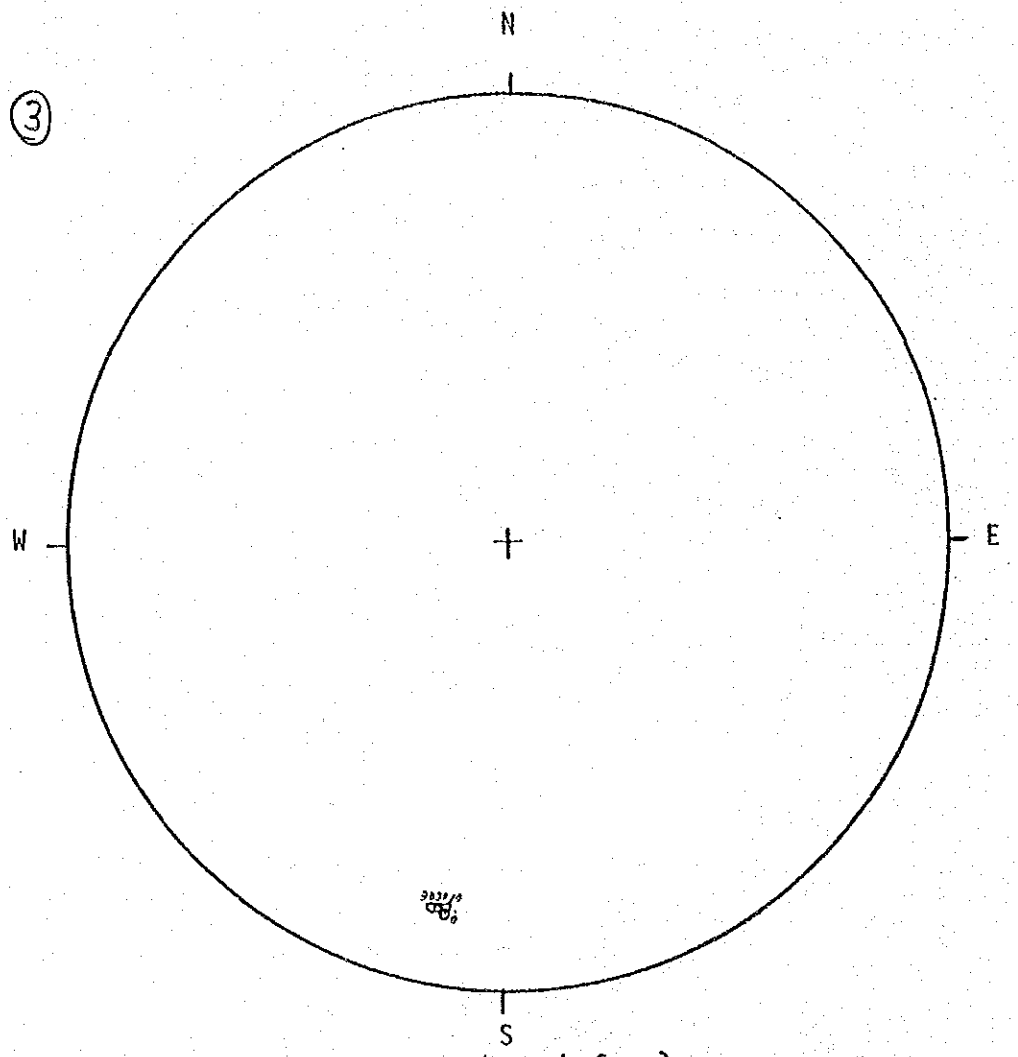
Sample Name	NRM(kA/m)		Jn(kA/m)	Jsus(kA/m)	$J_{B.Q10}$ ~~K/33 (kA/m)~~	qn
MXPR15MA	2.25E-3			1.76E-4	± 1.0	
(PR-1, 93m)		10%	2.24E-3	2.14E-4	± 1.1	
		20%	2.21E-3	1.85E-4	± 0.8	
		30%	2.00E-3	1.78E-4	± 0.8	

②



AF demag. mT ▲ △ before } bedding correction
MW demag. min. ● ○ after }
Susceptib. mA ⊙ Max. ○ Int. □ Min.

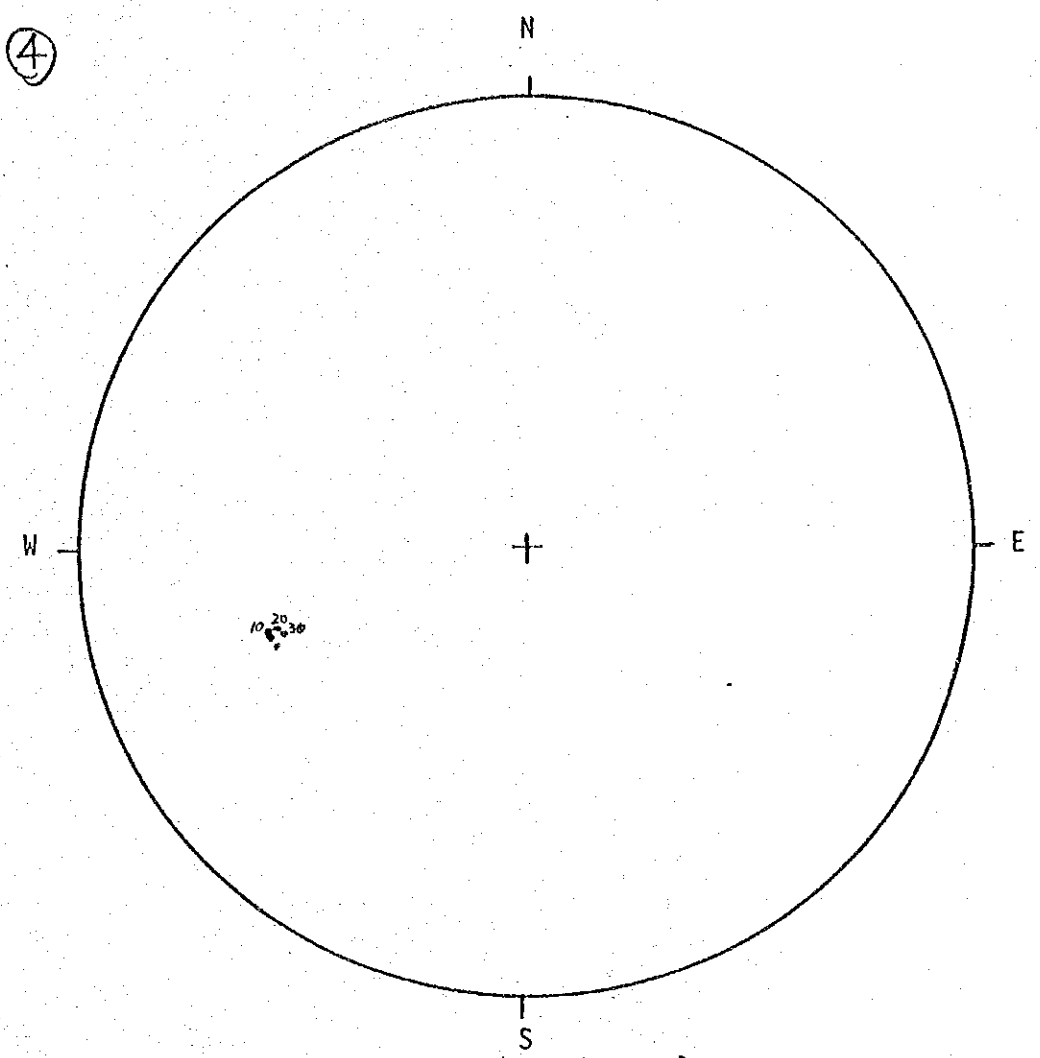
Sample Name	NRM(kA/m)	Jn(kA/m)	Jsus(kA/m)	K_{33} ($J_{B.m.o.}$) (kA/m)	qn
MXPR 11MA	2.29E-3		2.83E-4	±0.5	
(PR-1, 910m)		10 mT 2.31E-3	2.63E-4	±0.7	
		20 mT 2.28E-3	2.28E-4	±0.8	
		30 mT 2.09E-3	2.14E-4	±0.8	



AF demag. mT ▲ △ before } bedding correction
MW demag. min. ● ○ after }
Susceptib. mA ⊙ Max. ○ Int. □ Min.

Sample Name	NRM(kA/m)	Jn(kA/m)	Jsus(kA/m)	J_8 error ~~K_{33}(kA/m)~~	qn
MXPR13MA (PR-1, 915m)	1.49E-3		5.76E-5	±1.9	
	10mT	1.52E-3	5.10E-5	±2.0	
	20mT	1.10E-3	5.19E-5	±2.0	
	30mT	1.43E-3	5.84E-5	±1.7	

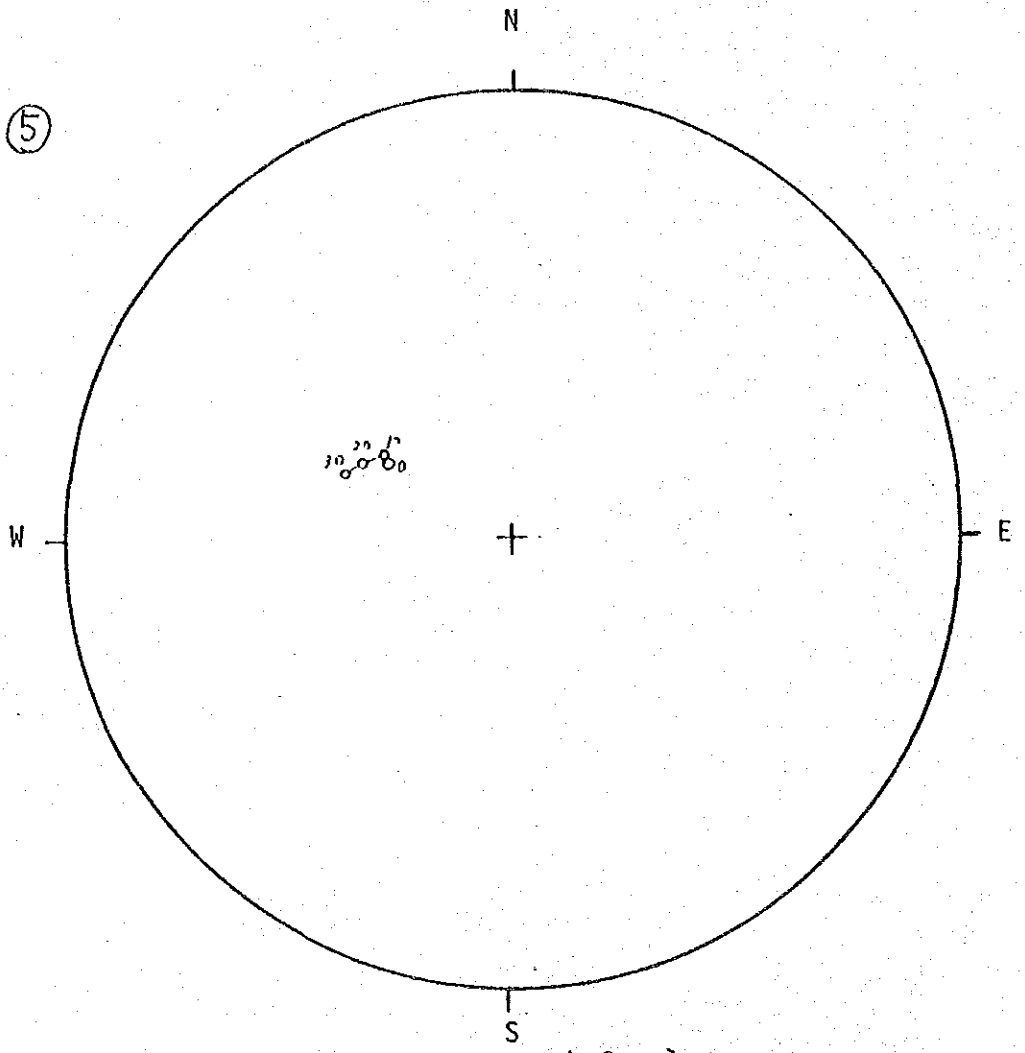
④



AF demag. mT ▲ △ before } bedding correction
MW demag. min. ● ○ after }
Susceptib. mA ⊙ Max. ○ Int. □ Min.

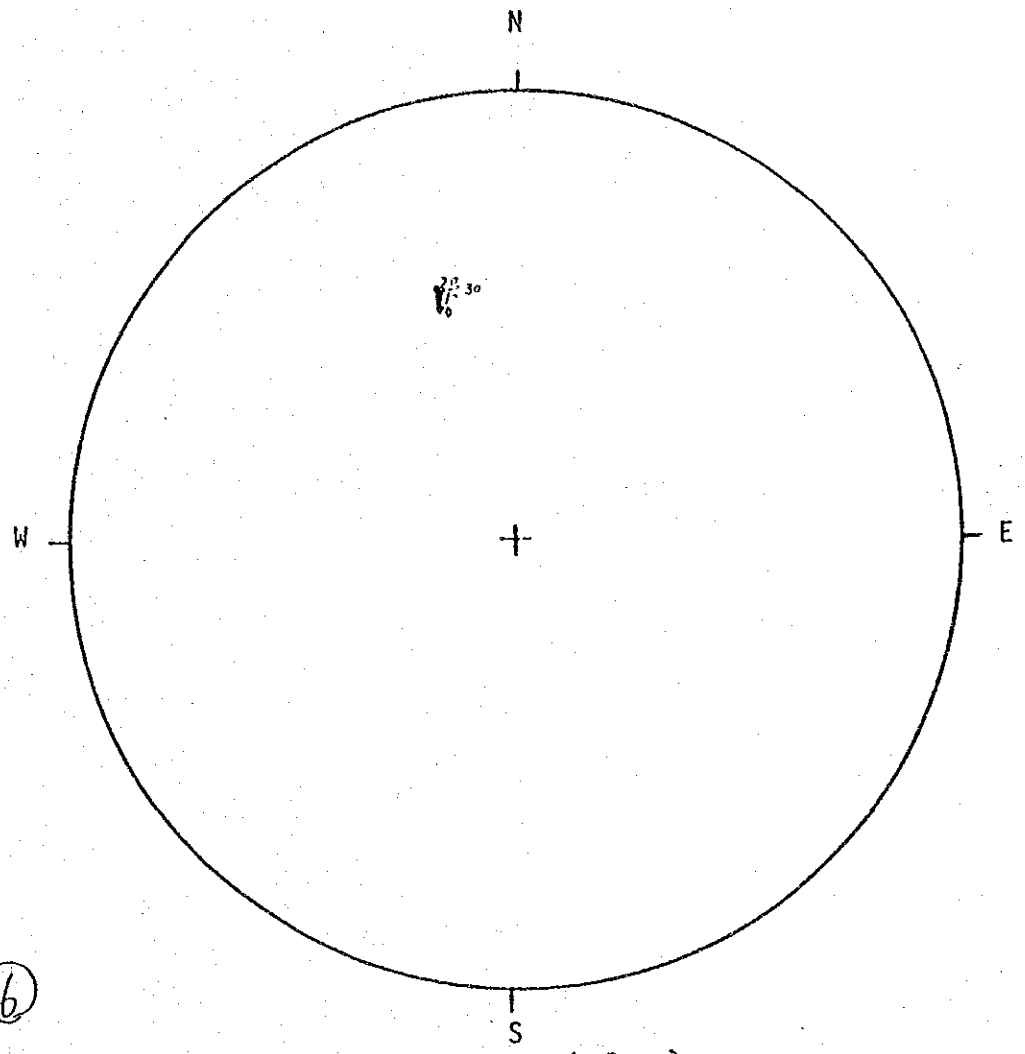
Sample Name	NRM(kA/m)	Jn(kA/m)	Jsus(kA/m)	$I_{B.fin.a}$ ~~K_{33}(kA/m)~~	qn
MX PR2δMA	2.98E-3		1.46E-4	∓1.0	
(PR-2, 350m)		10 mT 2.90E-3	1.78E-4	∓1.1	
		20 mT 2.21E-3	1.18E-4	±1.1	
		30 mT 1.22E-3	4.86E-5	±1.0	

⑤



AF demag. mT ▲ △ before } bedding correction
MW demag. min. ● ○ after }
Susceptib. mA ⊙ Max. ○ Int. □ Min.

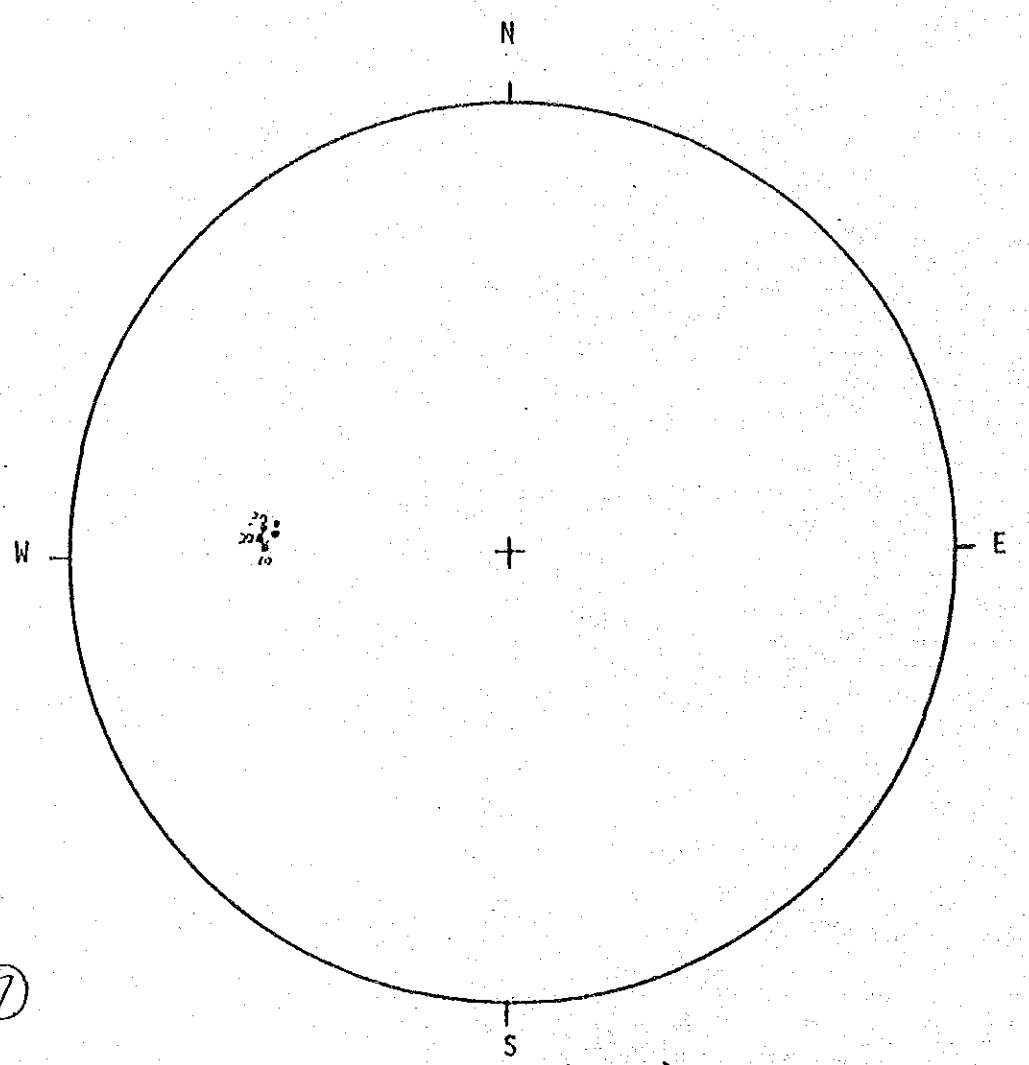
Sample Name	NRM(kA/m)	Jn(kA/m)	Jsus(kA/m)	K_{33} (kA/m)	qn
MXPR24MA (PR-2, 1360m)	7.47E-4		6.91E-5	±1.2	
		10mT 6.86E-4	7.47E-5	±1.0	
		20mT 5.43E-4	5.82E-5	±1.2	
		30mT 3.48E-4	3.62E-5	±1.1	



6

AF demag. mT ▲ △ before } bedding correction
MW demag. min. ● ○ after
Susceptib. mA ⊙ Max. ○ Int. □ Min.

Sample Name	NRM(kA/m)	Jn(kA/m)	Jsus(kA/m)	$J_{R\text{-error}}$ ~~K_{33}(kA/m)~~	qn
MXPR46MA	4.17E-4		2.64E-5	± 0.9	
(PR-4, 360m)		10mT 3.51E-4	3.48E-5	± 0.6	
		20mT 2.86E-4	2.07E-5	± 0.7	
		30mT 2.26E-4	1.52E-5	± 0.5	

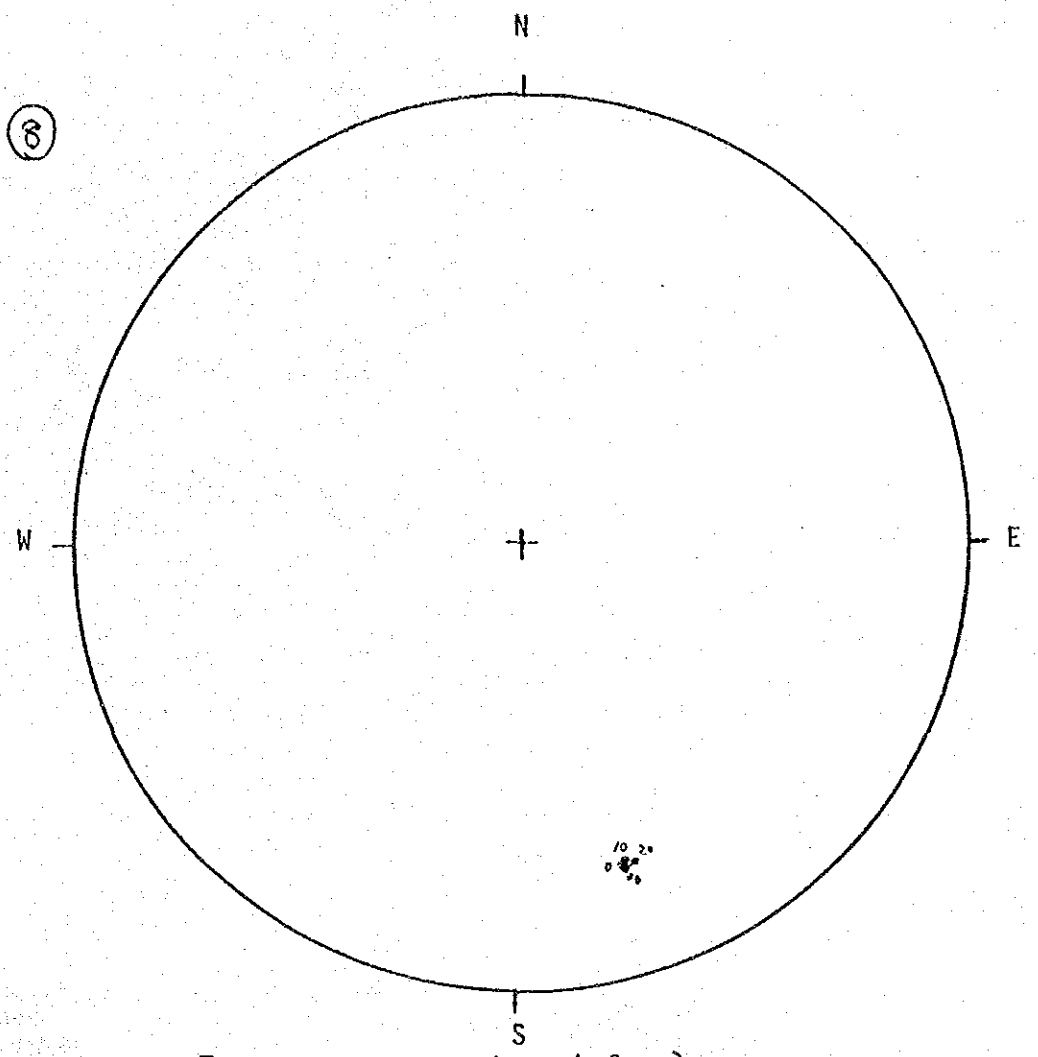


⑦

AF demag. mT ▲ △ before } bedding correction
MW demag. min. ● ○ after
Susceptib. mA ⊙ Max. ○ Int. □ Min.

Sample Name	NRM(kA/m)	Jn(kA/m)	Jsus(kA/m)	$J_{B.eup}$ K_{33}(kA/m)	qn
MXPR5-7MA	4.17E-4		6.08E-5	±1.3	
(PR-5, 350m)		10mT 3.43E-4	3.62E-5	±1.2	
		20mT 2.58E-4	2.29E-5	±1.1	
		30mT 2.07E-4	2.73E-5	±1.3	

⑧



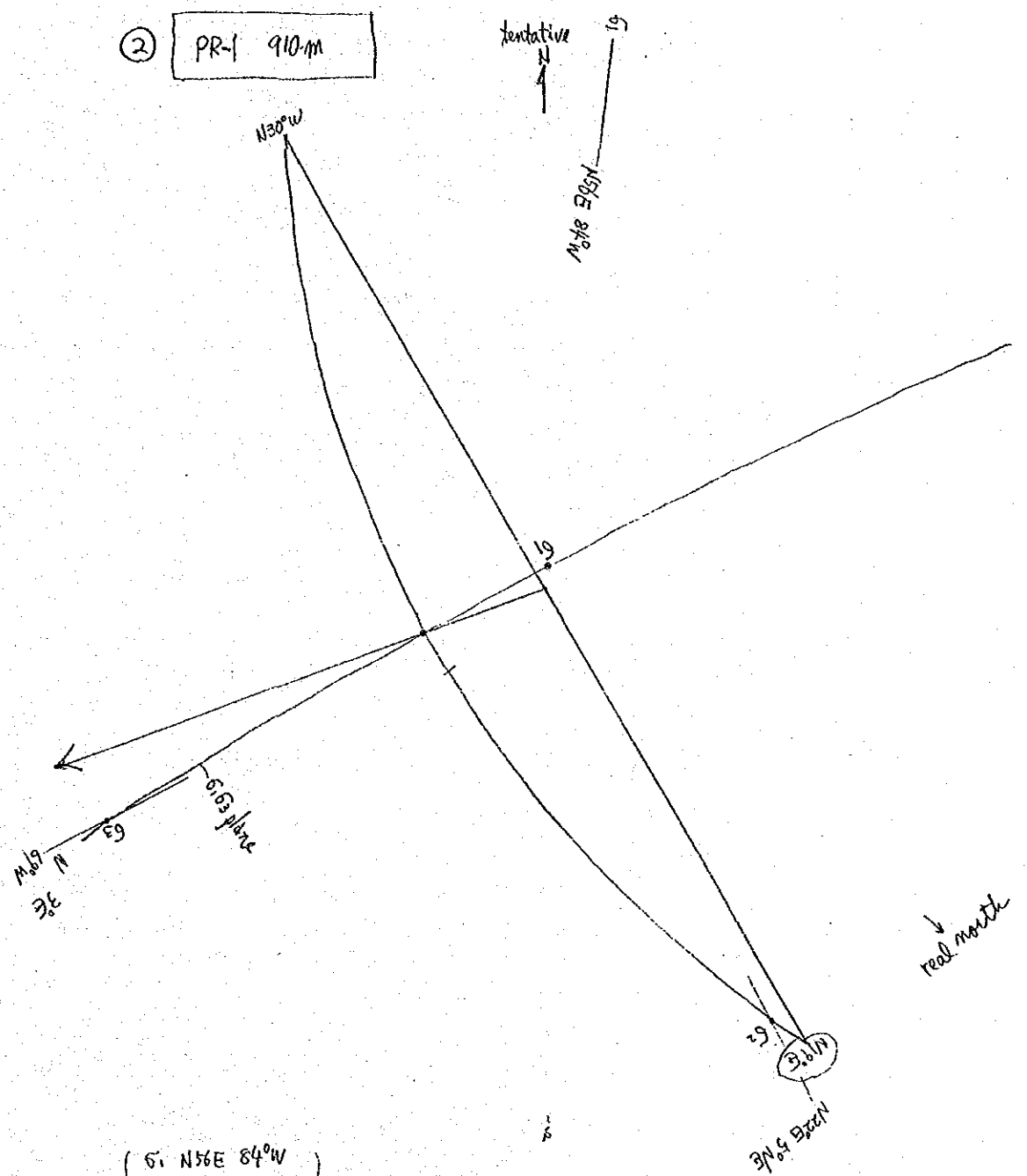
AF demag. mT ▲ △ before } bedding correction
MW demag. min. ● ○ after }
Susceptib. mA ⊙ Max. ○ Int. □ Min.

Sample Name	NRM(kA/m)	Jn(kA/m)	Jsus(kA/m)	K_{33}(kA/m)	qn
MX RC12MA	9.24E-3		6.99E-4	± 0.4	
(RC-1, 700m)		10 mT 9.18E-3	6.82E-4	± 0.5	
		20 mT 8.63E-3	4.79E-4	± 0.1	
		30 mT 7.12E-3	1.12E-4	± 0.1	

① PR-1, 93m

vein

② PR-1 910m



σ1 N56E 84°W
σ2 N22E 5°NE
σ3 N19W 3°E

normal slip

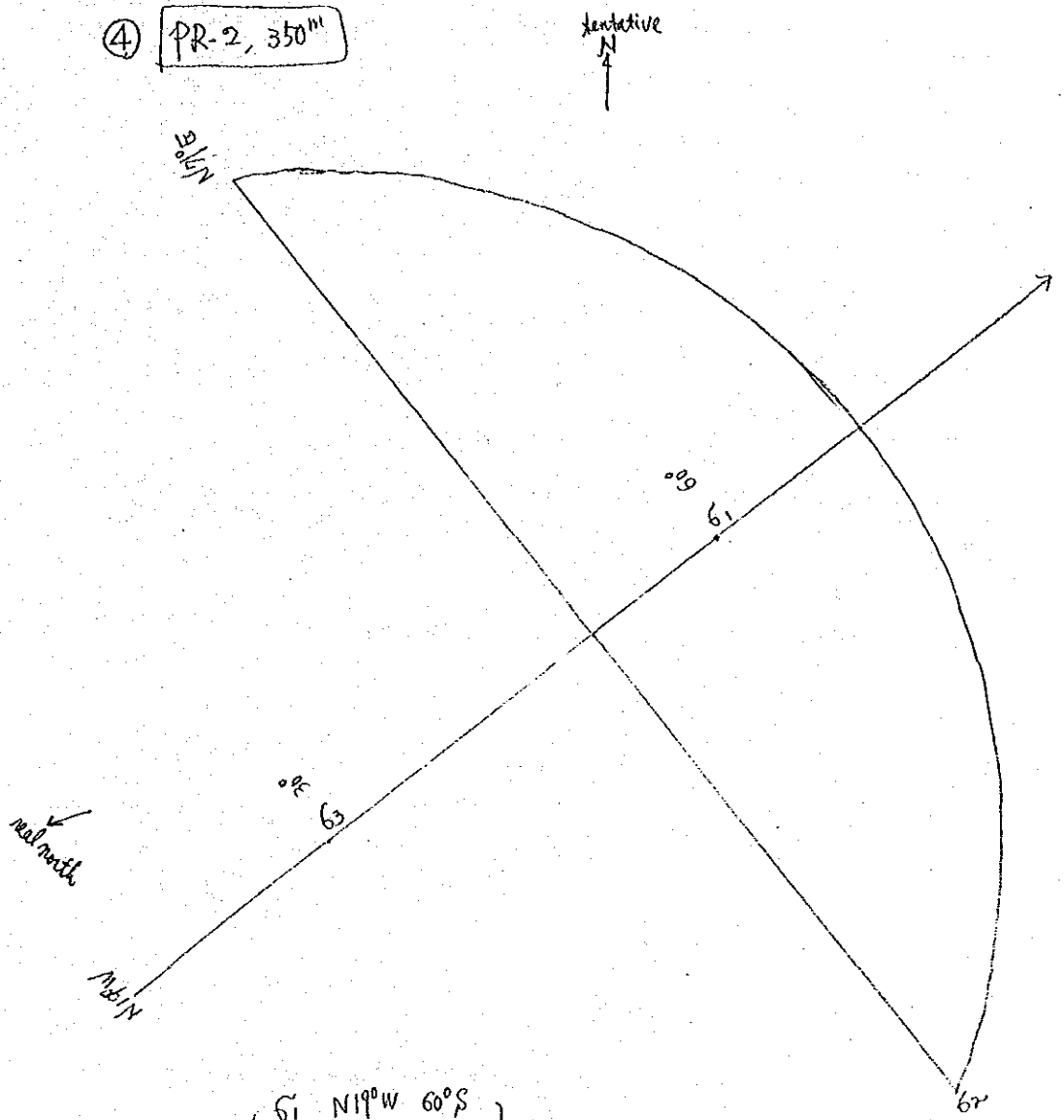
③ PR-1 W516

tentative N
true north
63 N98°E 3°E
63 N88°E 88°W
63 N11°W 2°N
63
26
N98°E 3°E
N88°E 88°W
N11°W 2°N
26 N11°W 2°N
true north

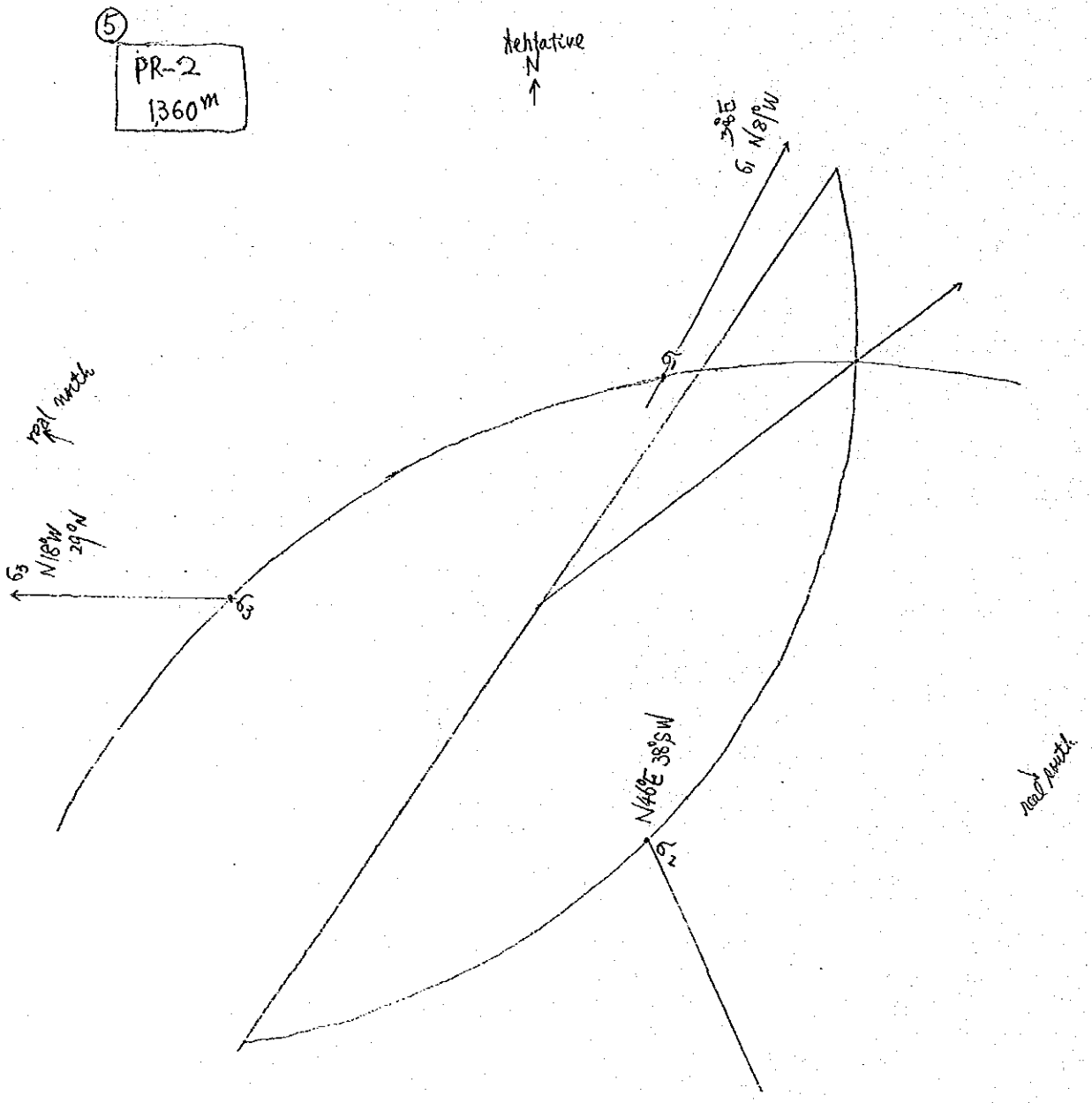
"

slickenside direction → vertical

④ PR-2, 350m



σ_1	N19°W	60°S
σ_2	N71°E	0°
σ_3	N19°W	30°N



σ_1	N81°W 38°E	
σ_2	N46°E 38°SW	complete oblique
σ_3	N18°W 29°N	

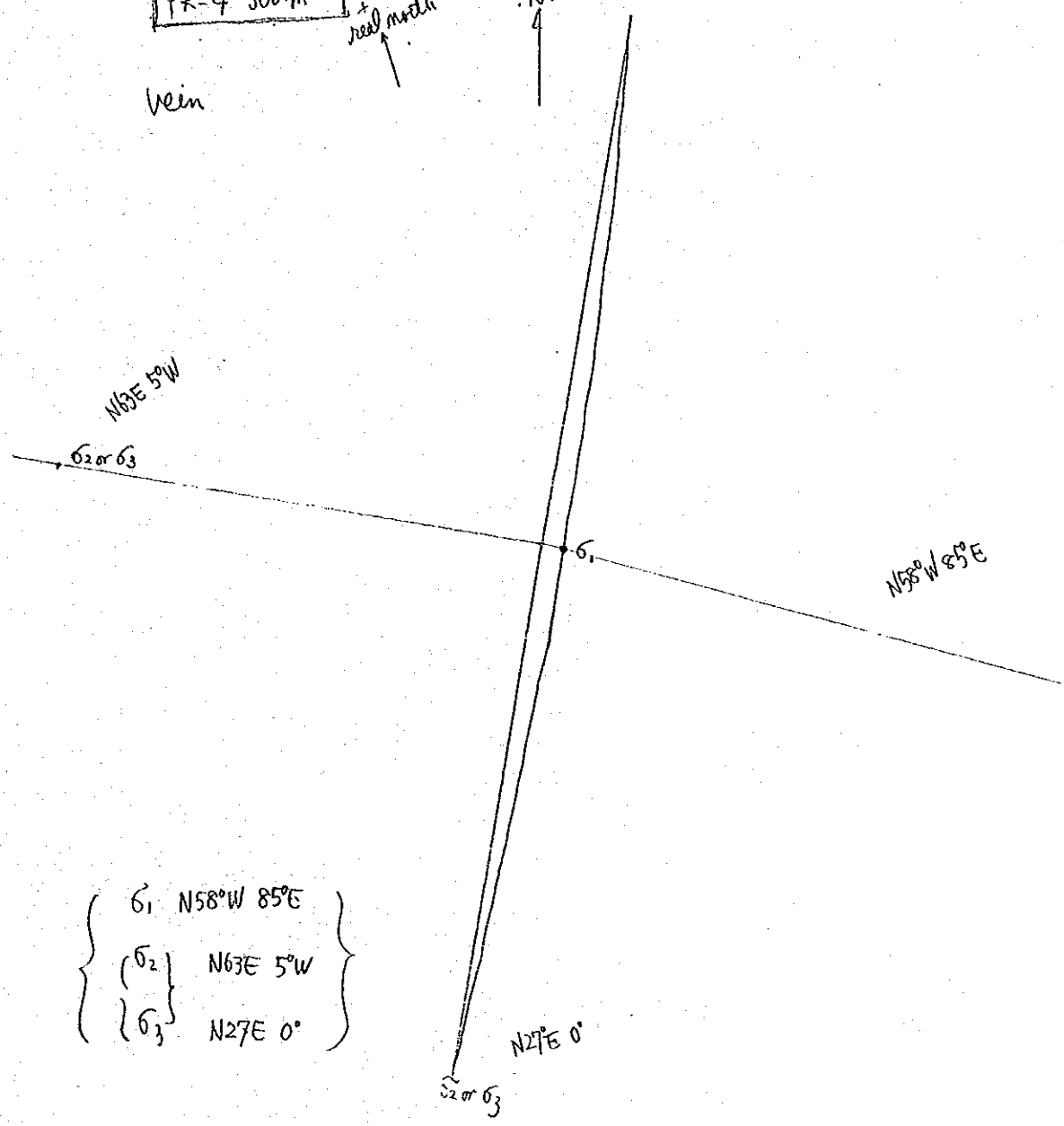
⑥

PR-4 300m

real north

tentative N.

vein



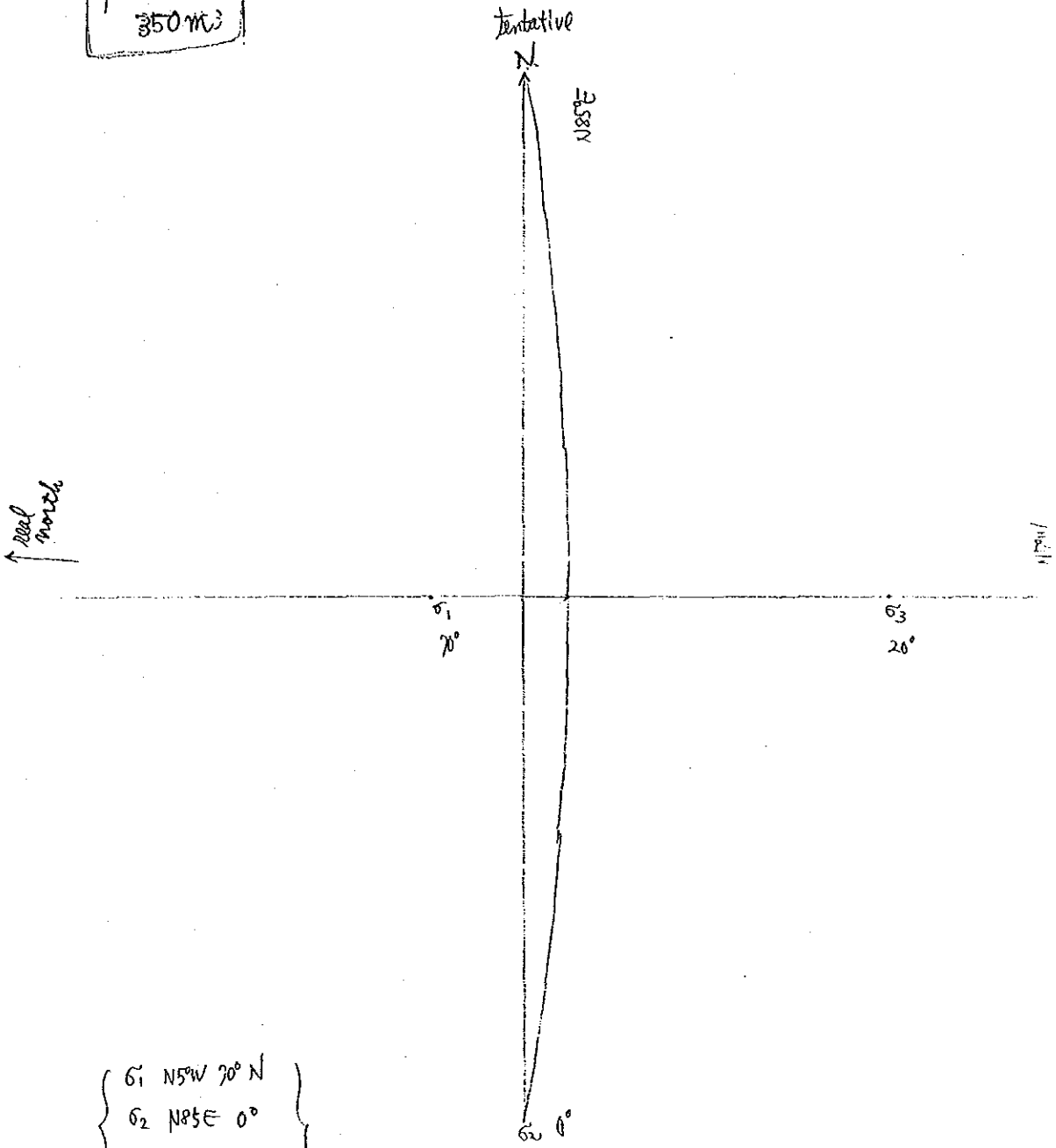
σ_1 N58°W 85°E

σ_2 N63E 5°W

σ_3 N27E 0°

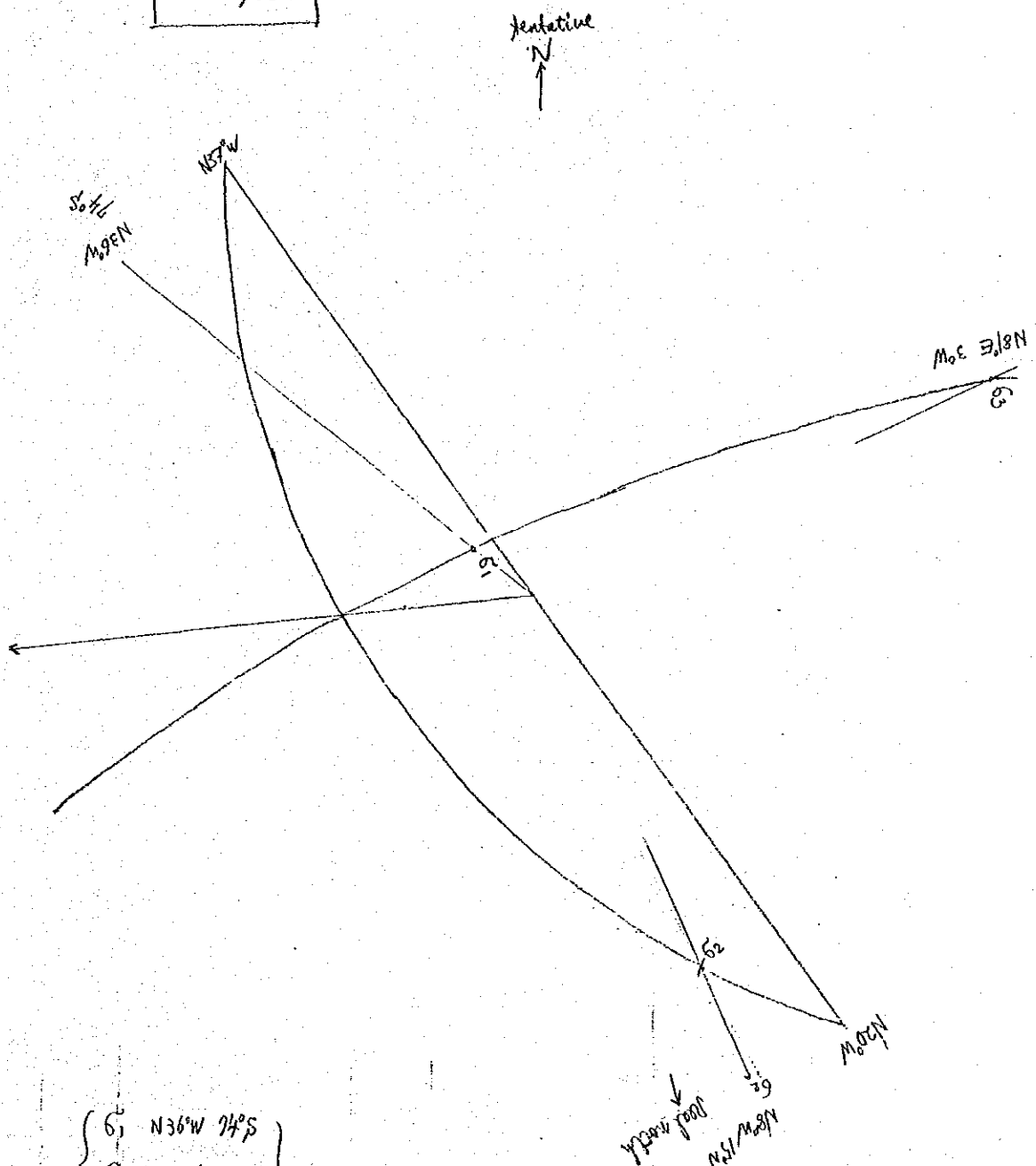
7

PR-5
350 m3



σ_1 N5°W 70° N
σ_2 N85E 0°
σ_3 N5°W 20° S

⑧ RC-1 700m



σ_1 N36°W 74°S
σ_2 N8°W/ 15°N
σ_3 N8/E 3°W

JICA

メキシコ合衆国ラ・プリマベーラ地熱開発計画調査中間報告書

昭和61年3月

国際協力事業団

615
64.3
MPN
LIBRARY