

川崎地区水位・水質観測井について

(その4 施設・設備と水位変化)

岸 和 男 (水資源課)

はじめに

昭和50年度特別研究「地盤変動に関する研究」の中の一環として深部地下水の水位および水質の観測を行なうことになった。観測井の深さは1,016mで50年6月中旬に掘さく開始 7月中旬掘さく終了 各種試験を行ない8月下旬に完成した。井戸の構造・地質・各種試験結果などについては別に報告されているのでここでは省略する。井戸完成後直ちに観測施設と観測設備(以後施設と設備と云う)の工事を行ない 10月1日から観測を開始した。現在までに水位・水質・気圧・雨量の各データが集積されたので 施設・設備の概況とデータの一部である水位変化について紹介する。

施設・設備の設計・選定に当って

地下水の水位や水質を連続観測することは簡単なこととみられがちであるが その目的に応じた最適な施設・設備を作るとなると必ずしも容易ではない。

一般に観測施設・設備の設計・選定は 測定の対象となる井戸が完成し その井戸の条件(水位・水位変化の幅・比湧出量・水質など)が明らかとなつてから行なう

のが普通である。ところが今回の川崎観測井では地震予知連絡会による「最近における多摩川下流地域の地盤隆起現象について」の意見書や公式発表があつた関係から 井戸完成後なるべく早い時点で観測を開始する必要にせまられた。観測機器の中には発注してから納入まで2ヵ月以上もかかるものもあるので 井戸条件を次のものと仮定して6月から設計・選定を始めた。

仮定条件

- 1) 完成したときの水位は-40m以浅から+50m(地上で約5kg/cm²)以下の範囲である。
- 2) 比湧出量は0.4m³/day/m以上である。
- 3) 潮汐・気圧などによる日変化量は2m以内である。
- 4) 水質はClが平和高温泉井と同等かそれ以上である。
- 5) ガスがかなり出る。

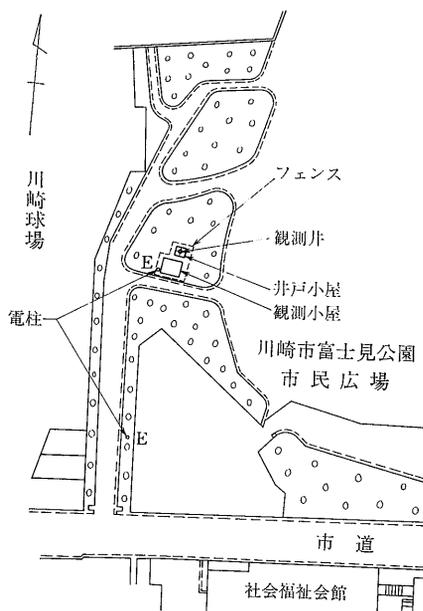
このような仮定のもとに機器については測定範囲はなるべく大きくかつ精度の高いもの。記録はなるべく長期巻のもの。データの型は採取後の検討・整理に際し容易なもの。そのほか採取率の高いものとか保守点検の容易なものとか各種の条件を加味して選定を進めた。

第1表 観測小屋の仕様

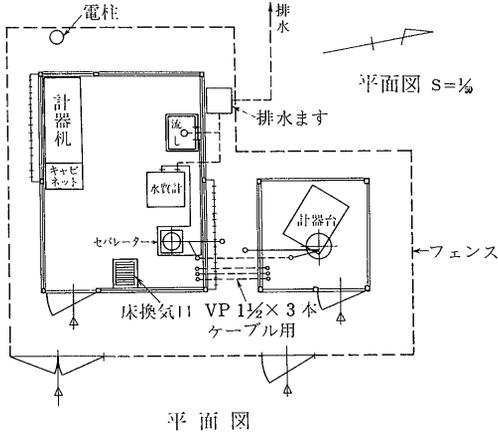
大きさ	2 m700mm(はり)×3 m600mm(けた)
高さ	2 m900mm(のき)
基礎	松くい 末口90mm
骨組	軽形形鋼
床	9 mm耐水合板
外壁	#30カラー鉄板
内壁	グラスウール断熱材 厚さ20mm 3 mmプリント合板
屋根	カラー長尺鉄板
屋根うら	グラスウール断熱材 厚さ20mm 3 mm耐水合板
まど	2面 幅1 m800mm 高さ1 m200mm アルミサッシ 金網入りガラス

第2表 井戸小屋の仕様

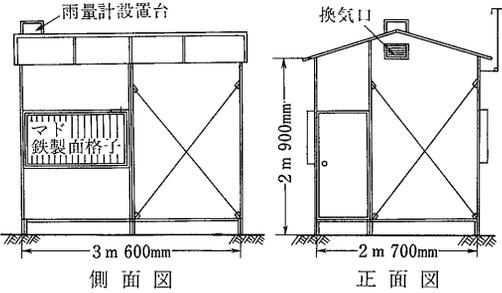
大きさ	1 m800mm×1 m800mm
高さ	2 m100mm
基礎	松くい
骨組	90mm×90mm 木材
壁	波板鉄板
屋根	波板鉄板



第1図 川崎観測所位置図



平面図



側面図

正面図

第2図 観測小屋図

施設については場所が市立公園の中なので恒久建築物は建てられない。美観をいちぢるしく損わない。盗難・破損を防止する。ガスの対策を充分とることなどを条件として設計を進めた。その後井戸条件も明らかになり現在の施設・設備とすることになった。

観測施設の概要

観測小屋および井戸小屋の仕様を第1 2表に示した。このほか試料水のガスを分離するためのセパレーター 排水のガスを分離するためのエアレーション 分折用ステンレス流しなどがある。また換気扇 天井灯 コンセントなど電気器具および配線は防爆型としている。

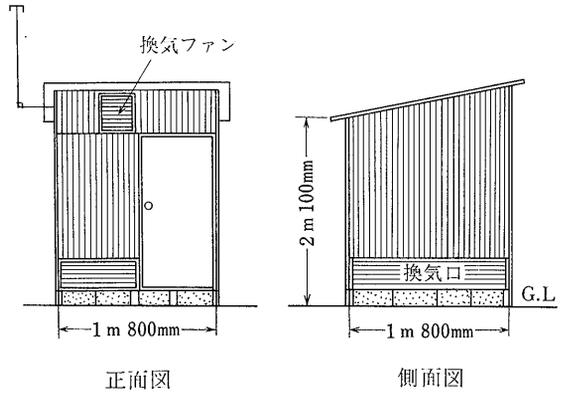
観測機器の概要

各機器の仕様は 第3表に示した通りであるが そのうちのおもなものについて役割と特徴について簡単に説明する。

[水位等測定装置]

デジタル水位計

水位計の本体でありフロート巻取式である。表示は



正面図

側面図

第3図 井戸小屋図

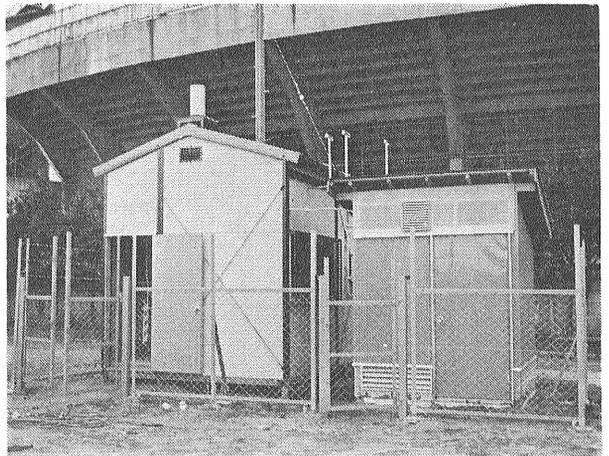
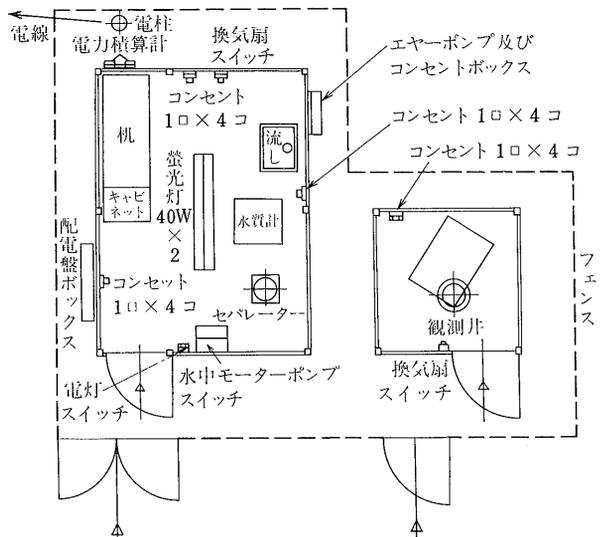


写真1 観測小屋と井戸小屋 屋根に取付けてあるのが雨量計



第4図

電気設備図

第3表

観測機器などの仕様

品名	製造あるいは購入会社	型式	仕様
(水位等測定装置) デジタル水位計	日本システムリサーチ	SM10B フロート巻取式	機能：水位の単位変化ごとに⊕⊖マーク発信 測定範囲：15m 測定単位 1cm パルス発信回数：17～27回/分 電源：DC7.5V 最大270mA 使用条件：温度-10～50°C 湿度 35～90%
アナログ水位計	中浅測器	AN67 フロート式	測定範囲：4m・8m 記録方式：直線式・サイフォンペン式 記録用紙：有効幅200mm 長さ 15m 最小目盛 10cm 記録日数：1ヵ月/1本 電源 DC1.5V
パンチコーダー	日本システムリサーチ	SN6A	記録紙：計算機用8単位さん孔紙テープ 長さ40m約1,600パンチ 記録対象：パルス時系列 測定単位時間 1分 5分 1時間 12時間のうち2種 継続時間：7日～6ヵ月 電源DC24V 常時1mA パンチ時1.2A 使用条件：温度-10～50°C 湿度35～90%
気圧発信器	日本システムリサーチ (中浅測器)	アネロイド式	測定範囲：940～1,040mb 精度 1mb 表示：直接表示 出力0～10mA
雨量計(発信器)	日本システムリサーチ (中浅測器)	転倒ます型	受水口径：200mm 雨量0.5mm/1電接 電源DC3V 無接触型接点
気圧変換器	日本システムリサーチ		電源：AC100V50Hz 出力：DC0～1V
気圧レコーダー	日本システムリサーチ (横河電機)	ER4036 6打点直流電位差記録計	電源：AC100V50Hz 入力：DC0～1V直線校正平衡 時間：3秒 記録紙：折たたみ式幅180mm 長さ20mm 25mm/hで1ヵ月
気圧用A-Dコンバーター	日本システムリサーチ	電圧型	電源：DC24V 入力：DC0～1V
インバーター	日本システムリサーチ		電源：AC100V50Hz DC12V 出力：AC100V50Hz,220W DC12V
安定化電源	日本システムリサーチ	CPS-M24-1.2	電源：AC100V50Hz 出力：DC24V
(流量測定装置) テレパーム差圧発信器	富士電機計装	FEC22WA2100Y	半導体ストレンゲージ式 測定範囲：0～64……200Hz ₀ 許容差：±0.5% 再現性：±0.1%以下 感度：0.05%以下 電源：DC24V 出力：DC4～20mA 周囲温度-30～80°C
開平演算器	富士電機計装	PRD1Y003,1	入力：DC4～20mA 出力：DC1～5V 許容差：±0.5% 再現性：±0.1%以下 電源：24V50Hz 使用条件：温度0～45°C 湿度90%以下
連続積算計	富士電機計装	PJA1MY110	入力：DC1～5V 許容差：±0.5%以下 表示10進6桁 積算数：1.000/1時間 電源：AC24V50Hz 使用条件：温度0～45°C 湿度90%以下
記録計	富士電機計装	PEA1111 OYYY 自動平衡型	入力：DC1～5V 電源：AC24V50Hz 記録紙：幅100mm 長さ10m 10mm/hで約40日 使用条件：温度0～45°C 湿度30～90%
自動水質測定装置	東亜電波工業	温度測定 電導度測定 表示・記録	測定方式：ガラス・サーミスター 測定範囲：0～50°C 測定精度：0.5°C 測定範囲内を±2°Cに拡大 測定方式：四電極法 測定範囲：0～50m ₀ /cm 測定精度：5% 温度補償：自動5～35°C 測定範囲内をフルスケール±2m ₀ /cmに拡大 メーターおよび6打点電位差計型記録計 電源：100V 50Hz 入力：0～10mV 精度：±0.5% 平衡時間：2.5秒 記録紙幅：180mm 記録速度：10 25 50mm/h
水中ポンプ	荏原製作所	BHS ステンレス製	電源：200V 50Hz 口径：25mm 出力：0.75kW 吐出量一掃程：30ℓ/min—44m 60ℓ/min—35m

デジタルの直続であるが本器自体での記録は出来ない。記録はパチンコーダーと本器に接続されたアナログ水位計で行なう。本器の特徴は測定範囲が15mと大きくかつ精度が高い(1cm) ことである。また小型でバランスウエイトが無いので 川崎観測井のように井戸管頭に種々の機器を装着する場合に適している。

アナログ水位計

普通のフロート式水位計をデジタル水位計に接続する様改造したものである。本器自体では水位の測定を行なわず デジタル水位計で測定した水位を記録するだけのものである。測定範囲は 4 m と 8 m で連続して 1 ヶ月間記録出来るが 精度は 5~10cm と劣る。

気圧計

普通のアネロイド型気圧計でアナログ直接表示である。記録は 6 打点式自動平衡型記録計による連続 1 ヶ月アナログ記録とパンチコードによるデジタル記録である。

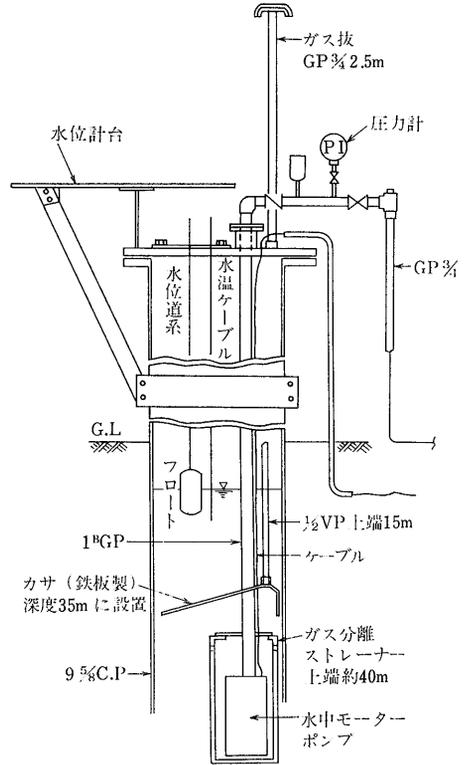
雨量計

普通の転倒ます型雨量計(発信器)で自記器はそなえていない。記録はパンチコーダーで行なう。

パンチコーダー

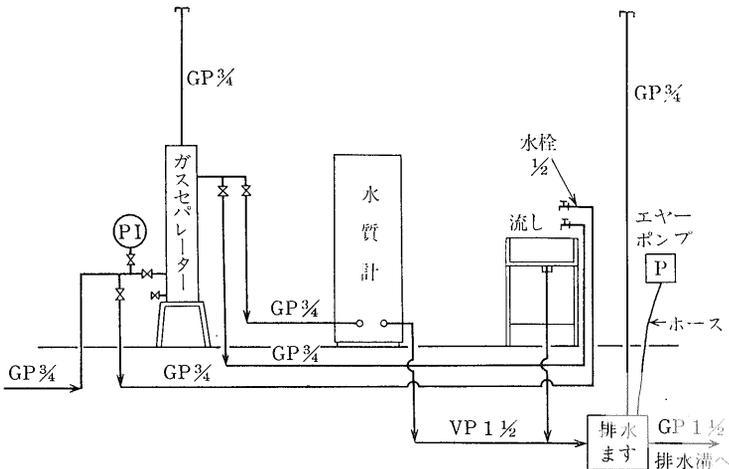
本器は異なった測定器で測定されたいくつかの時系列データを電子計算機用標準 8 単位紙テープにさん孔するものである。測定チャンネル数は 6 個で水位と気圧がそれぞれ 2 個 雨量が 1 個 テスト用 1 個である。継続時間は 川崎の場合 1 ヶ月前後である。

その他



第5図 井戸管頭図

以上のほか水位関係では各種変換器 安定化電源などがあり 第7図のように接続されて一つの測定装置として動いている。本装置の特徴は 一本のテープに 3 種のデータが収められており 相互間の時間精度がきわめて高いことと テープを直接に電子計算機にかけられるので 大量のデータを正確・迅速に一次処理出来ることにある。



第6図 配管系統図

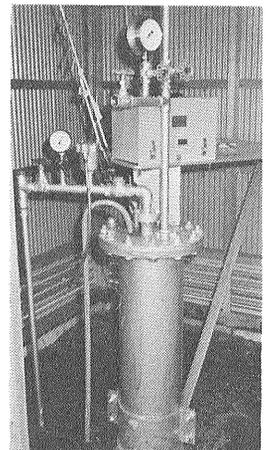
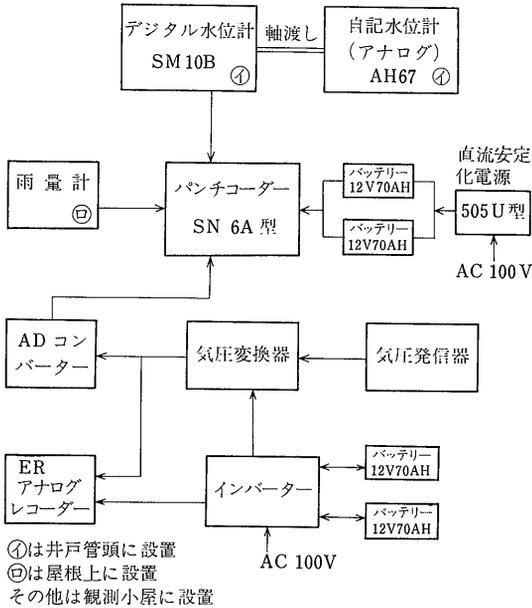


写真2 井戸管頭 右の上立り管はガス放出管左へ延びているのは水中ポンプからの送水管



第7図 水位等測定装置構成図

〔流量測定装置〕

川崎観測井の比湧出量 $\frac{Q}{S_w}$ がきわめて小さいことが揚水試験の結果明らかとなった。比湧出量が小さいとごく少量の揚水量変化でも水位が大きく影響される。そこで揚水量を連続測定して水位補正の資料とするため作成した。測定方式は塩分濃度とガスの関係から差圧式とし表示および記録は積算計と自動平衡型記録計による。本器の構成を第8図に示した。

〔水質自動観測装置〕

本装置は水温と電導度を同時に連続測定し自記記録するもので広い範囲の測定が可能でしかもきわめて高い精度で測定が出来る。さらに試料水が高塩分濃度でも微小な変化に応じ充分追従ししかも耐久性が高いよう特別に作成したものである。

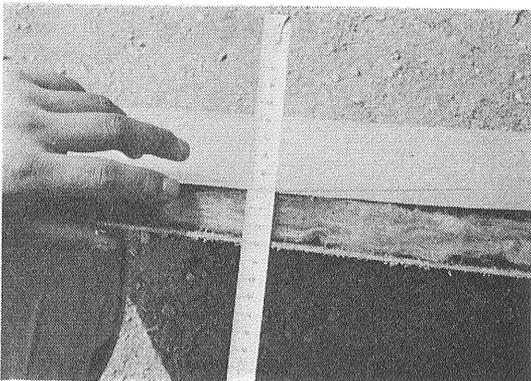
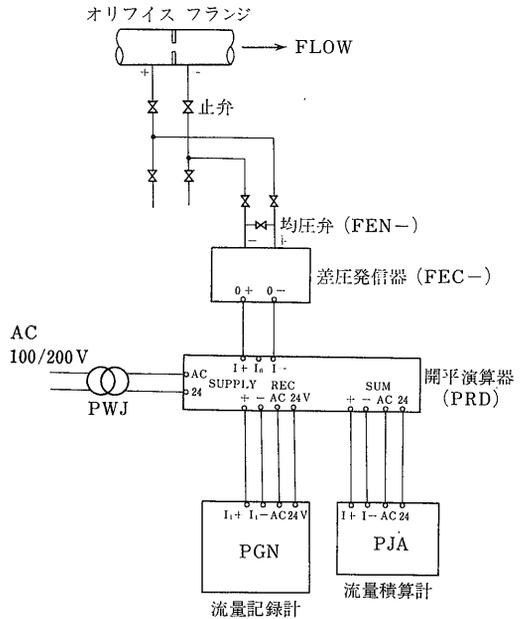


写真3 観測小屋の壁と屋根うらに入れた断熱材 断熱材を入れない普通のプレハブ小屋では真夏の室温が50℃近くにもなり各計器の故障の原因となる



第8図 流量測定装置構成図

データの処理方法

前項で述べたように川崎観測井では水位と気圧はアナログ記録とデジタル記録 雨量はデジタル記録で得ている。アナログ記録は一週間前とか数日前からの変化を直接見るには都合が良いが長期間のまとめ検索各種補正計算を行なうには不向きである。デジタル記録は数日前からの変化を目で見ることは川崎の場合出来ないがデータが1時間値のカードとなっているので電子計算機にそのまま入力可能で補正計算などの二次処理を行なう場合きわめて有利である。川崎観測井で

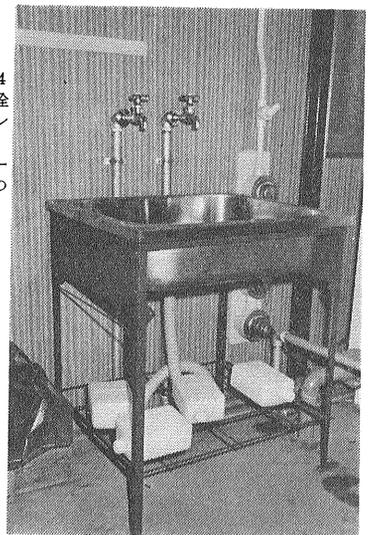


写真4 分析試料水採水用水栓 向って右はガスセパレーターを通したもの 左はガスセパレーターを通さないもの

のデジタル記録は次の方法で採取し処理を行なっている。

水位計・雨量計の測定値はそのままパンチコーダーに入力し 気圧計の測定値はA-D変換器を通してパンチコーダーに入力する。パンチコーダーは各測定値を一定の様式で1本の紙テープにさん孔する。データが1ヵ月分得られたら電子計算機で一次処理を行なう。

一次処理の結果はチェック表（観測値の1時間原表 テープイメージマップ 1時間値のデータ カードである。川崎の場合 観測オペレーションから一次処理までの間はサービス会社による請負で行なっている。

次にチェック表によって各データをチェックし 関連データ カードおよび修正カード（自記値と実測値との差など）を作成し 地質調査所の TOSBAC 3400/51で二次処理する。修正済のデータは磁気テープにファイルする。TOSBAC 3400/51 で処理するプログラムについては別に紹介することとするが その出力結果はXYプロッターによる月図・年図の作成 月表・年表の作成その他総括表・データ区分表などである。なお潮汐および気圧の補正計算は修正済データを使用し その結果は別の磁気テープにファイルする予定である。

地下水位の変化

昔から地震の前に地下水が異常な状態を示すことがよく云われてきており 近年では1975年 中国遼寧省の地震の際にも同様なことがつたえられている。また地下水学者の中には古くから地震と地下水の変化について注意している人も多く 地震発生前に地下水位が変化した例もいくつか示されている。さらに近年ダイラタンシー理論（いわゆるショルツ理論）によって岩石中の水の流量変化として説明されている。ダイラタンシー理論については省略するが 地震前に地下水位が変化するのは 地殻の状態が変化することによって生ずるものらしい。そこで本著では地震発生前の水位変化の原因を「地殻の状態変化」と呼ぶことにする。

地下水位は数多くの原因によって変化するが 自然的

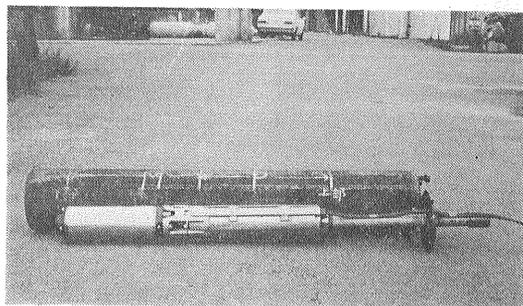


写真6 水中ポンプ（手前）とガス分離用ストレーナー

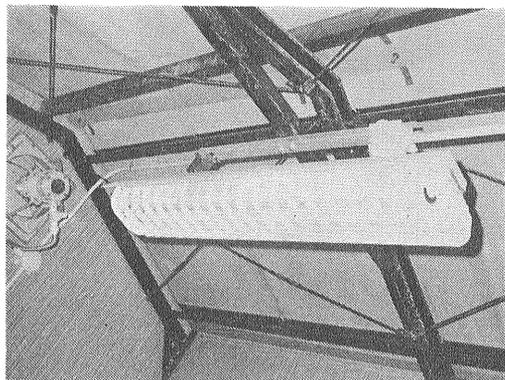


写真5 水質用試料水はセパレーターを通し ガスを分離して屋根上に放散させているが より安全のため 天井灯 換気扇 スイッチ コンセントなどはすべて防爆型にしてある

原因と人為的原因によって生ずるもの大きい。

自然的原因としては

- ① 降水
- ② 融雪
- ③ 湿度・気温
- ④ 河川・湖沼などの水位変化
- ⑤ 気圧
- ⑥ 潮汐の干満
- ⑦ 地殻潮汐
- ⑧ 地殻の状態変化
- ⑨ 地震（地震時の直接的な振動） などである

人為的な原因としては

- ⑩ 田畑への灌漑
- ⑪ 近隣井の揚水あるいは注水
- ⑫ 観測井自身の揚水あるいは注水
- ⑬ 移動する重荷物 などである

このように水位変化の原因は数多くあるが すべての

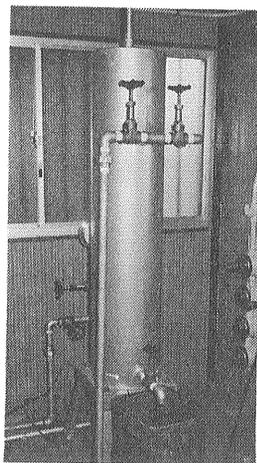


写真7 分析用試料水のガスセパレーター

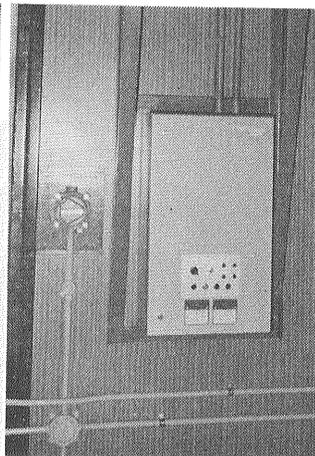
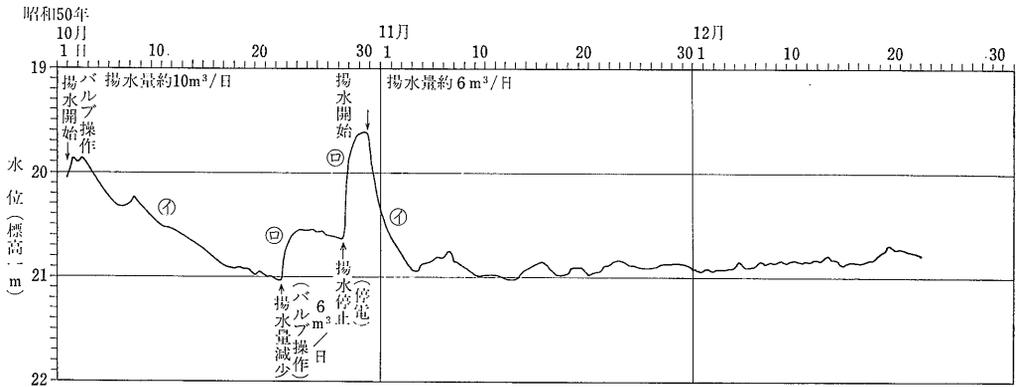


写真8 水中ポンプ起動盤と防爆型配線スイッチ



第9図 川崎観測井の水位変化

地下水が全部の影響を受けるとは限らず地下水の形態・位置によって異なる。

- A) 自由面地下水の場合には ①③⑤②の原因による影響は必ずと云ってよいほど受け そのほか全部の原因については位置および条件によって影響を受ける場合と受けない場合が生じる。
- B) 被圧地下水の場合には ⑤⑧⑨⑫の原因による影響は必ずと云ってよいほど受け⑥⑩による影響は位置によって受ける。また特別な条件のある場合には①②④⑩の原因の影響も受ける。
- C) 深い被圧地下水でその帯水層が未利用である場合には ⑤⑧⑨⑫ 位置によって⑥の原因による影響を受けるにとどまり その他の原因による影響は受けないと云っても過言でない。

なお⑦地殻潮汐についてはかなり長期的なものと考えられるが詳細については不明なので上記では除いている。地下水位の観測は何らかの目的のために上記のA・B・Cについて測るものであるが 川崎観測井のように地震に関係する目的の場合には 他の原因による影響が少ないCについて行なうのが最も有効である。

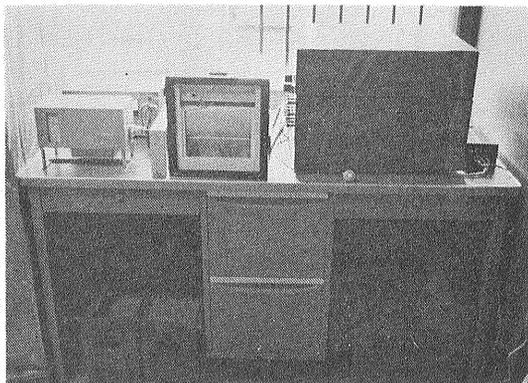


写真9 パンチコーダー 気圧計 ERレコーダーなど

川崎観測井の水位変化と補正方法

川崎観測井の静水位は8月10日に標高 -18.3m であった。昭和50年10月1日 水位観測開始と同時に約10 m³/day の揚水を開始し 約20日間同量で揚水を継続した。その間水位は規則的な変動と不規則な変動を示しながら低下し続けた。10月22日に水位が低下しすぎるのを防ぐため揚水量を6m³/day に減少した。10月28日に停電のため揚水が停止し10月31日まで水位が回復している。31日に6m³/day で揚水を再開し11月の4日まで低下したが その後は横ばいの状態を示している。

第9図は観測開始から12月下旬まで間の0時と12時の水位を示したもので 第10図はその中の11月14日から18日までの間を詳細に示したものである。

川崎観測井は前項の C) 深い被圧地下水でその帯水層が未利用で 海に近い位置の場合なので水位変化は ⑤気圧の変化 ⑥潮汐の干満 ⑧地殻の状態変化(変化しているものとすれば) ⑫観測井自身の揚水の4つの影響を受けていることになる。第9図の④は 一定量の揚水による水位低下であり ⑤は 揚水量の変化による水位上昇とともに⑥

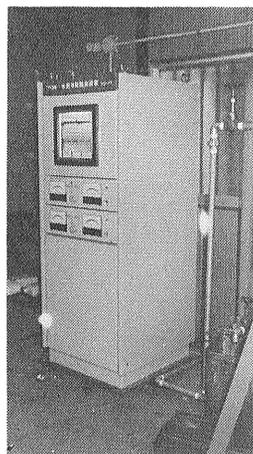
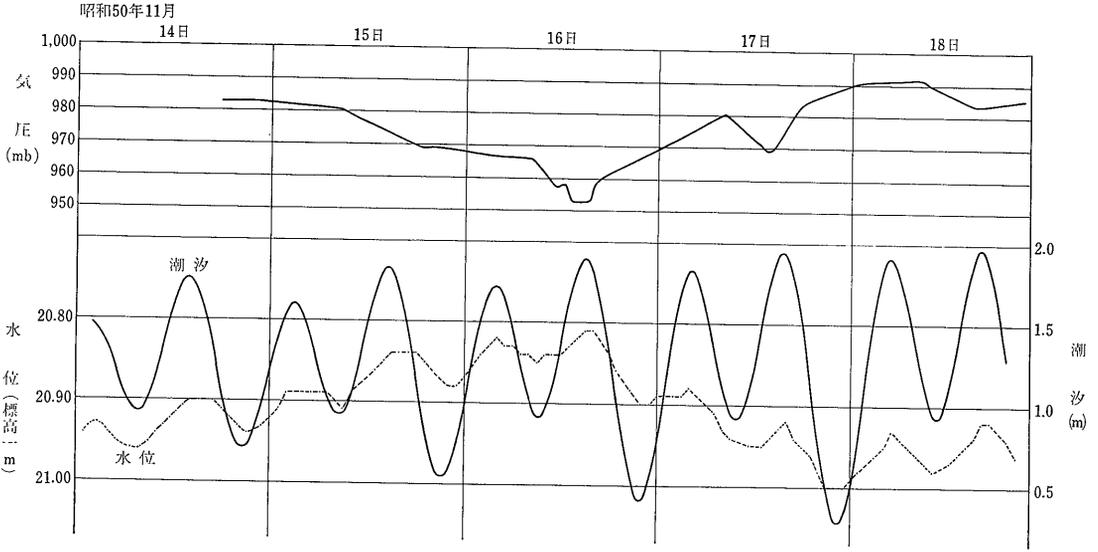


写真10 水質自動観測装置

に相当する。第10図の水位の小さな規則的な変化は ⑥潮汐の干満によるものである。また大きな全体的な上昇と下降は図に示したような低気圧の通過によるものである。第9図で11月10日頃からわずかに水位が上昇傾向にあるが これがどの原因によるものかはさらにデータが集まら



第10図 地下水位と気圧・潮汐の関係 潮汐は東京一芝浦のもので 潮汐表より計算によって求めたもの

なくては不明である。

地殻の状態変化によって生ずる地下水位変化が時間的なものも含めて 仮に気圧などによる変化の2～3倍以上も大きいものであれば 生のグラフを目で見るだけで判断出来る。しかしその変化が気圧や潮汐などによる変化と同程度か小さい場合には 生データを補正する必要がある。

気圧による変化の補正

地下水位変化の中から気圧による変化を取り除くには 気圧定数Bを定めこれに標準気圧と測定時の気圧との差を掛けたものを測定水位から差し引けばよい。気圧定数Bは

$$B = \frac{\alpha E_s}{\alpha E_s + E_w}$$

α = 帯水層の孔隙率
 E_s = 帯水層の弾性率
 E_w = 水の圧縮率

で示され一種の帯水層定数である。定数Bは $\alpha \cdot E_s$ を揚水試験・物理試験などで求め算出出来るが 低気圧通過時における水位上昇量と気圧の関係を多数実測し それから直接求めることも出来る。

潮汐による変化の補正

潮汐の干満による地下水位の変化については これまで多数の研究者によって理論的に研究され補正の方法も多数考え出されている。

一般的な方法としては 潮汐係数を定めこれに潮位の差を掛けたものをその時の地下水位から差し引けばよい。潮汐係数は多数の地下水位の差と潮汐の差との平均した比率である。

川崎観測井の場合は 被圧帯水層の海底遠端が閉塞しており 位相差は考えなくてもよいが 海底遠端が開いている場合 および自由面地下水の場合には上記の計算は位相差を考慮して行なう必要がある。潮汐は最も近い点の実測潮位を用いるのが最良だが 若干離れた地点の潮汐表から計算しても水位の測定誤差との関係から大差はない。第11図の潮汐は川崎から潮時差十数分の東京芝浦のもので潮汐表から計算したものである。第11図に潮汐表から1時間毎の潮高差を求め水位を補正する計算方法を示した。

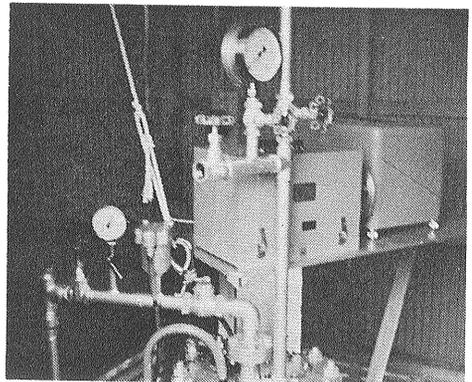


写真11 デジタル水位計とアナログ水位計

揚水による変化の補正

観測井自身の揚水による水位変化は一定量の揚水による水位低下と揚水量の変化による水位変化とがある。一定量の揚水による水位低下は第9図のように揚水開始時には大きいと時間とともに小さくなる。これは他の原因による変化を除けば時間軸をlog目盛水位低下を普通目盛のグラフ上で近似的に直線として示される性質のもので1logサイクルの水位低下 ΔS をあらかじめ求めておけば補正出来る。

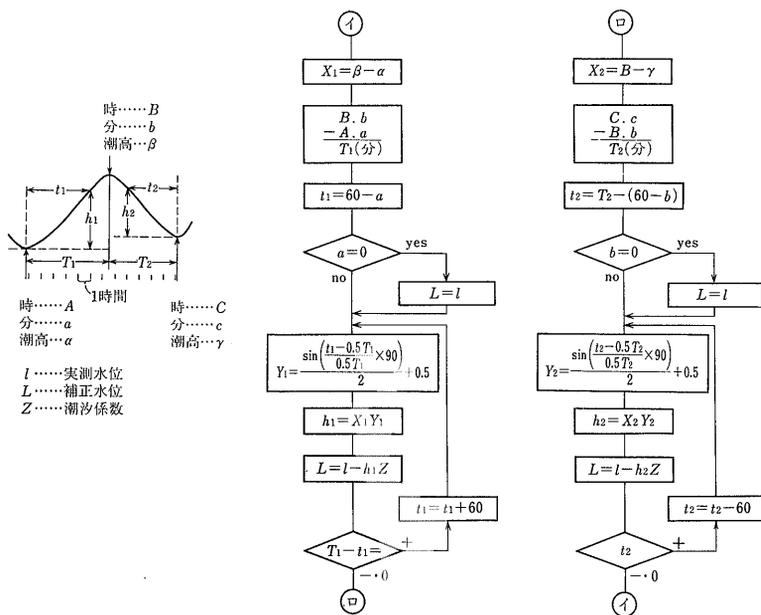
ただし片対数グラフ上で直線と云うことは揚水開始1日目の水位低下が仮に50cmとしても10日目には1日5cm 100日目には1日5mmの低下となり揚水が連続長時間継続されたのちは水位の測定誤差との関係から補正は必要としなくなる。揚水量の変化による水位変化は前と同様に1logサイクルの ΔS あるいは $\frac{Q}{Sw}$ で補正出来る。しかし現実には人為的に操作しなければ現在の電力状況 水中ポンプ性能からいって揚水量がしばしば大きく変化することはまず無い。むしろ長期的使用による性能の低下 配管などの目づまりなどによる長期間の微量の変化に注意する必要がある。

おわりにあたって

これまで述べて来たように観測された地下水位はその目的によっては各種の補正を行なう必要がある。川崎観測井では水位変化の原因が少なく単純なので比較的補正が簡単であるが、多くの原因による変化を受けやすい自由面地下水あるいは浅い被圧地下水の水位変化に

ついて補正することは容易でない。とくに多数の近隣井の断続揚水による影響を複雑に受けている井戸の水位変化を補正することは不可能に近い。今後地下水位変化→地殻の状態変化→地震予知にまで結びついた場合には多数の地下水位観測井が設けられることとなるが上記の点について充分考慮して設置すべきである。また観測井が増えた場合には全部がデジタルデータで得られるとは限らず費用の面からむしろアナログデータのみしか得られない方が多くなると思われる。アナログデータを目で見て時間軸を補正しつつ数値を読み取りカード化していたのでは膨大な人手と多くの日数を要し自動的あるいは半自動的に数値を読み取り大量迅速にカードあるいはテープ化される機器が必要となる。川崎観測井の現在のデータ処理方法はオフライン方式であり補正計算を行なえるのは早くても1.5ヵ月後になる。地震予知に役立てるためには地殻の状態変化による水位変化を正確に早く知る必要があるがそのためには水位測定と同時に各種補正計算が行なえるような専用の電子計算機によるオンライン方式を考えておく必要がある。

最後に川崎観測所を作るに当り富士見公園内に設置することを心よく承諾された川崎市関係者の方々および施設・設備について種々御助言をいただいた日本システムリサーチ K. K 高橋儀忠氏と関東天然瓦斯開発 K. K 品田芳二郎氏 その他関係の皆様へ厚くお礼申し上げます。



第11図
1時間毎の潮高差と
水位補正の計算方法