

試錐内観測装置

高橋末雄・高橋 博・鈴木宏芳

国立防災科学技術センター

Observation System for Boring Bottom

By

M. TAKAHASHI, H. TAKAHASHI and H. SUZUKI

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

For making clear the underground structure, test boring of 200-m depth and 10-cm diameter was conducted at the northwest foot of a hill named Minakamiyama, Matsushiro-machi, and in the course of the boring various kinds of observations were done for detection of the layer characteristics. On 9 July 1967 when the detection work had been completed, as a part of the observation equipment to be installed inside the test boring hole the detector part was buried in the bottom ground of the boring hole. Items of observations of this part are : temperature, strain, earthquake motion, inclination, and earth current.

These observations had two purposes, namely one was to measure these physical quantities related to the Matsushiro earthquake and obtain the materials for making clear the underground structure, and another to obtain basic data for the expected improvement of SN ratio of seismographs etc. and also for a plan designed to install the observing equipment of ground motion, buried in the ground.

In the present report the performance of observational equipment, the method of instalment, and the circumstances thereafter are described, and reporting of the analyses of obtained results will be made in the next volume.

1. 観測の目的

長野県松代町皆神山北西の麓、大日堂境内で行なわれた、深さ200mの観測井における継続観測の目的は、次の2点であった。

その一つは、松代地震の震源域の中心である皆神山麓地中の地震動観測、およびそれに関連したひずみ、温度、傾斜、地電流などの資料を得る

ことにより、松代地震の解明のための有力な資料を得ることである。

他の一つは、将来、海底および地中などに、地震計等の設置が予想され、さらに深さ数kmの深層試錐の計画があって、その孔内にも各種の測器が設置されようとしているので、それらのための設置法、経年変化、実験室内では予期しえない条

件による影響等を調査することであった。

これらはいずれも将来貴重な資料となるものであろう。なお、得られた資料、およびその解析については次の機会に述べるとして、今回は本装置の概要と設置状況についてのみ記す。

2. 観測装置の構成

この装置は、検出部、記録装置部およびケーブルからなり、検出部は孔底に設置するもので、直径76 mm、長さ4.3 mの黄銅製の一本の筒と鉛電極からなり、記録装置部はボーリング地点から5 mほど離れた7m²のブロック建測定室に収められている。検出部と記録装置部は長さ約210 mの鉄線鎧装の20対信号ケーブルにより連結されている。

それらの構成は表-1のとおりである。

このほかNHK長野放送局からも検出部付近にマイクロホンを設置し、地動音や岩石の破壊音等



写真-2 観測装置検出部
Detector of observation system.



写真-1 観測井地表孔
Exit of cable.



写真-3 観測井測定室
Measuring lodge.

表-1 試錐内観測装置構成表
Construction of the observation system for boring bottom.

項	目	成 分	備 考
検 出 部	ひずみ・温度計	上下・東西・南北	カールソン型 20mm (直径) × 100mm (長さ)
	地震計	"	動コイル加速度型 64mm (直径) × 540mm (長さ)
	サーミスタ	深さ50mおきに4本	0 ~ 50℃用
	地電流用電極	上下成分用1対	鉛 製 70mm (直径) × 1000mm (長さ)
	傾 斜 計	東西, 南北	差動トランス振子型
記 録 装 置	ひずみ・温度・地電流記録装置 地震計記録装置 サーミスタ記録装置 傾斜計記録装置	入力調整器, 増幅器, 打点記録計 前置増幅器, 主増幅器, ペン書き記録計 入力調整器, 高感度ペン書き記録計 増幅器, 高感度ペン書き記録計	

項	目	成 分	備 考
付	水晶時計	精工舎製 QC-951 型	
	J.J.Y.受信機	トリオ全波受信機 9R-59 型	
属	信号用鎧装ケーブル	210m 20対 0.3mm ² 鉄線鎧装ビニール防食	
	端子箱	30対用防湿型	
装	検 定 装 置	低周波発振器, 回路試験器	
	調 整 工 具	一 般 用	
置	測 定 室	7m ² ブロック建, 地震計台つき	

を録音したいという要望があり、そのためのマイクロホンの改造をNHKで行なったのであるが、残念ながら設置に間に合わず断念することになった。余談ではあるが、地震音については本観測装置設置前に、この観測井を用いて、深さ30mのところマイクロンを設置し、孔内水中における地震音の録音に成功して、全国放送もされている。

3. 各部の概要

3.1 検出部

この部分は、孔径101mm、地表から200mの深さの観測井孔底にセメントで固定されている。大きさは、直径76mm、長さ4,292mm、重さは約80kgである。構造は図-1のとおりである。

4.3mの内部に前表検出部の測器が納められているのであるが、輸送のためにひずみ計部、傾斜計部、地震計部、端子部等に分解できる。これらの接合部は水密度を高めるため、オーリングを2重にほどしてあり、検出部自体もガラスウールテープを巻きつけた上にエポキシ系樹脂を塗付する作業を交互に2回施している。このため筐体の外径76mmが80mmとなった。この結果、設置後6カ月経過した現在まで地震計、傾斜計については、水密の点で異常はないが、ひずみ計については絶縁が低下してしまった。この状況はひずみ計部で述べる。

観測井孔底で、N11°E方向に約4度の傾斜が孔曲り測定により確認されている。また検出部自体の設置方向の確認も、解析上必要であるので、方位設定器が取り付けられていて、ひずみ計、地震計、傾斜計は既定の方向に設置できる構造となっている。

3.1.1 ひずみ・温度計

孔底のひずみ・温度を電気抵抗の変化に変換させる感部である。ひずみは2本の抵抗線を用い、その抵抗比の変化により求め、温度は抵抗値の変化により求める、いわゆるカールソン型といわれ

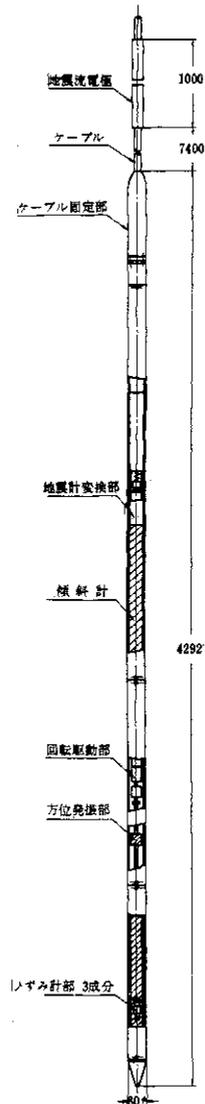


図-1 試錐内観測装置検出部
Detector of observation system.

ているものである。共和電業製CS-10FM 2型で、直径20mm、計器長100mmのもの3本が検出管体にとりつけられ、セメントモルタルにより受ひずみ面が孔壁に固定されるようになっている。

ひずみ計は上下1成分、および鉛直線と30°の角度をもち、水平面の投影では互いに直角な2成分（東西、南北）、合計3成分が内蔵されている。最大せん断ひずみの方向や値は、孔径が計器長より小さいこと、埋設成分数および設置方向が限定されたため求められない。今後は計器の改良も含め、考慮する必要がある。この型によるひずみ測定範囲は、引張りに対し $1,000 \times 10^{-6}$ まで、圧縮に対し 500×10^{-6} となっており、埋設前にはこの範囲であれば、かなりの期間使用できると考えていたのであるが、埋設後1カ月以内にこの測定範囲を3倍近く越えたものがあった。これは、測器の性能から、実際にひずみ加わったとするよりも絶縁低下などによるものと考えた方がよいと思われる。今回のひずみ計は、同型のものについて検出部に組み込み前に水中で20気圧の耐圧試験を行なったのであるが、試験本数3本のうち3本とも水密度の点で使用不能となったので、その結果を参考にして改造し、実験室テストでは異状はなかった。しかし、設置後やはり1か月程度で相当な絶縁低下を起こし、観測値自体に問題を与えたことは残念であった。通常絶縁抵抗は10MΩ以上が望ましいのであるが、南北成分が1MΩ、他の2成分は数10kΩとなっている。これは、この計器を検出部管体に組み込むため、信号出力線の結合部に若干の改造を加えたことが原因と考えられるが、以後埋設の場合には大きさ、形状、測定範囲、絶縁度低下防止方法等について、大いに改善の必要がある。

3.1.2 地震計

地震動により重錘にとりつけたコイルが、磁石間げき内で運動し、磁束を切るときに発生する電流を取り出すいわゆる動コイル型加速度地震計である。上下、東西、南北の3成分が組み込まれている。この変換器の定数は

	固有周期	減衰定数	出力	コイル抵抗
上下動	48 c/s	0.5	20μV/gal	2.58 kΩ
東西動	50	0.5	16	1.83
南北動	51	0.5	10	1.00

となっている。固有周期の高いのは、本装置製作中には、試験底の傾斜が不明なため、安全度を見

込んだことが大きな理由であった。この地震計には、試験用として検出コイルと別に検定コイルが取り付けられており、このコイルに既知の電圧を与えて、重錘を振らせ、動作試験ができ、経年変化を調べるため少しでも役立つようになっている。なお、固有周期と松代の地震動周期との関係で、記録する前に積分特性を与えることにより、加速度計として使用する計画であった。地震計検出部の測定範囲は200ガルまでである。設置以来現在まで、設置状況による特性の変化については認められない。

固有周期が高く、出力が小さいため、増幅器のSN比の点で、とくに積分特性を付加しペン書き記録させる場合に問題がある。大きさおよび電圧感度の点から固有周期は10%程度のものを使いやすいように思われる。

3.1.3 方位設定器

これは南北成分のひずみ計を南北方向に一致させるための装置であって、方位発振器、方位設定駆動器よりなる。

方位発振器は、ひずみ計が固定してある軸に連結した磁気コンパスと、光源および光伝導素子による検出器より構成されている。

方位設定駆動器は、ひずみ計の取付軸を小型交流2相サーボモーターにより回転せしめるものである。駆動器によりひずみ計が回転して南北成分が所定の位置になった時、光源がコンパスの北にある穴を通して、対向する位置に取り付けられた光伝導素子を照らし、出力を生じる。

この出力が最大となるよう、サーボモーターを回転させて方位を設定する。またひずみ計の回転した角度を確認し他の測器の設定位置を知るため、小型の低トルクの電位差計も取り付けられている。

3.1.4 地電流電極

電極は、鉛直成分観測用のため、孔底と地表に設置されている。

孔底の電極は、本装置検出部と信号ケーブルの連結部より上方7.5m（地表より187.5m）の位置に、長さ1mの鉛管をケーブルの外周に固定してある。鉛管からの出力はシールド線を用い、一度7.5m下の検出部にもうけられた、検出部管体とは絶縁された端子をへて、検出部内の端子部へ導かれ、210mの信号ケーブルを通じて地上へ送られる。この鉛管電極は、地表から180mまでの鉄ケーシングと、検出部の黄銅管体からの絶縁を

考えて、兩者の中間位置に、電極付近岩盤との電導度を向上させるための特殊セメントを用いて固定した。地表電極は、孔底と同様なものを観測井孔口から2mの距離のところ、2mの深さに埋設してある。両電極を設置状態で、増幅器等に接続しない場合、入力抵抗2MΩの高感度記録計(EPR)で測定した両電極の電位差は、0.17V程度である。

実は、この地表の電極は2本目のものであって、1本目のものは炭素棒電極であった。大きさは孔底電極と同じであり、地表下1mのところ、炭素粉末とともに埋設したものであるが、この炭素棒と孔底電極との電位差は1.4V程度であった。すなわち、鉛電極と炭素電極の場合は1.4Vであったものが、炭素から鉛に変えたら0.17Vとなったわけである。当初夜間静穏時における地電流は50mV/km程度と考案計画をたてたが、観測もその程度であった。

地電流観測の目的は、まだ行なわれたことのない、鉛直方向に埋設された電極により、おもに日変化を調査すること、個々の地震および地震活動度と地電流の変化との関係を調査することを目的としている。

3.1.5 サーミスタ

サーミスタは、深さ別に4本埋設されており、各深さは50m、100m、150m、200mである。宝工業製の特注品で測定範囲は0~50℃のSB型である。200m用のものは、0℃で7.538kΩ、100℃で0.2418kΩの抵抗値を示す。

温度と電圧の関係を示す曲線は図-2のとおりである。これは入力調整器に接続したとき、その出力電圧と温度の関係を示す。これから見ると1mVの変化は2.5℃に相当する。

3.1.6 傾斜計

これは初めの計画にはなかったものであるが、東京大学地震研究所笠原研究室の要望により、いそぎ追加したものである。本体は地震研究所で試作したが、途中から追加されたものであるため、現地における検出部の最終組み立て、調整の際によりやく試作品が現地に届けられたが、すでに傾斜計付属の筐体に組み込まれており、内部の詳細

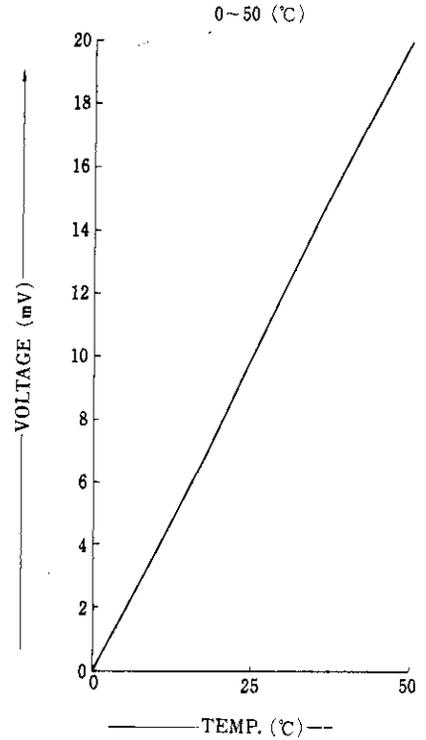


図-2 電圧・温度換算図
Temperature-voltage calibration curve.

については図面を見た程度で、あまり明らかでない。この傾斜計の性能および測定結果については、地震研究所からいづれ研究報告が発表されると思われるので、それらを見られたい。

3.1.7 検出部端子間の抵抗値変化について

各種検出部の構成回路間の抵抗値を測定してあるので、それらの状況を示したものが表-2である。この表で7月8日と24日の間に、抵抗値が全般的に減少しているが、これは鉄線鍍装ケーブルを約50m(往復で7Ω程度)切断したためである。なお、各検出部間および筐体との絶縁状況については、ひずみ計などでかなり悪化していて、これは先に述べたとおりである。

表-2 試錐内観測装置検出部の抵抗値変化
Change of resistance of the detector.

測定箇所	抵抗値 Ω				
	41.7.8	41.7.24	41.8.31	41.9.9	
ひずみ計	南北成分	32 70 110 70	26 62 100 61	26 62 100 61	26 62 100 61
	東西成分	32 70 110 70	26 61 100 62	26 61 100 62	26 61 100 61
	上下成分	32 70 110 70	26 62 99 61	26 62 100 61	26 62 100 61
	地震計	南北成分 東西成分 上下成分 検定コイル	3k 1.0k 2.8k 90	1.8k 1.0k 2.6k 74	1.8k 1.0k 2.6k 70
傾斜計	2°/s	37	30		
	東西成分	55	48		
	南北成分	55	48		
	リレー	330	290		
サーミスタ	200 m	2.4k	2.8k		
	150 m		2.75k		
	100 m		2.6k		
	50 m		2.6k		
電極		1.3k		1.5k	
備考		埋設直前	埋設後ケーブル50m切断時		

3.2 記録装置

3.2.1 ひずみ・温度・地電流装置

構成図は図-3のとおりである。

この装置は打点記録部を若干改造した6打点式富士電機製打点記録計を用いていて、4打点は、ひずみの南北、東西、上下、温度に使用している。残りの2打点は地電流上下成分および刻時である。

ひずみ・温度計部と地電流計部は上記打点記録器を使用しているが、それぞれの入力調整器は全く独立しているので、ここでは、ひずみ・温度計調整器と地電流計調整器に分けて述べる。

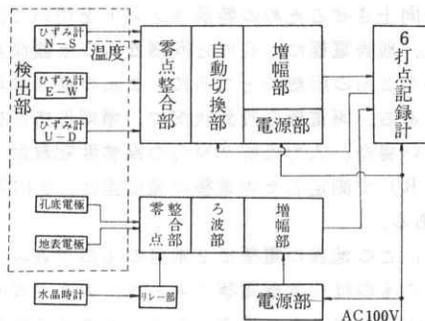


図-3 ひずみ・温度・地電流記録装置
Block diagram of the recorder of strain, temperature and earth current.



写真-4 傾斜計記録装置
Recorder of tiltmeter.

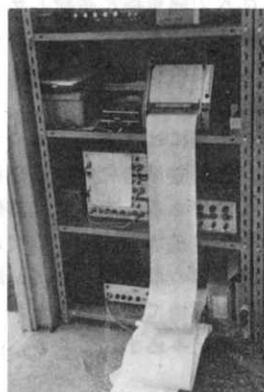


写真-5 地震計記録装置
Recorder of seismometer.

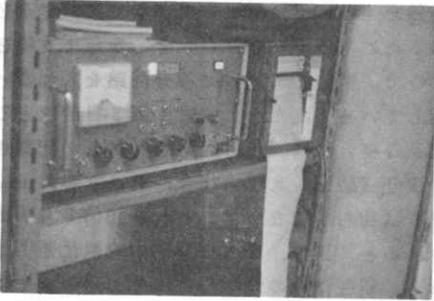


写真-6 ひずみ・温度の記録装置
Recorder of strain and temperature.

i) ひずみ・温度計調整器

これはひずみ計の自動記録用として設計製作されたものである。図-3のように零点整合部、自動切換部、増幅度部、電源部より構成されている。

零点整合部および自動切換部

打点記録部に接続されるカールソン型ひずみ計は、それぞれの抵抗比が任意の異なった値を示しているため、そのまま記録計に結線すると限られた記録紙幅の中に収録できないので、著しく増幅度を押えなければならない。また、各計器の零位置も記録紙上の任意の点に設定できない等の不便がある。本部は、ひずみ・温度の4成分について、あらかじめ一定の抵抗比に調整するもので、零点を統一することができる。このようにして4成分の出力は基準線からの変位で記録される。入力切換は通常は打点記録器からの信号により自動的に行なわれるが、つまみ切換えにより手動とすることもできる。

増幅度は検出部からの直流出力をチョッパにより、交流に変換して交流増幅を行ない、再び直流に変換して打点記録計に入れる。これは安定な増幅を行なうためである。温度については、ひずみ計3成分のうち1成分—この装置では、3成分とも絶縁度がかかなり悪化した、そのなかでは最もよい南北成分のひずみ計—の抵抗値を測定し、その変化を打点記録計の基準線からの変位で表わす。この装置の場合、記録紙1目盛(2mm)が0.5°Cに相当する程度であるから、われわれの目的とする精度にくらべてかなり悪いが、一応参考に測定を行なっている。

ii) 地電流調整器

1対の電極により得られる、電位差の変化を測

定するための調整器である。

入力は200mの孔底および地表に埋設した電極を、出力は6打点自動平衡形記録計に入れる。この地電流調整器は、増幅度部、ろ波器部および電源部より構成されている。おもな規格は次のとおりである。

入力インピーダンス	3 MΩ
記録計インピーダンス	200 Ω
測定周波数	0 ~ 30%
増幅度	20 dB
減衰器	0, 20, 40dBの3段
電源	AC 100 V, AVRつき

先に検出部のところで述べたとおり、電極間の定常電位0.2Vは、可変抵抗器により補正できるようにになっている。またDCバランス、零点位置調整もできる。

ろ波器部は、電源周波数等をカットするためのものであるが、30%に対し50%では70dB程度の減衰が得られる。この装置で、減衰器を0dBとした場合には、記録計のフルスケールは入力1mVに相当するようになっている。

これまでの地電流観測については、われわれは経験もなく、現在の観測装置にも問題点があるので、各機関の協力を得て、少しでも精度の高い観測ができるようにしていく予定である。

iii) 打点式記録計 (VDS-612)

本器は富士電機製の打点記録計であって、とくに一部を改造して自動切換信号の出力が得られるようになっている。

おもな仕様:

記録方式	打点式6点記録
打点識別色	紫, 黒, 赤, 茶, 緑, 青
打点間隔	120秒(同一色につき)
記録紙送り速度	20 mm/H (60 mm, 120 mm/Hにもできる)

記録紙幅	120 mm
記録紙長さ	25 m
駆動方式	シンクロナスマーター方式
電源	AC 100 V 50 ~ 60 %

測定範囲* (入力調整器と組み合せた場合のフルスケール: 100 mm)

ひずみ	較正係数 f (約 8×10^{-6}) $\times 100$
温度	20°C \pm 25°C
地電流	100 mV
精度	フルスケールの2%

* 測定範囲は減衰器の切換えにより変えられるが、現在使用状況における値を示す。

3.2.2 地震計記録装置 構成図を図-4に示す。

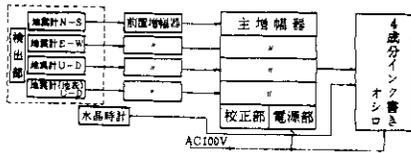


図-4 地震動記録装置
Block diagram of seismograph.

おもな仕様は次のとおりである。

前置増幅器

入力インピーダンス 1 k Ω 平衡
利得 40dB
周波数特性 0.5%~200% \pm 1dB
(つまみ切換えで積分特性をもたせることもできる)
電源 DC 6V

主増幅器とインク書きオシログラフ

入力インピーダンス 2 M Ω
周波数特性 DC~65% \pm 1dB
最大感度 入力1 mVに対し記録紙上1 mm
測定範囲 1 mV~100 V
電源 AC 100 V
エレメント数 4
記録最大振幅 \pm 20 mm
記録紙 幅200 mm \times 長87000 mm
記録紙送り速度 60 mm/min

刻時 水晶時計により毎分ごとに1秒間インク書きオシログラフの4成分のうち、3成分は孔底の加速度地震計、1成分は測定室内の地表地震計台上に設置した4%の上下動加速度地震計の記録が得られる。孔底の地震計3成分は固有周期が50%であるので、松代地震のように10~20%の地動に対し加速度記録を得るには、減衰定数を大きくできない場合、積分特性を加えるのであるが、現用の前置増幅器は積分回路を入れると、SN比が低下し、そのままテープ、電磁オシロに入れる場合はそれほど問題とならないが、インク書

き記録を得るには主増幅器でかなり増幅する必要があるため、零線の漂動が大きくなって支障をきたすので、暫定的に通常は積分回路を入れずに使用している。ただし、月に1回3日間ほどの磁気記録の場合には、積分回路を付加して記録させる。積分回路を入れない場合、紙送りが1 mm/minでは明らかでないが、これを10倍くらいに早送りすると、P波、S波の識別が容易になるようである。現在使用の増幅器は80dBの増幅度で使用している。

サーミスタ記録装置

サーミスタは深さ50 m, 100 m, 150 m, 200 mと4本埋設してあるが、200 mのものが鉄線巻装信号ケーブルを1対使用していて、他はこれに抱かせたビニール線を使用している。装置は入力調整器部、電源部、高感度記録計よりなる。入力調整器は、各サーミスタごとの補正器とブリッジ回路および切換スイッチを含む。切換スイッチは手動であって、連続観測は深さ200 mのものだけで、他の3本は月に2回程度当所職員が出張の際測定することになっている。電源部はAC 100 Vから、安定なDC 1.3 Vを、ブリッジ用電源として供給するものである。

入力調整器からの出力は高感度記録計に導かれ、ペン書き記録される。この記録計の規格は次のようになっている。

形名	横河製LER 12 A型
測定範囲	1 mV~100 V 16段切換
入力抵抗	1 Vにつき2 M Ω に相当
周波数特性	DC~1%
記録紙	250 mm \times 15 m (折りたたみ記録紙)
紙送り速度	毎分2 cm, 6 cm, 毎時2 cm, 6 cm, 20 cmの6段切換
零点調整	記録紙幅全域調整可能
使用電源	AC 100 V, 消費電力 13 VA
外型寸法・重量	

149 \times 420 \times 275 mm 12 kg

使用状況では記録紙上1 $^{\circ}$ Cが1 cmに相当する。当記録計による観測は本年2月からであって、それまでは、他研究機関から、大体同じ性能の記録計を借用して断続的に観測を行ってきた。

水晶時計 (精工舎製 QO-951-II型)

文字盤の直径20 cm, 外觀図は図-5のようのものである。

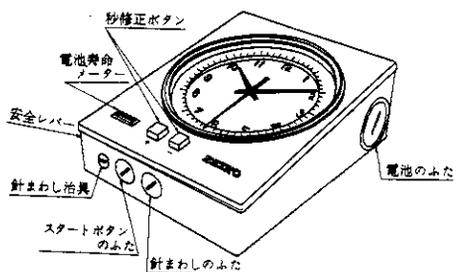


図-5 水晶時計
Crystal chronometer.

平均日差 ± 0.1 秒
平均日較差 0.05 秒
温度特性 (0 ~ 40°C) ± 0.2 秒/日
規格

接点	接点閉時間	接点精度	接点最大容量
毎時	5 秒 ± 0.2 秒	正秒 ± 0.1 秒	DC 24 V
毎分	1 秒 ± 0.1 秒	正秒 ± 0.1 秒	1 mA

電 源 単一 2 コ

3.3 信号用継装ケーブル

このケーブルは検出部と地表測定室間に使用しているもので、0.3 mm²、20対、鉄線鍍装ビニール防食ケーブルで、長さは210mである。その構造および電気的特性は表-3のとおりである。

表-3 信号用継装ケーブルの構造と電気的特性

Structure and electric characteristics of sheathing cables.

項	目	数	値	備 考
構	導 体 (軟銅より線)	公称断面積	0.3 mm ²	識別色 つき
		素線径	0.23 mm	
	素線数	7		
	対数	20		
心	絶 縁 体 (PE)	厚 さ	0.4 mm	自然色
		外 径	1.5 mm	
造	PVC引締テープ	厚 さ	0.25 mm	
	シ ー ス (PE)	厚 さ	2.5 mm	
	外 径	18.5 mm		
	ゴム引締帆布	厚 さ	0.5 mm	

項	目	数	値	備 考
構 造	亜鉛メッキ鉄線	外 径	2.9 mm	23本
	シース (PVC)	厚 さ	2.5 mm	黒
電 気 的 特 性	仕 上 概 算	外 径	31.3 mm	
		重 量	1975 kg/km	
	導 体 抵 抗		20°C 67.1Ω/km	
	試 験 電 圧		AC 1,000 V 1分間	
	絶 縁 抵 抗		1,000MΩ/km以上	
	静 電 容 量		60mF/km以下	

ケーブルの測器別使用対数は次のとおりである。

ひずみ計 2対×3成分 6 対
地震計 1対×3成分 3 対
サーミスタ 1対 1 対
傾斜計 4.5対
電 極 0.5対

方向設定器 (うち1対は地震計検定コイルと共用)

5 対

計 20 対

このケーブルは250mのものを木製巻わくに巻かれたままの状況で、現地において検出部を結合した。

ケーブルの問題点としては、

1. ケーブルは鉛直に200m (孔底15mはセメントで固定) たらすが、自重に耐えられる構造とするにはどうするか。
2. 途中の湧水による化学的変質による絶縁低下をいかに防ぐか
3. 地震による急激な引張、屈曲に耐えられるか

等であった。1)については、以て構造のケーブルを使用して、瀬戸内海で行なわれた地震計設置から心配のないことがわかった。この場合は深さ30mの海底から、さらに80m掘進したものである。松代の場合も検出部が孔底に達したときには、地表に出ているケーブルは観測井孔口から3mほど自立しているくらいで、自重による力は心配することはなかった。2)については、途中または孔底における湧水とも、飲用にしうる水 (16 ~ 23°C) であって、化学作用を考慮する必要はないことが、掘進により判明した。3)については、6か月以上経過した現在、ケーブルに全く異常が認められていないことから見て (この間に松代において、震度5の地震が1回、震度4が12回観測されている)

200 m くらいの深さであれば、特に心配のないことがわかった。ただし、地表から 180 m まで埋設されているケーシングパイプ（厚さ 2 mm の鉄パイプ）がどのように変形しているかは不明である。

このほか、設置作業の際や地表の埋設作業のとき、ケーブルを曲げる必要があるが、どの程度の曲率で曲げることができるかなども問題となった。これについては、初め半径 1 m くらいの円周に沿って曲げられるであろうと考えていたが、現実には、半径 30 cm の円周に沿って曲げられているが、何ら支障は起こっていない。このように考えると、将来数千 m の深さに測器を埋設した場合のケーブルとして最も考慮すべき点は、温度であろうと思われる。もっとも 200 °C 以下であれば問題はない。

3.4 測定室

測定室は観測井孔口から約 5 m 離れた地点に建てられていて、検出部からの信号ケーブルはこの室の端子箱につながれ、各記録装置と結ばれている。測定室の大きさは約 7 m² で、ブロック構造であって、内部には 1 m² の地震計台と記録装置用の設置ラック 2 台が置かれている。地震計台は、実験用に作ったもので地下 2 m、地表 0.3 m、縦横各 1 m のコンクリート方柱であって、その下は玉石で固められている。現在はこの台の上に、上下動加速度地震計を設置している。設置ラックには各棚ごとに、傾斜計記録装置、ひずみ・温度記録装置、地電流入力調整器、サーミスタ記録装置と J. J. Y. 受信機、地震計インク書きオンシログラフと水晶時計、地震計増幅器等が置かれている。記録紙の交換は、地震計が毎日 1 回、他は月に 1 回程度であって、無人観測であるが、記録紙の交換は近くの民間の人に委託して行っている。

観測井の地点は商用 100 V の末端から約 200 m 離れていたが、中部電力のご好意により電灯線延長工事をしていただいた。これらの装置による 1 カ月間の使用電力は約 110 kW である。なお、松代地区は 60% である。

3.5 検出部の設置

3.5.1 設置前の観測井

観測井は 1966 年 5 月 20 日から掘進を始め、1 カ月後の 6 月 19 日、深さ 200.30 m に達した。この時期では、地表から 43 m まで直径 112 mm の鉄ケーシングパイプがそう入されていたが、43 m 以深は素掘で、2 か所から湧水しており、孔口からの

湧水量は毎分 300 ℓ 程度であった。この量の大部分は深さ 198 m の所での湧水であって、この湧水を止めなければ、観測装置の検出部をこの位置にセメンティング不能となる。このため、まず 180 m まで 97 mm のケーシングパイプを挿入して孔壁を補強し、7 月 1 日から 180 ~ 200 m 間にセメントモルタルを圧入し、その固結を待って掘進するという方法で、湧水を止める作業に取りかかった。この方法を繰り返して湧水量を減少させ、3 回目で全く止水することに成功した。すなわち、第 1 回目は比重 1.7 のセメントモルタル 400 ℓ を圧入し、固結するまで圧力をかけておいてから掘進した。しかし、湧水量に変化はなかった。

第 2 回目には、まず砂を 45 ~ 50 ℓ 孔口より自然落下させ、その後比重 1.8 のセメントミルクを圧入し、30 kg/cm² の圧力を 24 時間持続せしめた後に掘進した。結果は良好で、湧水量は 17 ℓ/分に減少した。

第 3 回目には、比重 1.5 のセメントミルクを 200 ℓ そう入して、45 kg/cm² の加圧固結後、湧水量 0.5 ℓ/分程度となり止水作業を終了した。この間に、180 m までは直径 97 mm (内径 90 mm) の太さであるのに、180 ~ 200 m 間を直径 101 mm に拡孔する作業も行ない、検出部のセメンティングを容易ならしめた。

3.5.2 検出部の設置 (図-6)

7 月 9 日午前セメンティング用モルタルの調査を行ない、直ちに孔底に充てんした。このセメンティング用モルタルは、このために研究したもので次のような性質をもたせるように努めた。すなわち、

- (イ) セメントモルタル充てん後検出部を孔底まで降下させるためには作業手順の点で数時間を要するが、この間だけモルタルが固結しないこと。緩結剤の配合により、調査後 10 時間だけペースト状であることが確認されている。
- (ロ) ひずみ計の受感部固定のセメントモルタルは、孔底壁の岩盤となるべく近い圧縮強度をもつこと。岩盤は試験結果から 600 kg/cm の値が得られていた。現在のセメントモルタルの最大である 300 kg/cm とさせた。
- (ハ) 検出部電極と孔壁の電導度を高めるため、通電性のセメントモルタルとすること。
- (ニ) 深さ 180 m までそう入してある鉄ケーシングパイプと、導通性セメントとは絶縁度を高くす

ること。これは地電流電極のため必要である。

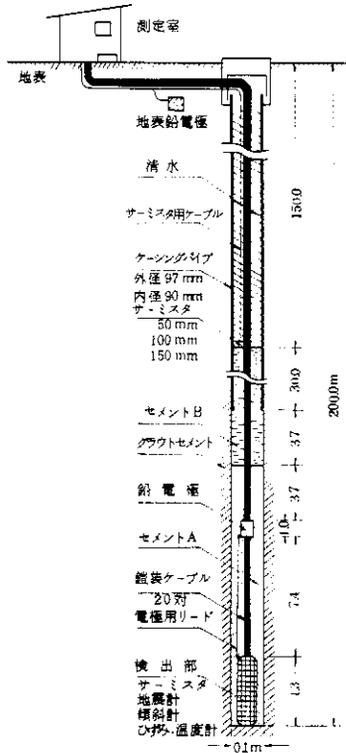


図-6 試錐内観測装置設置状況略図
General view of the observation system.

等である。このほかセメントモルタル充てんの際、通常の方法であると、モルタル内部に観測井内の水が包み込まれて、そのまま固結し、セメント強度を低下せしめるおそれがあるので、セメント注入のための特製の弁を考案し、モルタルに圧力を加えても、観測井水には圧力が加わらないようにした。

このようにしてセメントモルタル注入後、検出部と信号銲装ケーブルを自重により観測井内に、

深さ150m、100m、50m位置にサーミスタを取りつけながら(信号銲装ケーブルとは別のケーブルを使用)除々に降下させた。検出部の降下作業は大部分を人力にて行なったが、3時間半ほどを要した。なお、信号ケーブルは所定の200mより1.8mを残して、検出部が孔底に接着したので、自重によりこの程度伸びたと考えられる。観測井の深さはもちろん、検出部の接着状況については、ボーリング技術者により確実であるといわれている。この時点における孔口付近のケーブルの状況は、孔口から自力で2~3m立っている状態で、孔内からの浮沈に関する力は認められなかった。

だが、将来数千mの観測井の際の信号ケーブルの場合には、適当な深さごとのケーブル固定は必要であると考えられるので、この固定方法も一つの問題となるであろう。なお、特殊セメントは183.6mから200mまでのセメンティングに使用し、その上には深さ150mまでを通常セメントモルタルを注入し、150mより上部観測井孔口までは清水を注入して観測装置の設置工事をすべて完了した。

本報告の終わりにのぞみ、多くの協力と助言をいただいた地質研究所星野一男、気象庁地磁気観測所柳原一夫、同横内恒雄の諸氏および非常な短期間に全く新しい本装置の製作に尽力された沖電気工業株式会社、埋設に創意をこらした住鉄コンサルタント株式会社の関係者各位にお礼を申し上げます。また、観測井や測定室の土地借用に関して、長野市役所松代町支所および地主の松代町山ノ内氏に絶大など援助をいただいたことを厚く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 土木測器センター：カールソン型計器の解説。1963年9月。
- 2) 横河電機(1966)：精密級卓上形記録計。計測と制御, 5, p.912~913。
- 3) 地磁気観測所：地電流観測指針草案—電極—昭和31年9月。