

試錐調査・観測

高橋 博

松代群発地震 が第1活動期のピークに達したころ 防災センターでも緊急の総合研究を組織する検討をはじめたところ 地震が浅いことから近年UMPの刺激でボーリングをみずからの研究手段と考えはじめた地球物理学関係から 震源にとどくボーリングを掘ってほしいとの要望がでた。 当時すでに気象庁 震研 国土地理院等では観測・測定に入っていたので さらに予算をとって行なう必要のあるのは 水準測量の繰返しを除けば 群発地震の発生している所の実体を知るための地下構造調査であった。 そこで ボーリング調査は 地質・地球物理の両方の側からの希望を最大限にみたま観測調査となったため 防災センターみずから行なうこととなった。 ボーリングの深さについては 計画当時 火山性の地震ではないかといわれはじめた時で 地下数 kmの温度の推定ができず 掘進の可能性の問題もあり 加えて予算の関係もあることから 深部ボーリングの可能性も調べる パイロット ボーリングとして200 mとなった。 次に掘る位置については 計画当時 松代震源域しか知られてなく その中央に位する皆神山の成因に議論があったため そのふもとで行なう希望があり 深部電気探査の測線にもできるだけ近づく必要から 皆神山北西の山ろく 大日堂付近で行なうこととした。 昨年2～3月 地質調査所で行なった重力調査の結果 浅いボーリングとしては適していると思われ 4月早々予算がついたのち 現地関係者と相談したところ 地主と氏子の皆さんの好意により 同地で 直ちに着手できることとなった。

5月上旬から準備をはじめ 掘進は5月20日に始め 種

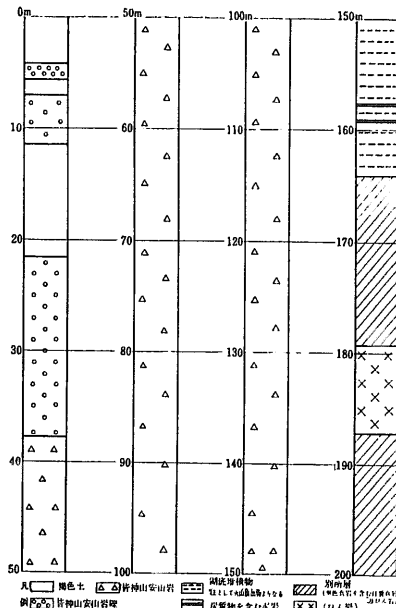


図1 ボーリング柱状概念図

種の検層・観測による度々の中絶と 地震による崩落による再掘さくなどあったが 予定深度の200 mに 6月19日に達し 最後の諸観測・検層をおえて 連続観測プローブの挿入設置を7月9日に終え 7月中旬には観測井としての仕上げ工事を全部おえた、

ボーリングにより明らかとなった地質層序を図1に示す。 調査前 皆神山の成因については2つの考えがあった。 すなわち1つは昭和新山のようにあの太さで貫入してできたとする説と 溶岩の噴出によりできたドームであるとする説である。 結果は後者であったが その基底の深さは150 mと予想外に深く 伝えられているほど皆神山が新しい山か疑問がいだかれる。 溶岩は安山岩で 酸化して赤褐色を呈し 地表近くと基底近くは水で脱色し 灰褐色を呈する。 なお 100m付近では青灰色の新鮮な色の部分もみられる。 溶岩流と集塊岩質のものとの互層で 一般にガス穴が多く 流れた構造

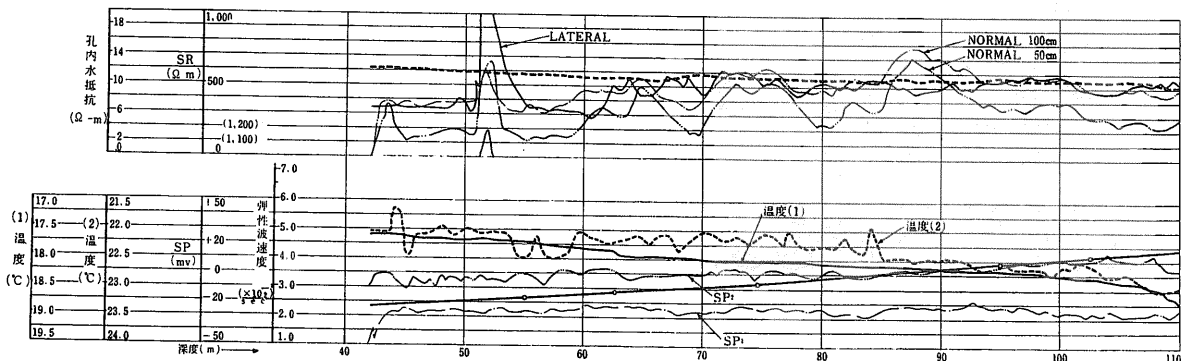


図2 電気検層図

のみられる所も少なくない。皆神山の溶岩の下には湖底堆積層が10数m存在することのわかったことも新しい資料である。岩質はやや暗青灰色の細砂ないし粘土質の堆積物で含水量が多く地表では どんどん脱水して小さな板状のヒビが多数入り 崩壊する。この堆積物の特色は皆神山の初期の噴出物かと思われる やや軽石質の火山礫や薄い溶岩かと思われるものを しばしば多量に含むことと 粘土質の部分には 植物の小破片をはさんでいることである。深さ164m以下は 別所層であった。松代盆地の基盤は第三紀層か石英閃緑岩か種々推察されていた。皆神山西麓に関するかぎり別所層を上下にわけて その上部であることがわかった。

ただし 松代市街地の下部や皆神山の北・東側の下部については 地質情況は同じではないかもしれない。ボーリング・コアによると 地質は主として黒色頁岩よりなるが 1部は灰白色の珪質頁岩であり また緑色の火成岩脈によってしばしばつらぬかれている。特色としては 硫化鉱物の鉱染が著しく 付近に露出している別所層よりも その度合が著しいと感ぜられる。鉱染の状況は 黒色頁岩においてもっとも著しく この頁岩には割れ目が非常に多いのであるが その割れ目の面にびっしり硫化鉱物の沈積がみられる。珪質頁岩や火成岩脈中には このような鉱脈状の産出はなく 硫化鉱物が一面に散在している。鉱物は 大部分黄鉄鉱であるが一部に銅鉛 亜鉛の硫化鉱物も観察された。なお 鉱染は 第三紀層中のみ観察され その上の地層にはみられないことから 鉱化作用をこうむったのは 湖底堆積物の形成前 おそらく 中新世末期かそれよりも余りはなれていない時代ではなからうかと思われる。

地球物理的観測や 検層もこの程度の深さのボーリングとしては 多数行なわれた。実は以下にのべるもののほかにも行ないたいものもあったが 技術的理由や優先度から除かれた。

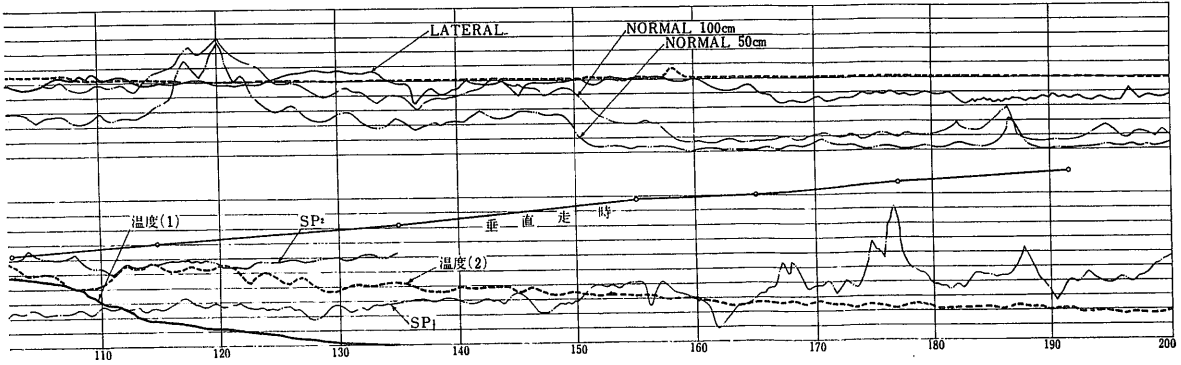
深度別地震観測 従来から 深さによって地震動がどのように変化するかを調査する必要が強調されていた

これは掘り上った井戸では行なえないため なされていなかったの で 今回 はじめて観測した。深さ4 7.5 15 30 40mごとに その深度に達すると掘進を止めて 夜間 半日づつ 地表と孔底に同じ地震計を置いて建築研究所表研究室で観測された。なお 200m掘り上ったのち 観測プローブ中の地震計と地表にこれと同一の3成分地震計および 浅い深度の観測に用いた地震計により比較観測を8月以来4回ほど表研究室と防災センターで交互に行なった。結果は近く解析を終り 発表できる予定である。

地表付近の地震波速度を知るためウェルシューティングも行なわれた。その結果 皆神山溶岩の垂直方向の弾性波(P波)伝播速度は3.1km/s 第三紀層は4.1km/sの値をえ コアによる試験結果ともよく合う値を得た。なお 地震観測所坑内でも ダムの基盤調査に横坑を用いて行なう方法によって速度測定をした。その結果 別所層の黒色頁岩は3.4km/s 珪岩は3.8km/s 以上の値を得た。これらの結果は 地震観測所で 浅い所の地震波速度の観測に活用された

鳴動録音 NHKの申し込みにより 地中での鳴動音の収集を行なった 今回の松代地震では 震源が浅い関係から 発破音によく似た鳴動がきかれる。地中の鳴動はまだどこでも収集されたことがないので 30mの深さで収録した。さいわい 震度Ⅲの音をひろうことができた。おそらく 世界でもはじめてのことで イタリア賞参加作品「松代地震」の中におさめられ あの無気味な音を放送でおききになられた方も多いと思うが 国際的に紹介された。

広帯域精密電気検層 通常の地質や水についての判定のほかに 深部電気探査の解析資料とするために 地中における岩石の比抵抗の絶対値に近い値を得るべく 測定を行なった。広い帯域については はかれる必要があると思ったのは 当初 粘土質や鉱染した地層から かなり新鮮な火成岩に至るまでが でてくる可能性を強



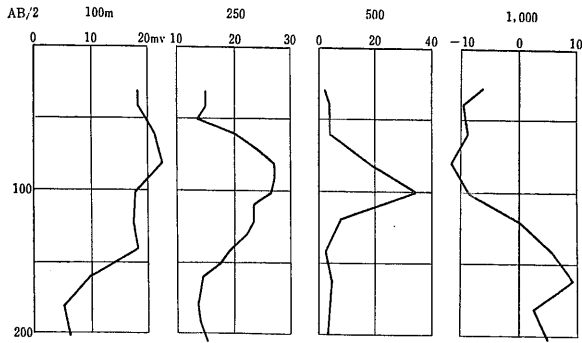


図3 試錐孔内の電位分布(ただしこれはB極を正としたときの電位分布である)

く感じたからである 結果は図2の通りで 平均的にみれば おおよそ 皆神山溶岩が300Ωm 湖底堆積物90—100Ωm別所層80—90Ωm である。SPの値は溶岩中では変動が少なく 別所層中では やや大きい

地中電位測定と称したものは ボーリング孔上で深部電気探査 (AB/2=100~1,000m)を行ない その際の地下における電位分布を実際に測定し 地下構造による電流分布を理論値と比較し 深部電気探査の解析に役立て あわせて 皆神山付近の地下構造の解析も行なおうとするものであった。結果は3図に示した。これにより当然のことながら 皆神溶岩流が 地中で尖滅していることも推定された。

地電流観測 地震と地電流の関係を観察し あわせて付近の大極的な地下構造の把握に用い 万一 地中に比較的大きな物理的異常(たとえばマグマ溜)などあった場合 その推察に役立てようとするものであった。地上水平2測線のほかボーリング孔中に上下1測線とり 完全な地電流の方向が立体的に把握できるように試みた。3回の予備観測のほか 松代荘付近にも 水平2測線を

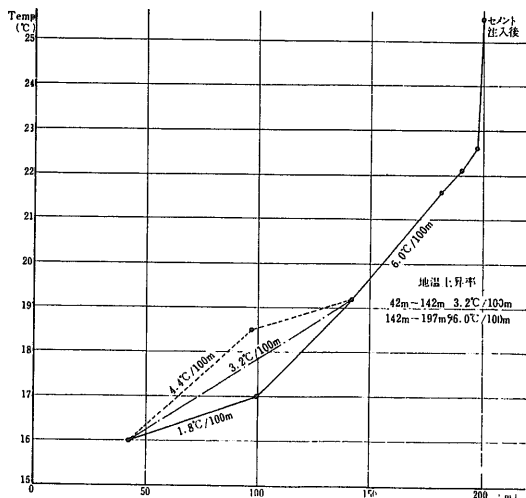


図5 孔底温度観測

型	波形およびその種類・特長	周期	振幅 mv/km	方向	伏角 (Z)	振幅比 F/B	水中ベクトル
TCA	sin	4~6 %	0.1~0.4	①③ 76°			EB
TCB	sin	0.5~0.7 %	5.0	①③ 80°			EB
IS%	tria	0.05~0.1 sec	1.0~150B	②1r-30° F① 15°~45°	0~20° 10°	0.75	EB, EF
SPI	SP	0.5~1.0 sec	0.0~6.0	B②④ 40°~60° F②④ 10°~50°	30~70°	0.90	EB, EF
SPg1	SP	20~400 sec 1~4 min	20~180 10~30	(2)④ 45°~65° (4)② 45°~65°	30° -50°	0.2	EB, EF
SPg2	SP	20~100 sec 1~2 min	50~100 5~10	(1)③ 10~45° (2)④ 30~70°	30° -45°	0.1	EB, EF
Tr	F(NS) F(EW)	20~200 sec	30 10 60 20 6~5 10~7	(1)④ 80° (1) 40° (1) 50°	-15° -20°	0.2~0.5	EB, EF
SQ		20~80 sec	150	③ 30°			EF

図4 地電流観測結果注 B: 観測井(3成分) F: 松代荘(水平2成分)

とって 両者で同時観測を行なった。多種多様な波形がたくさんとれ とりあえず整理したものが図4である。スパイク群波の中に (Spg) 地震活動と相関の高いものがあり 今後の観測により 確かめたい。松代荘付近とボーリング地点の地下構造の大きな比較も試みた

温度検層と孔底温度測定 深部ボーリングを行なうために その結果が期待されていたものである。孔底温度の測定結果を図5に示す。皆神山溶岩と湖底堆積層の間の温度の上り方は低いが 第三紀層に入ると増温率が大きくなる。結局 100m当り5℃かそれ以上 10℃位かもしれないという予想である。付近の温泉ボーリングの結果も 100 m当り6℃といわれており おかしな値ではない。この地区で結局 2,000 m程度のボーリングを行なう場合温度は 150~250°C 位で 十分経験あるものなら掘ることは可能であり また 観測装置も一応耐えられる見込みがたった

このほか 孔曲りは表1のごとくで また 湧逸水個所は表2の通りである。深度 199 mからの湧水中にわずかに存在するガスの分析値(化学課)は N₂ が大部分であり 空気起源のものと考えられ 当地に多い火山性ガスではなかった。なお 表層近くでは土質試験も行なった

調査後は観測井としてしあげられた その模式的断面を図6に示す 観測井としての観測項目についても多種類の要望があり 経費の限界があったが 可能なかぎり最大限生かそうと努めたが 観測条件がたがいにむじゅんしそれを生かすためには 相当経費を要するので重要ではあるが がまんしていただいたものが幾つかある。

表1 穴 曲 り 測 定

深 度 (m)	方 位	傾 斜
20	—	-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°

表2 湧 逸 水 個 所

深 度 (m)	量
63	湧 水 30 l/min
111	逸 水 . .
199	湧 水 250 l/min

地震計 (上下・南北・東西) についてはすでにのべたが現在は 地上上下動一成分と共に 24時間連続観測に入った。なお 地中 200m で地震の連続観測はわが国でもはじめてである

ひずみ計 (上下 東西 南北) 地質調査所の希望で入れられたものであるが その結果は別に報告が出されると思うが 松大地震の第3活動期に応じた記録がえられていると思う。ただし 南北成分が収縮しているのでジオジメーターの観測とは逆となるが 観測井付近は 第3活動期の特色である あの大規模な地割れがまったくみられないことから 一概におかしいとみなすことはできない。なお 現在センサーは収縮量が著しく 定量測定可能な比例限界を完全にこしてしまった。

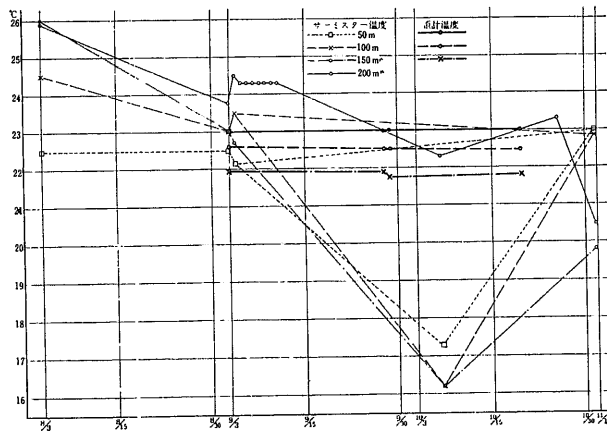


図6 孔 井 温 度 観 測

温度計 震地研究所との協同で サーミスターを 200 150 100 50mにもうけた 200mの値は設置後は 26°の値を示したが その後 下降し 現在は24°位である。これは セメントの発熱の影響があると思うが そのほかつづいてのべる 地下水異変の影響もうけているかもしれない。 150~50mの間の各点は 埋没した頃は上下の差がみられたが 8月に入ってから 各点とも ほぼ22~23の値を示し 疑問に思っていた所 9月に入り皆神山付近も 例の皆神山北側の大規模な 地変異変による大量の湧水が発生し それとともに ほぼ 3点とも17° 前後の値となった。不幸にして 連続観測が出来ていないため 湧水の発生と 地中地温の下降といずれがさきにあったかはつかめていない。

傾斜計 (東西 南北) 地震研究所笠原研究室の依頼で入れたもので 測定結果は直接 同研究室に送られている。

地 電 流 当地は商用電流の混入が 上下成分についてまで著しいことと 電氣的に地面と絶縁をすることなどのため 測定機の改修等に手まどったため まだ報告できる状態にない。

(筆者は元所員 現国立防災科学技術センター)

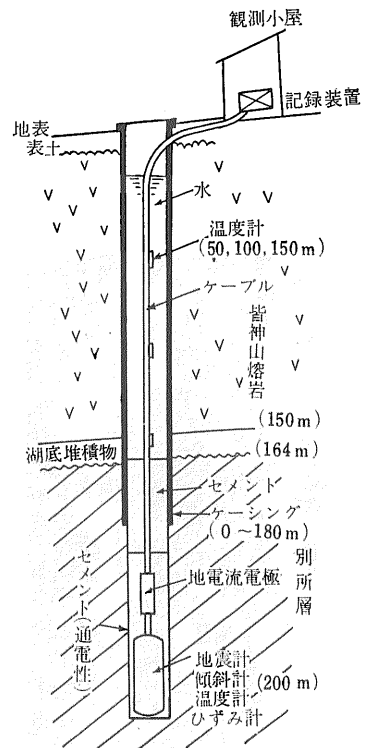


図7 観 測 井 断 面 図