

試錐による松代群発地震地域の地下構造調査

高橋 博・高橋末雄・鈴木宏芳

国立防災科学技術センター

Studies on the Underground Structure of the Matsushiro Earthquake Area by Test Boring

By

H. TAKAHASHI, M. TAKAHASHI and H. SUZUKI

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

To make clear the underground structure of the Matsushiro earthquake swarm area, boring was conducted at the foot of a hill named Minakamiyama, Matsushiro-machi, and various kinds of geophysical observations which are considered to be associated with the earthquakes were carried out.

はじめに

この調査の目的は、試錐により松代盆地の地下構造を明らかにすること、地中の電気的性質を測定し、地質調査所で行なう深部電気探査の解析精度を高めることに役立つこと、地震に関係あると思われる地球物理学の諸観測を行ない、この群発地震の成因その他の研究に役立つこと、ならびに、地震の発生している付近に達する試錐を行なうに必要な知識と経験をうることなどにある。地点の選定は、地震のはじまった当時、震央分布域の中央にある皆神山が溶岩の流出によって形成された円頂丘であるか、ほとんど固結した溶岩がおし出したものであるかの論争があったのでその解が得られること、深部電気探査の測線にできるだけ近づけることの二つの条件がみだせ、そのうえ試錐の深度から、なるべく基盤が浅い所ということで、皆神山北西の麓の大日堂となった。次に調査・観測項目は、たがいに重複しあう項目があったが、地下水の継続観測の関係を除けば大部分が実行にうつせた。調査項目は地質調査以外は次のようである。

試錐中測定項目 1. 深度別地震動観測*

2. 弾性波速度測定
3. 鳴動収録**

4. 広帯域精密電気検層

5. 地中電位測定

6. 地電流観測

7. 温度検層

8. 孔底温度測定

9. 孔曲り測定

10. 標準貫入試験

観測井観測項目 1. 地震 3成分

2. 傾斜 2成分(水平)***

3. ひずみ 3成分

4. 温度 抵抗線型

サーミスター (深度200m,
150m,100m,50m)***

5. 地電流(鉛直成分)

注) *建築研究所, **NHK, ***地震研究所で実施。

今回の調査は1966年4月地点選定を行ない、5月20日より掘進をはじめ、途中測定を行ないながら6月20日に深度200mに達し、最後の諸測定を行ない、7月9日に継続観測装置の孔底へのそり入設置をおえ、7月中旬には掘さく装置の撤去をおえた。

以上のように今回の調査は予定どおり行ないえ

たのであるが、調査の出発点である試錐を行なう土地を心よく提供して下さった山内氏に厚く謝意を表します。また、地震による危険と孔内崩壊に終始あい、短い予定工期内に掘さくを行ない、各

種目高精度の測定をおえ、観測装置設置を工夫をこらして行なった住鉦コンサルタント株式会社の作業員諸氏の苦勞をねぎらい、技術を賞します。



Photo 1. General view of Mt. Minakami.

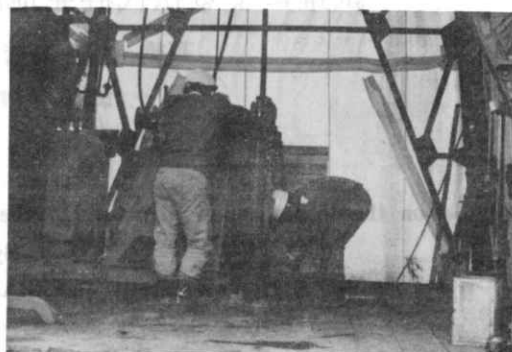


Photo 3. Boring work.



Photo 2. Boring tower.

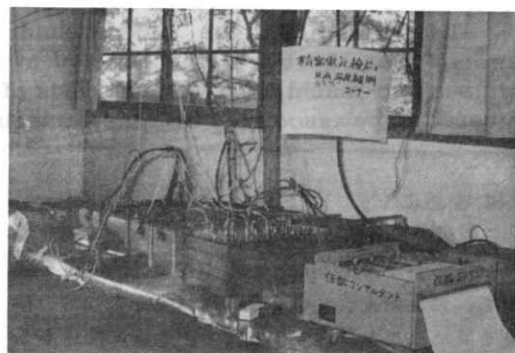


Photo 4. Logging instruments.

なお、試錐工事の概要は次のとおりである。

試錐機 TFM-2形：重量800 kg(原動機除く)、能力400~500m、錐回転数125, 300, 600 rpm、送り：油圧式(手動併用可能)巻上能力2,000 kg

原動機 三菱KE-31型、16~34 PS

送水ポンプ NES-100型：重量300 kg、容量最大100 l/min、圧力最高50 kg/cm²

マッド・ミキサー MCE-100A形：重量100 kg、容量100 l、プロペラ回転数800~1,000 rpm

揚水ポンプ NB3-60A形：重量230 kg、容量最大50 l/min、圧力最高40 kg/cm²

掘進概要 200 φメタル・クラウンにて7 m掘進、165 φドライブ・パイプそう入、7~

42.0 m、124 φメタル・クラウンにて掘進、112 φケーシング・パイプを42.0 mまでそう入、42.0~200 m、101 φダイヤモンド・ビットにて掘進、諸測定終了後に97 φケーシングを180 mまでそう入。

1. 地質柱状図

試錐はオール・コアリングで行なった。コアにより得られた地質柱状図を図-1に示す。この柱状図は現地にて地質調査所星野一男技官の鑑定したものをもとに当所で作ったものである。

1.1 表層(深度0~約40m,以下柱状図参照)

ボーリング地点の表層は赤色の皆神山溶岩の礫まじりの茶褐色の粘土および砂層であり、コアの観察では地表から深度7 mまでは、地表と同様な茶褐色~灰色の皆神山溶岩の角礫~円礫まじり

の茶褐色砂質粘土層、礫層である。深度7m~11.5mは赤色、灰色の皆神山溶岩の大小の礫であるがコア採取率が非常に悪く、粘土質、砂質の部分は泥水に洗い流された。

深度11.5m~17.5mは地表と同様な礫を含んだ砂、粘土層であるが礫の量が少ないかまたはほとんど含まない。深度17.5mから25mは赤色、灰色の皆神山溶岩のブロック、25mより下は赤色だけの皆神山溶岩のブロックないしは角礫であるがコア採取率が非常に低く(30%以下)コアのクラック中に赤褐色の粘土が付着していることによりこの付近も礫の間を地表付近と同様の粘土質、砂質のものが充てんしていると思われる。深度25mより上では赤色と灰色の2種の礫がみられ、25mより下では赤色の溶岩だけが採取されることにより25mより上のものは磨蝕性の堆積物、下は溶岩であるかもしれない。

ボーリング関係者の話によると深度37m付近よりも固い層になるといい、またコア採取率も深度39mで75%となり深度40mでまたも低下するが、深度43mからはまた高くなり、地表より40m付近からは間違いなく溶岩になるものと推定される。

1.2 皆神山溶岩(深度約40~150m)

岩石的な特徴を上から順に記述すると、深度40m付近より98m付近までは赤色(ごく少量の灰色部を含む)の、珪晶として斜長石、紫蘇輝石、普通輝石および少量の角閃石を含む安山岩である。粗雑で多孔質の部分とちみつて孔けきの少ない部分が交互にあらわれるが、全般的に多孔質の粗雑な部分が大部を占める。黒色の鉄鉱物とみられる鉱物が肉眼的にも多量に見いだされ、時には黒色部が脈状をなす。1cmから3cmぐらいの黒灰色粒状の捕獲岩がしばしばみられ、特に深度40m、53m、63m、80m付近には多量に観察される。捕獲岩は一般にちみつな部分に多い。

多くのコアで傾斜が30°~60°ぐらいの流理構造がみられるがこの傾斜は現在の山体の傾斜と比べてずっと大きい。全般に亀裂や角礫状の部分が多い。以上のように地表に近い部分に亀裂や塊状質なものが多いのは後期に集塊岩質の噴出が多かったのではないかと思われる。亀裂には斜あるいは鉛直のものが多いが深度63m付近では水平の亀裂が多く、この部分では毎分30ℓ、17℃の湧水

がみられた。深度40~100mのコア採取率は50~70%ぐらいである。

深度98mより溶岩の色は赤色から灰褐色ないし灰色に変化するが岩石学的な特徴は赤色のものと変わらない。深度110mから150mまでは部分的に赤色部を含むが青灰色ないし灰色である。

青灰色のものも赤色のものと岩石学的には変わりはない(森本らによると鉄鉱物が赤色物に比べて少ない)¹⁾が、赤色のものとくらべてちみつな部分が多く、多孔質で粗雑な部分は少なく、均質である。しかし捕獲岩や流理構造は赤部と同様に観察される。コア採取率は赤色部よりよくほとんど100%に近い。赤色と青灰色の相違は溶岩の噴出時の酸化条件の相違によるもので、噴火の際高温で大気にふれた部分は磁鉄鉱が酸化して赤色を呈したもので、内部の酸化されなかった部分は青灰色のまま残ったものという。地表の調査でも谷の解析の進んでいる部分は青灰色溶岩の露出が観察される。溶岩の底部10mほどは地下水で溶脱されたかのごとく灰色を呈し、最後の2mほどは角礫状か塊状となっており、また全体的に黄褐色がかったよごれが目立つ。

皆神山の基底の存在が明白になったこと、流理構造がみられること、山体の外形などから、皆神山は粘性の高い溶岩が狭い火道から流出して形成された溶岩円頂丘で、ほとんど固結した溶岩がおし上げられた昭和神山型のものではないことがはっきりした。

なお、沢村らによると皆神山溶岩は奇妙山などと異なり角閃石安山岩で、他と比べて斜長石の珪晶も多い。たゞ石基にはクリストバル石が豊富でこの点は奇妙山初期の溶岩と同じ性質をもっている。

1.3 湖底堆積層(深度150~165m)

深度150mから165mの間は湖底堆積物とみなされる堆積層が見いだされる。

この層は今回の試錐によって初めて発見されたもので地表の地質調査ではこの層に対応するような堆積物は見いだされていない。

この層の上部5mは固結度が低いためコアを採取することができず、掘進のスライムのみであるが、それをみると大部分は灰色~黒灰色のガラス質の断片よりなっており、その間に灰色細粒の

* 本報告書“松代震源域の地質と地質構造”参照

火山灰質のものが含まれている。その下層は非常に多孔質の黒灰色の径数 cm の安山岩質の火山岩片を多く含み、火山灰・軽石およびガラス質の小火山岩片を主とする緑色ないし灰色の凝灰岩質のシルトであり、このシルトも非常にもろい。この中には数 cm の木片が見いだされる。この層の間、深度 157m と 159m の部分に黒色の泥層が 80 cm と 60 cm の厚さで 2 枚はさまれている。この泥層も半固結中に炭質物を多く含んでおり、ガラス質の安山岩礫も含む。また乾燥すると白色の針状鉱物が晶出してくるのがみられる。傾斜はほとんど水平である。

深度 160m の部分では 40 cm の厚さで、角礫化した黒灰色の非常にガラス質の安山岩がはさまれている。また下部の別所層のものと思われる灰色硬質頁岩の円礫が数個観察される。しかし礫の中には奇妙山などの新しい火山岩類の礫はみられない。これらの火山性堆積物中の礫は肉眼的に非常に類似した性質を示していることにより、皆神山溶岩と同一の起源をもつものであろう。

この湖底堆積層は皆神山の先駆的活動で、この地域が沈降し、湖が生成し、そこに数回にわたる、断続的、小規模な火山活動によって堆積したものと考えられる。泥は火山活動の休止期に堆積したものであろう。

1.4 第三紀層 (深度 165 ~ 200m)

深度 165m より下の層は新第三紀中信層群の別所層に対比される黒色頁岩を主とする層である。

深度 165m から 179m の間はおもにやや砂質の黒色硬質頁岩であるが、168m 付近、176m 付近は細粒の砂岩となっている。色は黒色のものが大部分であるが、一部灰色～灰白色の部分もあり、特に 173m と 177 ~ 179m の部分はおそらくケイ化作用によって生じたと思われる、ヒン岩と区別をつけたい白色の岩石となっている。傾斜は 30° ~ 40° である。

深度が 180m ~ 182m と 184m ~ 187m の部分は灰黒色のやや変質した斑晶の大きなヒン岩であり、これは黒色頁岩中に貫入したものである。

深度 187m より 200m の間は黒色硬質頁岩の間を、灰色のヒン岩質の外観を有する火成岩が数 mm ~ 数 cm の幅を持って多量に網状ないし脈状に貫入している。このヒン岩質岩は前述の頭晶質ヒン岩とはちがひ、あまり斑晶が目立たないものである。

この別所層は地層形成後の節理化が著しく亀裂も発達している。深度 199m 付近の角礫化帯からは毎分約 250 ℓ に達する湧水がみられた。

この層に特徴的なことは層全体に硫化鉱物(黄鉄鉱)の晶出が著しいことである。黄鉄鉱の晶出の状態には亀裂を充てんして 2 ~ 3 mm の厚さに脈状に生成しているものと、単結晶が点状に生成しているものと 2 種あり、前者は黒色硬質頁岩、後者は砂岩質ケイ質岩、火成岩部分に主として存在する。黄鉄鉱の晶出している節理と晶出していない節理があることから、これらの節理を鉱化作用以前のものとしてそれ以後のものとして区別することが可能である。鉱化作用のおよんでいるものの方が鉱化作用のないものよりも多い。これらの節理の傾斜、発達状態などの検討、地表調査との比較などを行なう必要がある。

2. 試錐孔内測定

浅い試錐ではあるが、深部の地下構造の解析や今回の群発地震に関係あると思われる地球物理的測定をできるだけ広く行なった。

2.1 深度別地震動観測

地盤中、深度とともに地震動がどのように変化するかを観測することは、耐震工学上の課題としても、地表のイノズからまねがれた地震観測を行ないたいという地球物理学的欲求からも、以前から必要とされていた。従来、既存の井戸を利用してこの種の観測が行なわれはしたが、掘削深度を順次増しつつ観測されたことはない。今回は、予定深度に達すると掘削を中止し、夜間の半日を地震観測にあてた。なお、観測はこの観測項目を希望した建築研究所で行ない、地震計は孔口と孔底の 2 箇所に設置した。観測深度は 4.5 m, 7 m, 15 m, 30 m, 40 m で、観測結果は次回に報告される予定である。なお、深度 200m と地表との比較観測は、観測井完成後行なわれた。

2.2 弾性波速度測定

地震観測や弾性波探査に役立てるために行なった。発破は孔口付近の標準貫入試験を行なった試錐孔内で行なった。測定は孔内崩壊のおそれもあり、2 度に分け ETL-M3 を用いて行なった。測定法は Fig. 2、爆破条件と測定結果より求めた鉛直走時等をそれぞれ Table 1, 2, Fig. 3 に示す。走時曲線から求めた各地層の鉛直方向の速度は、皆神山溶岩は 3.1 km/s、別所層は 4.1 km/s である。

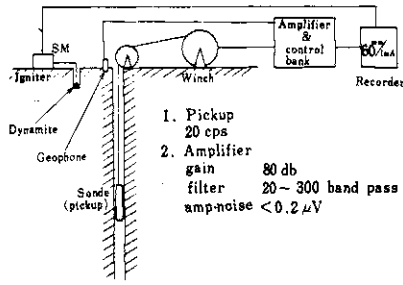


Fig. 2. Schematic diagram of velocity logging.

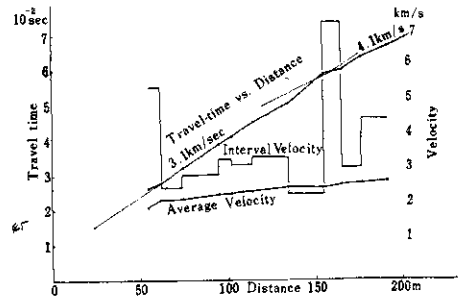


Fig. 3. Time-distance curve.

Table 1. Velocity logging condition.

Date	Pickup depth <i>H</i>	Shot-point depth <i>D</i>	Charge (Dynamite)
June 22	6 3.6 0 m	8 9.0 m	1 0 0 g
	8 3.6 0	9 8.7	1 0 0
	1 0 3.6 0	9 8.7	1 0 0
	1 2 4.3 8	9 9.2	1 0 0
	1 4 4.5 5	9 8.0	5 0
	1 6 4.7 8	9 8.2	5 0
	1 7 4.6 8	9 7.0	5 0
June 24	0	8.4 0	1 0 0
	7 0.0	8.4 0	5 0
	1 1 0.0	8.4 0	5 0
	1 8 5.0	7.7 0	5 0
	2 0 0.0	7.5 0	5 0

Table 2. Measurement of velocity logging.

Pickup depth <i>m</i>	Travel time (<i>T</i>) $\times 10^{-2}$ sec	Distance (<i>A</i>) <i>m</i>	Average velocity km/sec	Interval velocity (<i>V_i</i>) km/sec
0.0 0	1.4 2	1 0.4 7	0.7 7 1	
6 3.6 0	2.6 3 3	5 5.1 8	2.0 9 6	
7 0.0 0	2.7 7	6 2.7 3	2.2 6 5	5.5 1 1
8 3.6 0	3.2 0 4	7 4.0 9	2.3 1 2	2.6 1 8
1 0 3.6 0	3.8 8	9 4.0 1	2.4 2 3	2.9 4 7
1 1 0.0 0	4.1 1	1 0 1.8 7	2.4 7 8	3.4 1 3
1 2 4.3 8	4.5 0	1 1 4.6 9	2.5 4 9	3.2 9 0
1 4 4.5 5	5.0 7	1 3 4.9 5	2.6 6 6	3.5 5 4
1 6 4.7 8	5.8 8	1 5 5.1 3	2.6 3 8	2.4 9 1
1 7 4.6 8	6.0 1 6	1 6 5.1 4	2.7 4 5	7.3 6 0
1 8 5.0 0	6.3 7 7	1 7 6.7 5	2.7 7 2	3.2 1 6
2 0 0.0 0	6.6 9 7	1 9 1.7 4	2.8 6 2	4.6 8 4

2.3 鳴動収録

今回の地震は、発破音にきわめてよく似た鳴動を伴う。NHK技術部門の申し出により、試錐孔内での収録を試みた。収録は震度別地震観測後各

2時間と、200m掘進後深度30mにおいて行ない(いずれも孔内水中)、震度Ⅲの鳴動の収録に成功した。この音は、イタリア賞参加作品として広く世界に紹介された。

2.4 広帯域精密電気検層

通常の電気検層は層序の対比や湧水箇所の決定等であるが、今回の調査においては、そのようなことよりも、地質調査所によって行なわれる深部電気探査の解析精度を高めるため、当盆地を構成している岩石の地中に存在している状況での比抵抗値をその絶対値に近い精度で知ることによってウエートがおかれた、粘土や鈣化層のような低抵抗体から新鮮な深成岩のような高抵抗体までの広帯域にわたって精密に測定できる必要があった。その測定法は Fig. 4, 測定結果は Fig. 5 に示す。Fig. 5 に見られるように、皆神山溶岩の帯は、それ以下の地層と比べると高抵抗で、特に

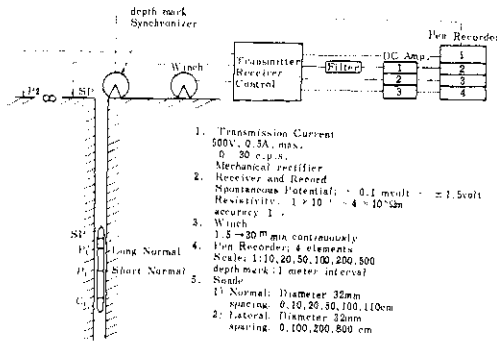


Fig. 4. Schematic diagram of electrical well logging.

Table 3. True resistivity.

Depth m	True resistivity Ωm
4.4 approx.	280
5.2 approx.	450
6.0~6.4	280
6.5	380
6.8~7.1	280
7.2~7.6	400
7.8~8.4	300
8.6~8.9	480
9.3~10.1	350
10.2~11.4	280
11.7~12.1	460
12.8~14.8	260
15.0~15.5	150
15.8~16.4	60
16.5~16.8	80
16.9	150

中心部の割れ目も少なく、集塊岩質でない部分が高い。自然電位も変動が少なく、高々10mVの幅におさまっている。深度150m以深は抵抗が低いので、感度を上げて測定結果を Fig. 6 に示す。

湖底堆積物の層は自然電位の変動が大きくなり、30mV程度の幅をもつ。測定された比抵抗は150~250 Ωm (平均200 Ωm)と低い値を示し、凝灰岩質や破碎された安山岩を含む部分は孔内で最低値(50~150 Ωm)をとる。別所層では、自然電位の値に変動の激しい部分(30~60mV)が認められる。それらは黒色けつ岩の部分で、その中に根ざしている硫化鉄の影響と思われる。比抵抗は黒色けつ岩の部分では100~150 Ωm 、ひん岩の部分は150~200 Ωm とちがいがみられる。孔内水抵抗は10~12 Ωm でほぼ一定である。検層結果から理論的に算出した岩石の比抵抗値を Table 3 に示す。これによると、皆神山溶岩は250~500 Ωm 、平均300 Ωm 、湖底堆積層は平均90~100 Ωm 、別所層は平均80~90 Ωm であるが、ひん岩と黒色けつ岩はそれぞれ130~180 Ωm 、80~130 Ωm と異なりをみせる。

2.5 地中電位測定

試錐孔口で深部電気探査を行ない、その際の地中の電位分布を測定し、深部電気探査の解析に役立てようとするものである。測線は Fig. 11 に示す。電極は Schlumberger 配置である。その測定状況と測定結果を Fig. 7 と Fig. 8 に示す。Fig. 8 によると、60~100mの間に極大がみられる。理論的には孔内の電位分布は0でなければならないが、0ではなく、かなりの変動を示す。しかし、孔内深くへ進むと0に近づく。これらの事実は浅部の地下構造が、浅部の探査には影響を与えるが、深部の探査にはさほど影響しないことを示す。測点の一つではあるが、えられた結果から浅部の構造を推定すると、B極の方向(NE方向)に皆神山溶岩が急激にさきほそりになってなくなるものと思われる。なお、深部電気探査の結果(Fig. 9)から得られた試錐位置の鉛直断面を Fig. 10 に示す。

2.6 地電流観測

試錐孔を基地観測点(26° 33' 16" N, 138° 13' 0" E, 以下BSと略)、松代荘を副観測点(36° 34' 44" N, 138° 12' 37" E, 以下FSと略)とし、Fig. 11のごとく400mの直交するNS, EW測線によって観測した。ただし、BSの測線は地形の関係で Fig. 11 のように斜交し、長さも東向き測線と補助測線は320m、その鉛直測線は200mであった。観測は1966年6月11日~13日、19~20日、25~28日の間、

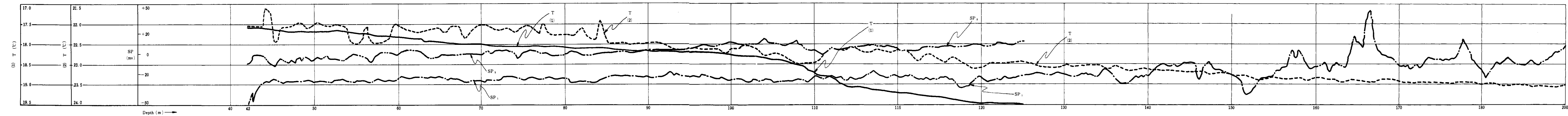
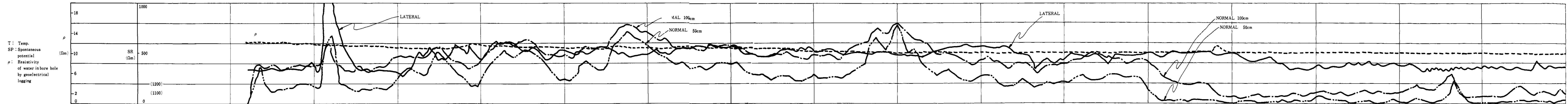


Fig. 5 . Geophysical logging.

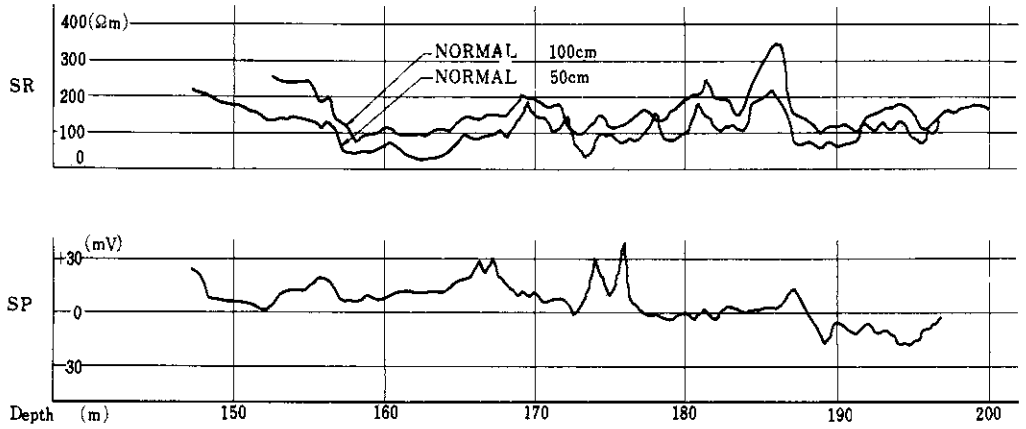


Fig. 6. Geoelectrical logging (depth : 150-200 m).

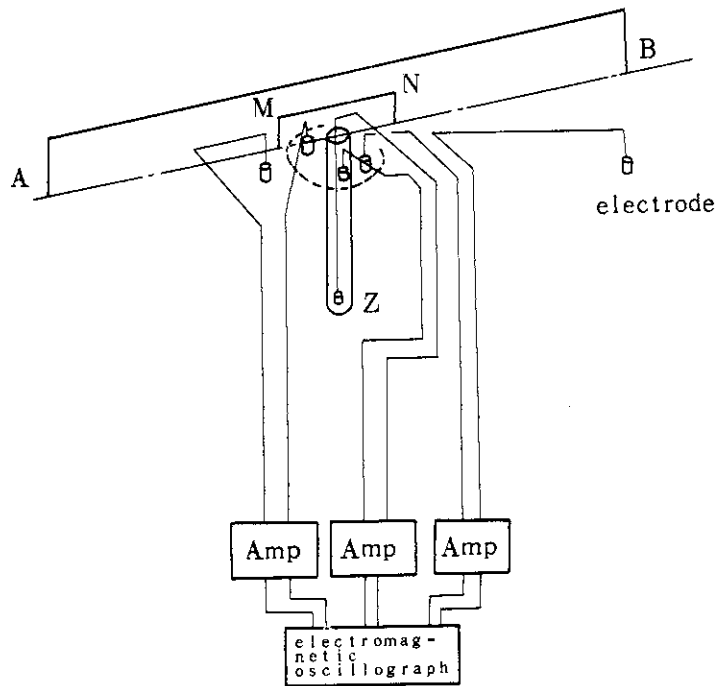


Fig.7 Schematic diagram of measurement of electropotential field in bore hole and geoelectrical sounding.

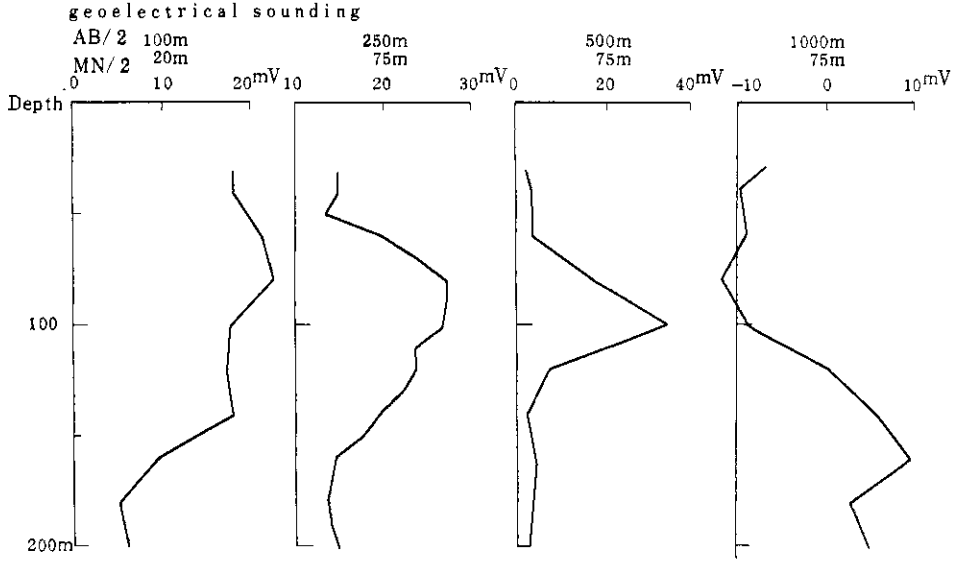


Fig. 8. Profiles of electropotential in the bore hole induced by geoelectrical sounding.

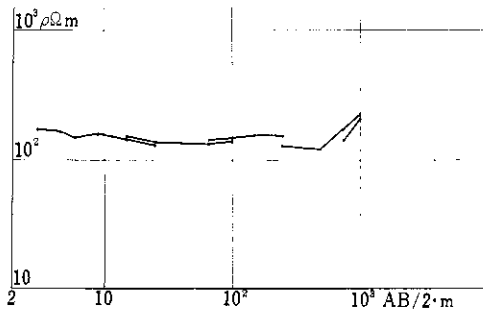


Fig. 9. Vertical electrical sounding ($\rho - AB/2$).

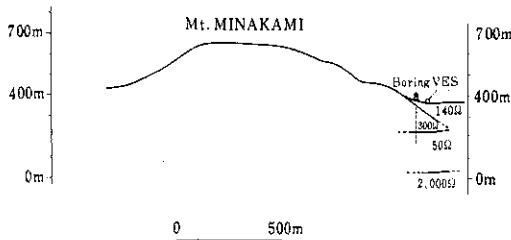


Fig. 10. Interpretation of geoelectrical sounding curves compared with drilling result.

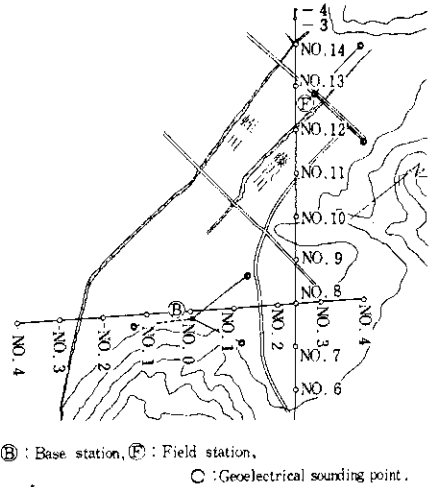


Fig. 11. Telluric current observation. 長野電鉄営業終了後から早朝にかけて、各観測点でFig. 12のようにして行なった。観測の結果、一般に知られている正弦波状の地電流は、きわめてひんぱんに発生するスパイク状の波のためにほとんど検出されなかった。検出された多種の波形を一応整理したものをTable 4に示す。これらの中には人工の起源のものが多いと思われるが、S₁のようにベクトルが正反対のものがあり、BSとFSの間に1966年8月ごろに著しく活動した構造線が走っているので今後検討してみたい。なお、観測と結果の整理検討に問題点がなお残っているので、観測井による観測結果とあわせて今

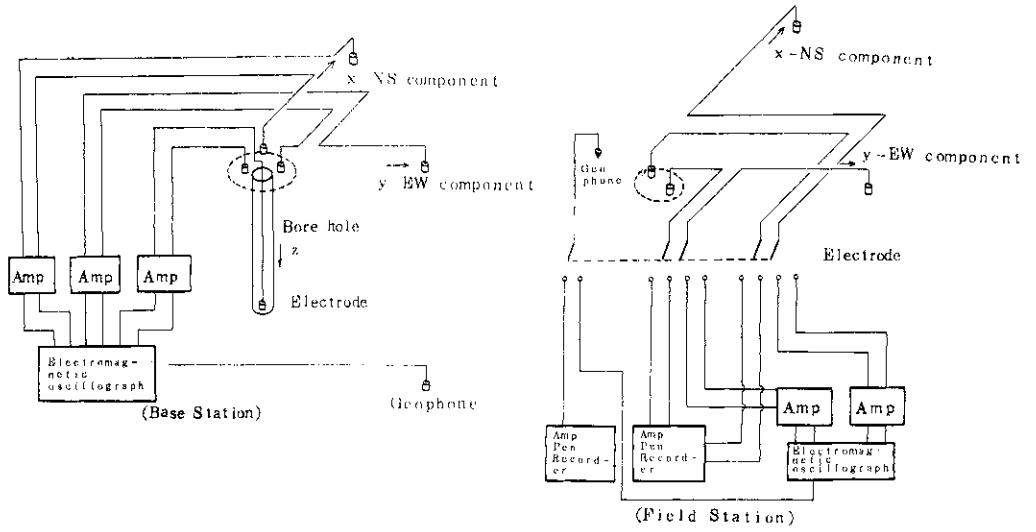


Fig. 12. Schematic diagram of telluric current observation.

Table 4. Observed telluric current.

Type	Wave form	Period	mag. mv/km	Q ₀ Direction B: Base at F: Field st	r (Z)	EF/EB	Vector of T.C.
TCA	sin	4~6 c/s	0.1~0.4	①③ 76°			
TCS	sin	0.5~0.7 c/s	5.0	①③ 80°			
IS c/a isolated	tria	0.05~0.1 sec	1.0~15.0 0.5~4.0	B③ 11°~30° F④ 15°~45°	(0~20°) 10°	0.75	
S ₁₁	sp	0.5~1.0 sec	1.0~6.0 1.0~6.0	B③④ 40°~60° F④④ 10°~50°	30°~70°	0.90	
S ₁₂	sp	20~40.0 1~4min	20~180 10~30	③ 45°~65° ④ 45°~65°	30°~50°	0.2	
S ₁₃	sp	2.0~10.0 1~2min	50~100 5~10	③④ 10°~45° ①④ 30°~70°	30°~45°	0.1	
T _r	F(NS) F(EW)	2.0~20.0 sec	3.0 → 1.0 6.0 → 2.0 5 → 5 10 → 7	④ 80° ① 40° ① 80°	-15°~ -20°	0.2~0.5	
SQ	square	20~80 sec	150	③ 30°			

後検討したい。

2.7 温度検層

精密電気検層とともに Fig. 13 のようにして行なった。

結果は Fig. 5 に示されている。第1回は孔口湧水 30 l/min, 17°C (湧水位置 63m 付近), 第2回は孔口湧水 250~300 l/min, 21°C (湧水位置 63m および 199m 付近) のもとで行なわれた。えられた見掛けの増温率および変曲点を Table. 5 に示す。

第1回測定から深度 63m 付近に湧水箇所を推定する。111m 付近はいつ水箇所と考えることも可能である。なお、第2回は孔内湧水多量のため、検層結果から湧水およびいつ水の箇所の推定は困難である。

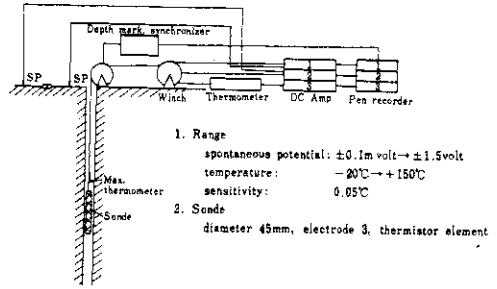


Fig. 13. Schematic diagram of temperature logging and measurement of temperature at bottom of bore hole.

Table 5. Temperature gradient of temperature logging.

1st Measurement		2nd Measurement	
Depth interval	Temperature grad.	Depth interval	Temperature grad.
42~ 63m	1.25°C/100m	42~ 85 m	0.59°C/100 m
63~100	0.83	85~110	1.38
100~115	6.57	110~160	1.25
115~142	1.92	160~200	0.54

Point of inflection : 63, 101.4, 106, 111.4 m (from 1st measurement)

2.8 孔底温度測定

測定はサーミスターと最高温度計で行なった。地震のためあまり長時間の測定はできなかったが、放置しても温度は上昇していない。観測法と結果などを Fig. 14 と Table 6 に示す。

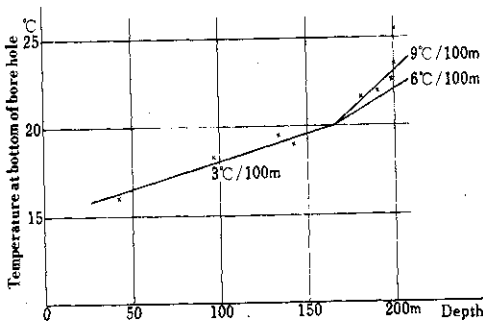


Fig. 14. Depth-temperature curve.

地中の温度分布は試錐のためある程度変わることはさげられない。特に、循環水や孔内の湧水・いつ水の影響は無視できないが、その補正も困難である。したがって、誤差を含んではいるが、測定値から地下増温率の推定を試みる。試錐孔口 SW10m, 高度差 -2m の所に 5~7月の間、水温のほとんど変わらない水 (16.0~16.5°C) が 50 l/min 程度出ている。(ただし、1921~1950年の統計によると、長野の月別平均気温は5月 14.8°C, 6月 19.3°C, 7月 23.8°Cである。) 一方、深度 42m の孔底温度も 16.0°C である。なお、この時孔内に送水した水は 16°C で 80 l/min を 2時間おくり、その後ケーシングをそう入した。ゆえに、地温は著しく乱されていない。これらのことを考慮し、また高めに推定しないため、年間変化のないと考えられる基準面を深さ 20m で 16.5°C と仮定し、増温率を算定すると Table 7 の(1)のごとくなる。なお、Table 5 の温度検層より得た深度区間ごとの温度こう配は、局所の影響を強く受けているから、地下増温率の推定にそのままは用い

Table 6. Measurement of Temperature at bottom of bore hole.

Depth	Date	Condition	Temperature at bottom of bore hole	Temperature of spring water of bore hole
42m	May 28	to 23 h drilling and casing installation from 0 m to 42 m		
	May 29	from 23 h 30 m measuring to 7 h	16.0° C ~16.0° C	
	May 30			18° C
99	May 31	to 20 h drilling		
	June 1	from 20 h to 8 h measuring	17.0° C	16° C
96.8	June 3	to 16 h		17° C
	June 4			
	June 5	measuring	18.7° C ~18.3° C	
142	June 8		19.2° C	
	June 12	measuring		18° C 14 h 17.5° C
	June 13			18.5° C
	June 14			18.0° C
181.2	June 15	to 18 h drilling from 18 h	21.6° C ~	8 h 20° C 10 h 19° C 18 h 18.5° C
	June 16	to 8 h measuring	21.0° C	8 h 19.5° C 16 h 20.5° C
	June 17			8 h 20.5° C
191	June 18	to 18 h drilling from 18 h	22.2° C	8 h 20.5° C
	June 19	to 8 h measuring	~22.0° C	8 h 20.5° C 20 h 22.0° C
197.8	June 20	to 20 h drilling		
	June 28 July 1	another measuring and geophysical logging measuring	22.6° C ~22.6° C	21.8° C 270 l/min
200	July 6 July 7	Pouring of mortar and cutting of cement repeatedly for stopping spring water to 23 h expanding bore hole (180~200m) with underreamer		
	July 8	from 23 h to 6 h measuring	25.5° C	
	July 9	to 2 h 30m measuring	~25.5° C	

Table 7. Geothermal gradient computed by temperature at bottom of bore hole.

Date	June 5	June 6	June 16	June 19	July 1	July 7	July 9	
Depth m	96.8	142	181.2	191	197.8	200	200	134*
Value °C	18.3	19.0	21.6	22.0	22.6	23.5	25.5	19.5
Geothermal grad. (1)	2.3	2.0	3.1	3.2	3.4	3.9	5.0	3.6 2.0**
°C/100m(2)			6.7	6.1	6.5	8.0	12.0	
(3)			9.9	7.7	7.9	10.0	15.7	
(4)			6.8	5.8	6.4	8.9	14.3	

*By temperature logging.

** Computed from temperatures at depths of 42 m and 134 m in temperature logging.

られない。Table 7の*と**の値は地下湧水の影響を強く受けているが、ほぼ湧水箇所測定しているため、付近の広い区域の代表値とみることできる。したがって、増温率を3.4~3.9℃/100mと考えてもよい。また***の値はセメンチングの影響があると思われるが、モルタル注入のたびごとに掘りなおしているため、5℃/100mという値は一概に正しくないとはいえない。

次にTable 7の(1)からわかることは、皆神山溶岩中の温度こう配は2.0~2.3℃/100mと低いことである。深度42mの地温を16.0℃ととっても3℃/100mである。これに比べると別所層の温度こう配は高い。今必要なのは松代盆地基盤の温度こう配である。その推定は距離が短いため誤差が大きいが、今150mの地温を19.5℃とするとTable 7の(2)、165mの地温を20.0℃とするとTable 7の(3)、20.5℃とすると(4)のごとき値を得る。Fig. 14上でこう配を求めてみると、6~9℃/100mとなる。なお、加賀井付近で行なわれた深度500mの温泉試錐の下部300mほど(ひん岩中)の温度こう配は約6℃/100mであった。以上から、皆神山溶岩中の温度こう配は100m当り2~3℃、別所層内は100m当たり6℃程度が適当と思われる。なお、当地はフォッサマグナ帯に入るため、地殻熱流量も日本では大きい所で異常な値ではないと考えられる。なお、地熱地帯ではこの数倍の増温率をもつので、深さ200mまでの値でみるかぎり、比較的地下浅部に地熱源や、高熱部があるとは思われない。

2.9 孔曲り測定

トロバリ測定器を用いて試錐孔の孔曲りを測定した。測定は、ロック・ピンですえ付けた状態で読み、記録は別にチェックされる。測定結果は

Table 8のとおりである。傾斜は皆神山溶岩の集塊岩質の多い部分で生じている。最終孔底での傾斜は、観測装置の許容限度(5°)内におさえた。

2.10 標準貫入試験

試錐孔口東7mの位置で標準貫入試験を行なった。結果は次のとおりである。

5 m位置	N=29	ただし、アダ打ち
		4.85 ~ 5.30 m
10 m	N=39	9.85 ~ 10.30 m
20 m	N=50	

2.11 孔内湧水組成

深度199mより水が湧出し、これにケン粒くらいのあわが含まれている。地質調査所で採取し、分析されたので結果をTable 9に示す。この組成はいわゆる松代温泉系ではないことを示している。なお、検層により得られた孔内水抵抗からCl⁻を求めると350 ppm程度となる。

Table 8. Deviation of drill hole.

Depth	Azimuth	Drift
20 m	-	- 90°
40	-	- 89°
60	N 15° E	- 87°
80	N 7° E	- 86°
100	N 3° E	- 86°
120	N 12° E	- 86°
140	N 11° E	- 86°
160	N 7° E	- 86°
180	N 7° E	- 86°
200	N 11° E	- 86°

Table 9. Chemical composition of water from 199-m depth in bore hole.

1) Bubble (cc/l)							
Ar	O ₂	N ₂	CH ₄				
0.31	0.18	12.89	0.0				
2) Water (mg/l)							
temp.	pH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	total Fe
22.0℃	7.7	206.8	238	55.9	44.5	2.9	0.06
		KMnO ₄ const.	free CO ₂				
		61.3	7.9				

Analyst: S. NAGATA, T. MURATA (Geological Survey of Japan, 1966)

3. 結 論

試錐調査により次のことがわかった。

1.1 皆神山は昭和新山型ではなく、溶岩が流出してできた円頂丘で、その基底は150mの深度にある。

1.2 皆神山溶岩の下には、湖底性の半固結の堆積層があることがわかり、皆神山初期の噴出物と思われるものを含む。新第3系の岩石の円れきを含むが、奇妙山などの新しい火山のれきは見あたらない。

1.3 松代盆地の基盤は165mよりあらわれ、別所層よりなり、大日堂付近に関するかぎり石英閃緑岩はない。別所層には割れ目が多く、硫化鉱物はいたいし、特に黒色けつ岩の割れ目には細脈をなして存在する。割れ目の多いことも鉱染の度合も盆地周囲で観察されるものより激しく思われ、盆地基盤に地質時代以来、後火山作用(熱水作用を含めて)や破碎作用をくり返し受けていると思われる。

2. 孔内諸測定により

2.1 地表近くの鉛直方向の弾性波速度は、皆神山溶岩が3.1km/s、別所層が4.1km/sである。

2.2 地中で震度Ⅲの鳴動を収録した。

2.3 広帯域精密電気検層と地中電位測定は、深部電気探査の解析精度の向上に役立つ測定ができた。そして表層付近では地中電位が理論どおりの

分布を示さないが深部の探査にはさしつかえないことも確認された。

また、大日堂付近の地下は、深度200mまでに知られていると同様の地層は孔口の下450m程度まで分布し、その下部は高抵抗の岩石となること、皆神山溶岩が、大日堂南西では急激にさきぼそりになってなくなっていることもわかった。

2.4 地電流の観測から、地震にあるいは関係あるかもしれない波形を得たので、今後検討をさらに進める。

2.5 温度検層と孔底温度測定から、皆神山溶岩中の地下増温率は2~3°C/100m、別所層中のそれは6°C/100m程度との推定をえた。後者の値で地下2kmの地温を推定すると約140°Cとなる。なお、9°C/100mとすれば約200°Cとなる。

2.6 孔曲り測定により、観測装置の許容限界内に掘削できたことがわかった。

2.7 孔内水から、深度199mの湧水が松代温泉系でないことがわかった。

参 考 文 献

- 1) 森本良平ら(1966):松代群発地震地域とその周辺地方の地質。震研彙報, 44, 423 - 425.
- 2) 沢村孝之助・垣見俊弘(1967):松代群発地震地域をさぐる。地質ニュース, 46, 1 - 11.