

# 多孔式揚水試験装置の自動化について

馬場干児・西村 輝

## Automating the Apparatus of Multi-borehole Pumping Test

Kanzi BABA and Akira NISHIMURA

### Abstract

More accurate than the single-borehole pumping test, the multi-borehole pumping test is commonly used to determine aquifer coefficients. Accuracy of the results in the multi-borehole pumping test greatly depends on the type of apparatus and procedure used. Examples that can be cited include irregular water flow resulting from manual operation of control valves and lack of uniformity in measured values when direct human observation is relied upon for long-term measurements of groundwater (Fig. 6).

This paper is concerned with automating the apparatus used in the multi-borehole pumping test in order to do away with these difficulties and further improve the accuracy of the test (Fig. 1). In particular, control can be computerized by using electromagnetic current meter and power control valves. Automation of water level measuring gauges and A/D converters. In this way, computerized control and data collection has eliminated the human error inherent in conducting these operations by hand (Fig. 11).

The multi-borehole pumping test plays an important role in forecasting and planning countermeasures against groundwater issues during major excavation projects in coastal or marine areas. We compared results from tests using manual and automated systems that were conducted in regions where conditions of aquifers are poor due to tidal effects. In such areas, in which groundwater normally undergoes drastic changes, data from the manual tests is poor and difficult to interpret, whereas data from the multi-borehole pumping test shows very little irregularity and greatly improved accuracy (Fig. 12).

In addition, the apparatus that has been automated has a wide range of potential applications besides the multi-borehole pumping test, including deep well excavation, recharging of groundwater and regulation of upward flow of hot spring water.

### 1 はじめに

一般に、透水係数を求めるためには、1本のボーリング孔を利用する単孔式透水試験が用いられているが、この試験においては、試験区間長が50cm程度で極めて短く、帯水層の一部分のデータが得られるだけで、帯水層

全体の様子を知ることはできない。また、試験区間における目詰りや孔壁の崩壊が生じ易いという欠点がある。その上、帯水層の水理定数として重要な貯留係数を求めることができない。

これに対して、多孔式揚水試験は、単孔式透水試験に比べて試験装置が大がかりとなり、試験に要する時間が

長く、費用も嵩むということはあるが、帯水層の一部ではなく、全体の透水量係数や貯留係数を精度よく求めることができる試験方法である。

近年においては、帯水層を含む地盤の大規模掘削工事を行うにあたって、地下水変動の予測や帯水層の掘削に伴う地盤の破壊に対する防止対策を立てるために、水理定数を精度よく決定する必要があり、多孔式揚水試験を実施することが多くなってきた。

しかしながら、この多孔式揚水試験が、原理的に有利であるとはいえず、試験装置そのものや試験のやり方によっては、試験結果の精度に大きな影響を与えることになる。したがって、試験精度の向上を目的とし、試験装置から生じる計測値の人為的誤差の発生を防止することを目的として、装置の自動化を行った。

多孔式揚水試験の実施に際して、揚水井における揚水量制御のためのバルブ操作は、従来、手動で行ってきたが、バルブ操作を自動化することによって、安定した揚水量による長時間の試験が可能になり、バルブ操作における人為的誤差を除くことができた。とくに、流量の設定に当たって、揚水量が極端に少ない場合、あるいは流量が多い場合などには、手動操作によっては、バルブの調節が難しく、試験結果の精度に大きな影響を与えたが、自動化することによって、このような欠点を大幅に解消することができた。

一方、揚水井や観測井における地下水位の観測は、従来、テスターと電極付コードによる簡易な水位計を用いて手動で計測していたが、最近では、電気式水位計（水位トランスジューサー）と観測ロボット（DSC）との組合せによる自動収録装置を用いることによって、水位観測における人為的誤差を除くことが行われているが、集中管理を行うために、観測ロボットの代わりに A/D 変換器を使用することにした。

## 2 多孔式揚水試験の概要

多孔式揚水試験は、同一の帯水層に揚水井と数本の観測井を設け、揚水井からの揚水に伴って生じる各観測井内の水位降下量を測定し、これによって水理定数を求めるものである。

試験は、一般には、段階揚水試験と連続揚水試験によって構成されている。

### (1) 段階揚水試験

段階揚水試験は、長期の連続揚水試験に備えて、揚水井のもつ井戸能力を把握するために実施するもので、試験方法は、段階的に揚水量を増加させ、その段階毎の揚

水井における水位降下量を測定し、その結果から限界揚水量（揚水に伴って地下水流が層流から乱流に変化する限界点の揚水量）を求めるものである。連続揚水試験においては、通常、この限界揚水量以下の揚水量で試験を実施する必要があるために、限界揚水量を正確に求めておくことは極めて重要である。

### (2) 連続揚水試験

連続揚水試験は、段階揚水試験において求めた限界揚水量以下の適切な揚水量をもって連続揚水し、各観測井における水位を測定するものである。試験は、通常、定常状態に達して終了とするが、揚水試験を行う場所の条件によっては、水位降下速度が一定とはならないで、経時的に変化することが多くある。試験の継続時間は、一般的には、長くても24時間程度であるが、貯留係数が経時的に変化するような場合には、3日間連続して試験を実施して、水理定数を決定している。

とくに、被圧地下水の場合には、気圧や潮汐の変動に伴って、帯水層の水頭も変化する。たとえば、揚水試験中に、下降していた地下水位が急激に上昇するような事象に遭遇することがある。このような場合には、潮汐変動や気圧変動に伴う帯水層内の地下水位の変動を把握しておき、これによって観測された水位の補正を実施し、揚水によって生じた実際の水位変動を抽出することが肝要である。

以上のように、観測井における水位変動といっても、潮汐、気圧または実施場所の条件などによる影響を受けた水位変動を測定しているわけであるので、それらの要素による水位変動を分離し、設定した揚水条件に対応した水位変動を精度よく計測することが要求される。

一方、揚水量制御のためのバルブ操作は、揚水量を一定に保つ上で重要である。揚水ポンプの揚水量は、最初に一定のバルブ開閉度で設定しておいても、試験の途中で揚水量は変化する。これは、井戸内の水位が揚水に伴って経時的に変化することが原因と考えられる。

手動式の場合、この揚水量を一定に保つためには、バルブの微調節をかなりの頻度で行うことが必要である。さらに、この微調節が各観測井の水位の変動に微妙な影響を与える場合もあり、観測井における観測の精度を向上させるためには、揚水量を一定に保つことは大変重要な事項である。

## 3 試験装置の自動化

揚水試験装置の自動化にあたっては、つぎの要件を満足することを目標として設定した。

- ① 揚水量の測定および制御が自動的にできること。
- ② 多数の観測井の水位を同時に連続して自動的に計測できること。
- ③ 揚水ポンプの起動および停止が制御できること。
- ④ 水位の測定値と揚水ポンプの運転状況を集中管理できること。
- ⑤ 装置に異常が生じたとき、異常箇所が表示され、自動的に装置の活動が停止すること。
- ⑥ 測定系と記録系の連結には、ノイズ防止および落雷災害防止のために、光ケーブルを使用すること。

### 3・1 揚水量調節の自動化

#### (1) 流量計

従来、揚水量の測定には、三角せきあるいは羽根車式流量計などを用いてきた。三角せきは、揚水初期の段階で、せき水頭が安定するまでに時間がかかること、その上、揚水量測定の精度があまり良好でない。一方、羽根車式流量計は、水中に砂などの混入があると、精度が著しく低下するという欠点を持っている。また、揚水量を自動的に調節するためには、電気計測に適する流量計を使用する必要がある。したがって、精度が高く、砂などの混入があっても支障をきたさない電磁流量計を採用した。電磁流量計は、“磁界内を導体が横切るとき、導体の両端の超電力を誘起する”というファラディの電磁誘導の法則に依拠している計器であり、写真—1にその外観を示す。

#### (2) 揚水量制御用バルブ

揚水量を調節するための従来の方法においては、ゲー

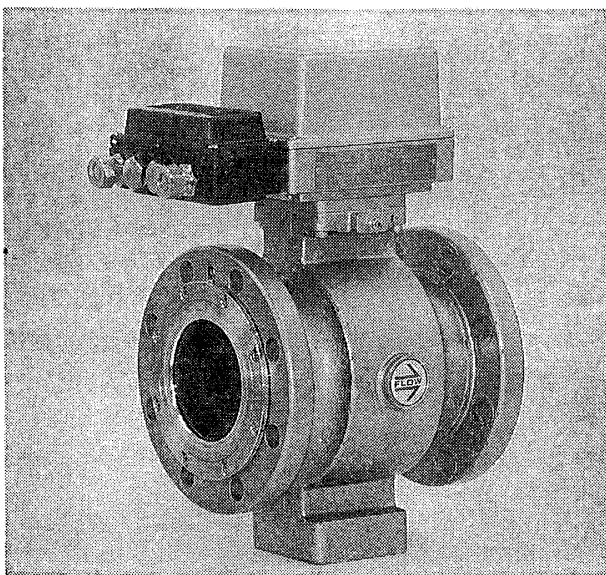
トバルブやボールバルブのような微調節が容易にできるバルブが使用されているが、試験期間を通して、バルブ操作員によって、揚水量の微調節を行うことが必要であり、揚水量を精度よく一定に保つことが困難である。

そこで、上記の人力による煩雑さを解消するために、揚水量を自動的に調節する装置として、バルブとアクチュエータとを組合わせた電動コントロールバルブと称されている装置（写真—2参照）を採用することにした。この装置のうち、バルブ本体はバタフライバルブとなっており、その特徴としては、回転トルクが小さく、操作角が90度であることなどが挙げられる。一方、アクチュエータは、弁の開閉の度合いが、アナログ信号に比例して得られ、その開閉は、およそ20分の角度の精度で微調節をすることができるものである。また、全閉から全開までの操作時間が15秒であり、コンピュータによる操作が容易であるという特徴を有している。

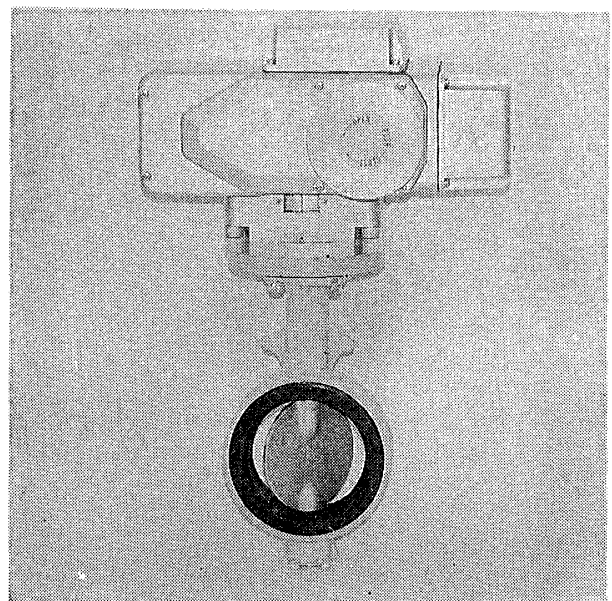
#### (3) 揚水システム

図—1に示すように、揚水ポンプによって汲み上げられた水は、分離タンクに導き入れられる。この分離タンクには、揚水の一部を揚水井内に戻すためのリターンパイプと、流量計と排水バルブを介して排水側に導く排水パイプが付いている。

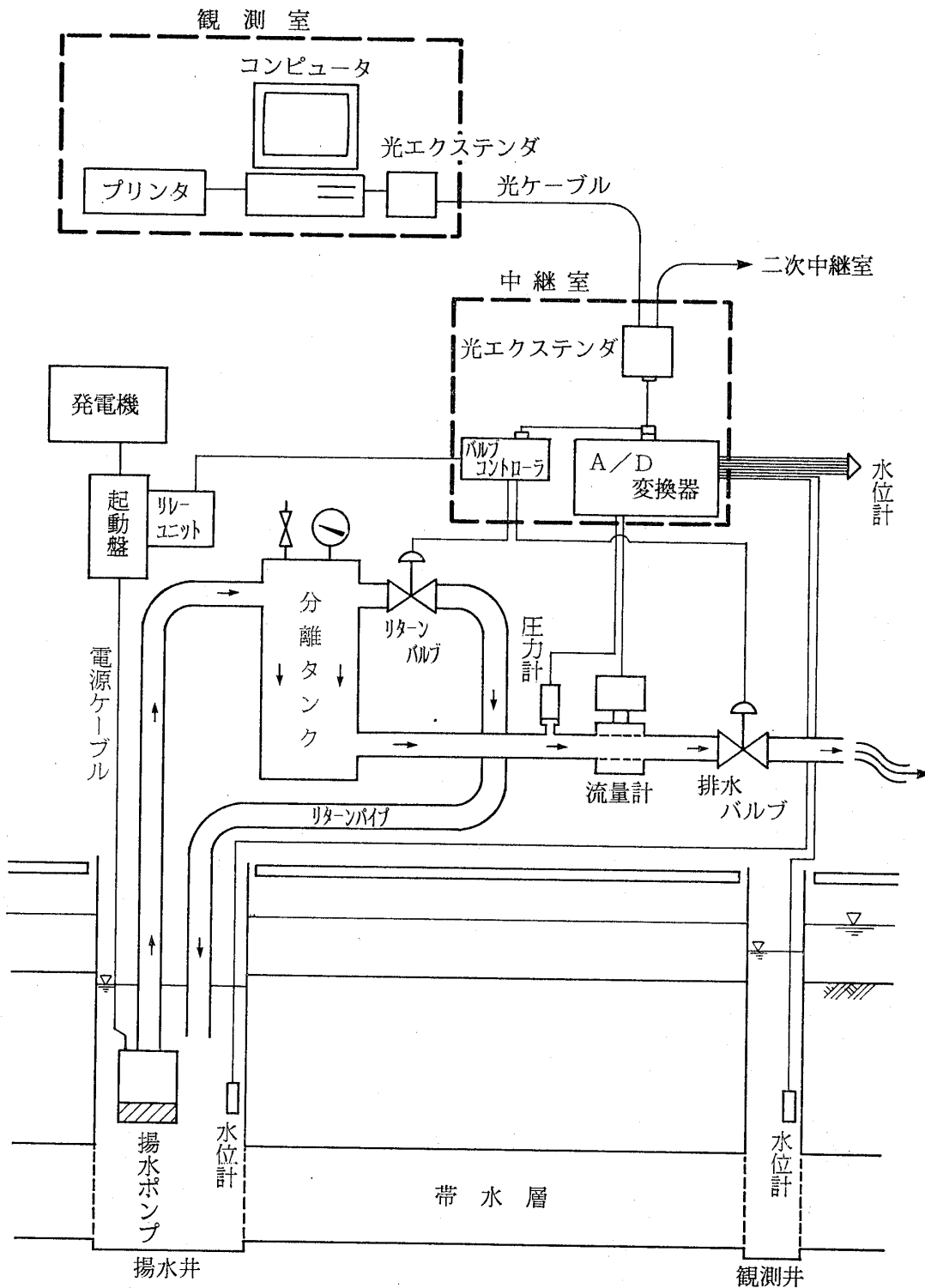
この分離タンクを使用する方式の利点は、揚水量が少ない場合でも安定した流量が確保できることである。すなわち、汲み上げられた気泡を含む水を、一旦分離タンク内に貯留することによって、気泡の多くが上部に揚がり（気泡が含まれている水は、リターンパイプを通り揚水井内に戻される）、排水側の流量計には気泡が少ない



写真—1 電磁流量計  
Phot.1 Electromagnetic flowmeter



写真—2 電動コントロールバルブ  
Phot.2 Electric control valve



図一1 多孔式自動揚水試験装置の模式図

Fig.1 Illustration of automated apparatus using for the pumping test

と考えられる水が流れることになり、流量のばらつきを小さくすることができる。

揚水量の制御は、圧力計の値をパラメータとしてリターンバルブを開閉する動作と、流量計の値をパラメータとして排水バルブを開閉する動作によって行うことがで

きる。

### 3・2 水位測定の自動化

従来の水位測定においては、測定時間になると、測定員がテスト式水位計を地上から観測井の中に入れ、水面

の高さを測る作業を繰り返し実施して、水位の変化を求めている。この方法によっては、連続的な観測は不可能であり、また、測定値に人為的な誤差が入り易い。さらに、観測井の数だけの測定員を必要とし、測定員の確保が困難であった。その後、電気式水位計が開発され、アナログレコーダによる水位観測が実施されるようになった。これによって、さきに述べた不都合さは回避され、自動収録が行われるようになった。本装置においては、数多くの観測井における水位の観測時間間隔をでき得る限り短くし、データをデジタル収録方式とするため半導体式水位計を使用した。

水位計の出力を A/D 変換器に接続し、デジタル化されたデータは、GP-IB を通してコンピュータに送られ、フロッピーディスクに収録されるようにした。

収録時間間隔としては、揚水開始直後から5分間は15秒間隔とし、その後徐々に間隔を広げ、開始後5時間以降は30分間隔とした。回復試験においても、上記の間隔によって収録した。

### 3・3 観測の自動化について

3・1節および3・2節に述べた計測器を使用して、揚水量の調節・制御や観測井の水位測定を自動的に行うとともに、試験開始から終了までの諸条件の事前設定および試験の進行過程におけるバルブの制御状況や水位測定状況をリアルタイムにディスプレイ上に表示して、集中管理ができるようにするために、パーソナルコンピュータを使用した。

各機器の接続のためには、GP-IB(IEEE-488)を採用した。多孔式揚水試験においては、揚水井や観測井の数に応じて、A/D 変換器やバルブコントローラなどの計器を設置する必要があり、GP-IB は、これらの計器をコンピュータへ接続する場合、着脱が容易であるという特徴をもっている。

装置の仕様は、表-1 に示す通りである。

試験を実施するに先立って、各センサーの校正係数やモニタ画面のスケールなどの諸元を設定するとともに、揚水試験スケジュールを初期設定ファイルとして、コンピュータに入力して試験を開始する。

図-2 は、揚水量などの制御状況を示すモニタ画面で、画面の上部から、揚水井番号、排水バルブ開度、リターンバルブ開度、分離タンク内の圧力および揚水量をリアルタイムに表示する。数値データの表示は、アナログ表現の棒グラフと、デジタル表現の両者によって示すことができるようになっている。

また、図-3 は、水位測定結果を示すモニタ画面で、

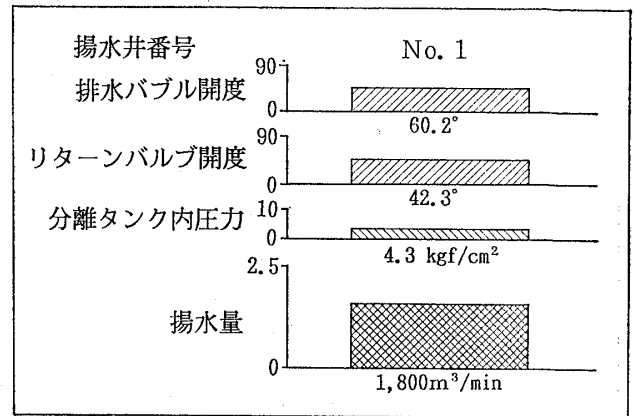


図-2 揚水制御のモニタ画面  
Fig. 2 Monitoring data on CRT of various controlling factors for the pumping

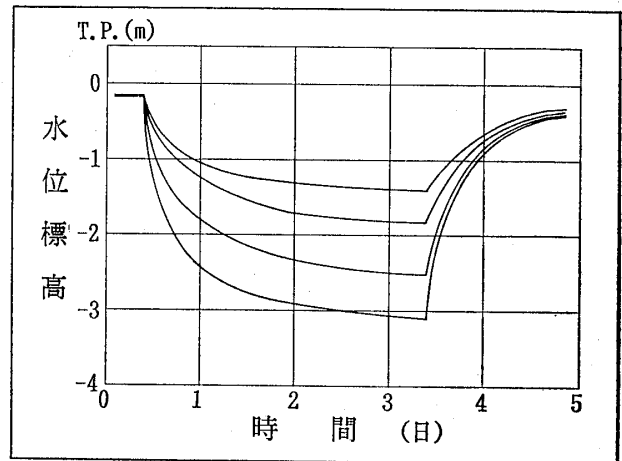


図-3 水位測定モニタ画面  
Fig. 3 Monitoring data on CRT of water table using automated system

そのときまでの水位の挙動を経時的に表示する。なお、水位標高のスケールおよび時間軸のスケールは、初期設定ファイルによって自由に設定することが可能である。

一方、段階揚水試験を実施するに当たっては、事前に揚水ポンプを運転し、最大揚水量のおおよその値を把握しておくことが必要である。

試験はつぎのようにして実施される。

#### (1) 段階揚水試験

段階揚水試験においては、各段階ごとの揚水量を設定する必要があり、そのために、この試験の開始前に求めた最大揚水量を6~8等分した量を段階揚水量とするのが一般的である。

このようにして求めた揚水量と揚水時間のそれぞれの値をコンピュータにスケジュールとして設定することによって、段階揚水試験は実行できる。なお、試験中に揚水量や揚水時間を変更する必要がある場合には、速やか

表-1 自動揚水試験装置の仕様

Table 1 Specifications of automated system

## (a) 揚水装置

機器名 (型式)	仕様
揚水ポンプ	第一帯水層 揚水量1.5m <sup>3</sup> /min 揚程 70 m 耐圧 10 kg/cm <sup>2</sup>
	第二帯水層 揚水量0.3m <sup>3</sup> /min 揚程 95 m
	第三帯水層 揚水量1.8m <sup>3</sup> /min 揚程 40 m 耐圧 10 kg/cm <sup>2</sup>
揚水管	SGP 6 (溶接およびフランジ 継手) SGP 3 (溶接およびフランジ 継手) (B用)
分離タンク	容量 0.12 m <sup>3</sup> 耐圧 10 kg/cm <sup>3</sup>
電動コントロール バルブ (F990-805)	位置決め分解能 0.5 度以上 最大使用圧力 10 kg/cm <sup>2</sup> 入力信号 DC 1~5 V 出力信号 DC 4~20 mA 使用温度範囲 0~80 °C
電磁流量計 (335 F 008 JBCC)	最大使用圧力 10 kg/cm <sup>2</sup> 使用温度範囲 0~50 °C 使用湿度範囲 10~50 % RH 総合精度 ±0.5 %
電磁流量計変換器 (372C2CAAABA)	電源 AC 100 V 出力信号 DC 4~20 mA
バルブコント ローラ(AP-1228T)	GP-IBインターフェイス装備 出力信号 DC 1~5 V
圧力計 (TEC-300)	最大測定圧力 10 kg/cm <sup>2</sup> 測定精度 1 % FS
起動盤	各ポンプ1台に1面
発電機	揚水ポンプ用 195 KVA 観測装置用 20 KVA
リターンパイプ	SGP 3 SGP 1 1/2

## (b) 水位観測装置

機器名 (型式)	仕様
水位トランス ジューサ (3523C)	入力電圧 DC 12 V 出力信号 DC 100mV FS 直線性 1 % FS
水位トランス ジューサ用 ケーブル (15394)	引張り強さ 10 kg 以上 ベントチューブ入り シールド付き 4芯

機器名 (型式)	仕様
A/D変換器 (DL-1200)	測定チャンネル数 23 以上 分解能 1 mV GP-IBインターフェイス内蔵 使用温度範囲 0~40 °C 使用湿度範囲 20~80 % RH 電源 AC 100 V 50/60 HZ
無停電電源装置 (ECC U10010)	出力容量 1 KVA 以上 使用温度範囲 5~35 °C 電圧整定精度 ±5 % 定格電流 1 A 以上

## (c) システム制御装置

機器名 (型式)	仕様
パーソナル コンピュータ (FC 9801A)	CPU 32 bit メモリ 640 Kb ハードディスク容量 40 Mb FDD 2 台
ディスプレイ (FC-9853U)	カラー表示 640×400 ドット
プリンター (PC-PR201B)	漢字対応 シリアルプリンター セントロニクス インターフェイス対応
インターフェイス ボード (RRY-32)	リレー接点出力
インターフェイス ボード (PC-9801-29N)	GP-IBインターフェイス IEEE-488 基準
光エクステンダ (HP 37204.A)	IEEE-488 基準 通信距離 1250 m 通信速度 60 kb/s
ケーブル (47673) (CVVS 2P) (YFBR.3210 S)	通信ケーブル (GP-IBインターフェイス) 電源コントロールケーブル 面積 0.14 mm 以上 光ケーブル 材質 石英 通信距離 1250 m
無停電電源装置 (ECB1 U10030)	出力容量 3 KVA 以上 使用温度範囲 5~35 °C 電圧整定精度 ±5 % 定格電流 3 A 以上

にスケジュールの変更ができるようになっている。

(2) 連続揚水試験

連続揚水試験においては、段階揚水試験の結果から適正揚水量を決め、揚水量、試験スケジュール（揚水開始時刻、終了時刻）および地下水位の観測時間を設定することによって、コンピュータ制御によって試験を実施することができる。

また、海上や臨海地域のように、潮汐による水位変動が大きい箇所においては、あらかじめ補正值を決めて、入力しておくことによって、観測井の水位データを補正

し、潮汐による影響を除いて、揚水による水位変動を出力することができるようになっている。

図-4は、この自動試験装置による揚水試験の流れを示したものである。

4 手動と自動による試験結果の比較

4・1 手動操作による多孔式揚水試験の結果

この試験の結果は、東京湾周辺の埋立地において、すべての操作を手動で行う方式によるものである。

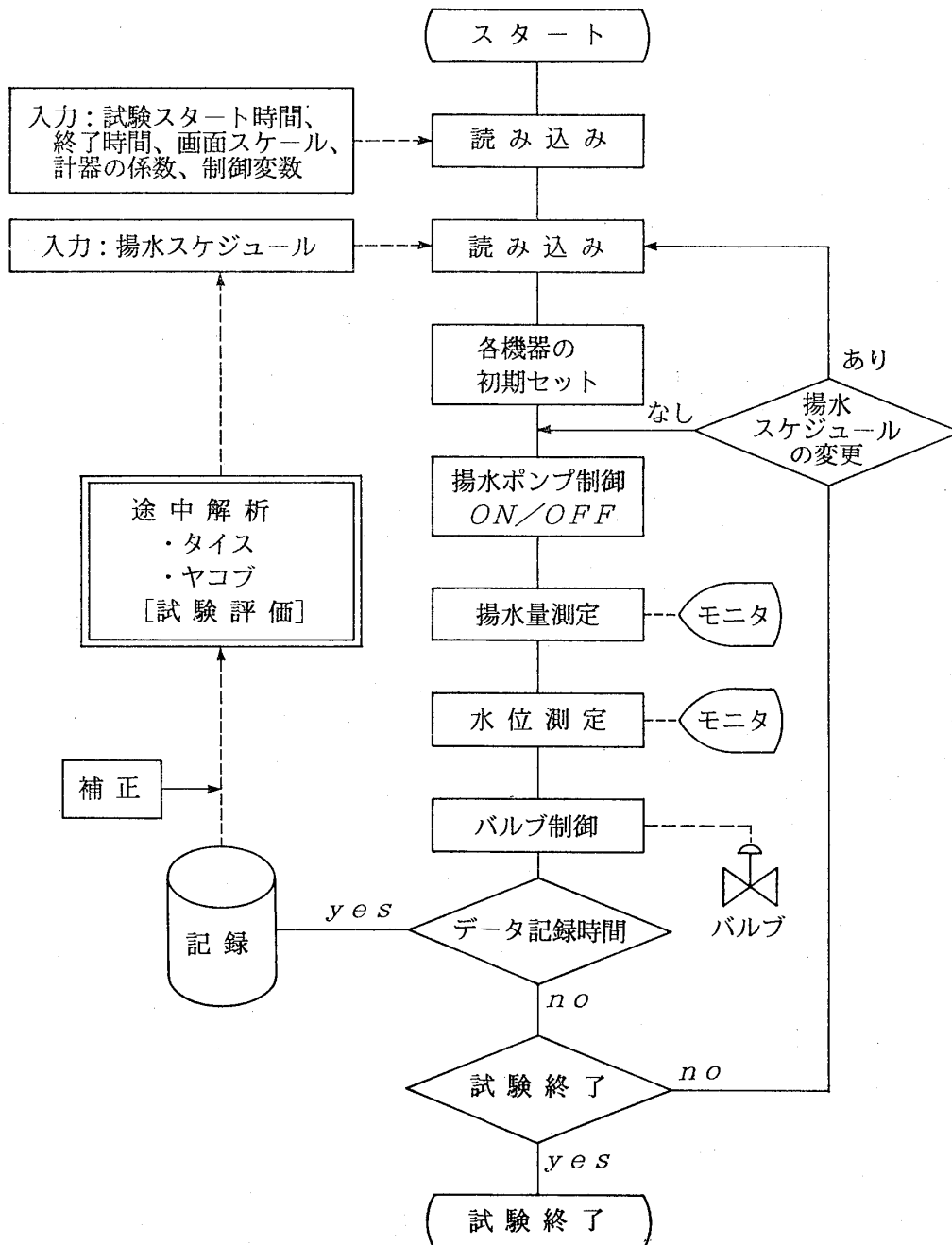


図-4 多孔式自動揚水試験装置による試験の流れ  
Fig. 4 Flowchart of the pumping test using automated system

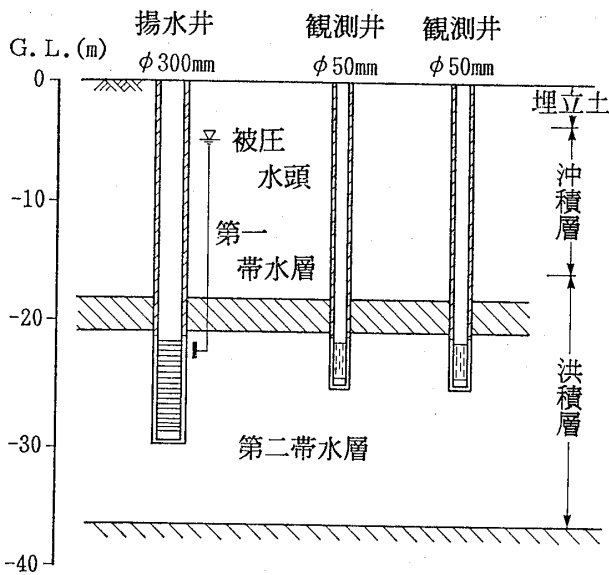


図-5 東京湾周辺の埋立地の帯水層状況  
Fig. 5 Profile of aquifer in the test-field (coastal area in the bay of Tokyo)

この埋立地の地質は、図-5に示すように、上位より埋立土層、沖積層、洪積層（成田層）から構成されており、砂質土層である沖積層が第一帯水層となり、砂層である洪積層は被圧地下水を有する第二帯水層を形成している。揚水試験は、この第二帯水層を対象として行われた。また、試験を実施した箇所は、海域から約500m陸側に入ったところではあるが、両帯水層の地下水位は、潮汐の影響を受けて変動するという状況にあった。

試験規模は、揚水井が1孔、観測井が4孔で、揚水量 $Q$ を $0.08\text{m}^3/\text{min}$ と設定し、揚水過程を6時間、回復過程を3時間とした。

この揚水試験における各観測井の水位降下量の時間経過は、図-6に示すとおりである。この図によれば、揚水過程において、定常状態（揚水開始後1時間経過）になってからの水位の変化をみるに、いずれの観測井においても、試験終了までの間の水位が上下している。また、回復過程においては、水位が初期の状態にまで上昇しなければならぬにもかかわらず、反対に降下する現象が見られる。

これらの観測結果を用いて、ヤコブの方法によって行った解析図を図-7に示す。この図によれば、直線関係を示すはずの $s \sim t/r^2$  関係に大きなばらつきが見られこの解析結果から求められた水理定数（透水量係数、貯留係数）は、表-2に示す通りである。この表によれば、これらの係数の値は観測井によって異なり、とくに、貯留係数のオーダーは $10^{-2} \sim 10^{-4}$ の範囲にあり、ばらつきが大きい。

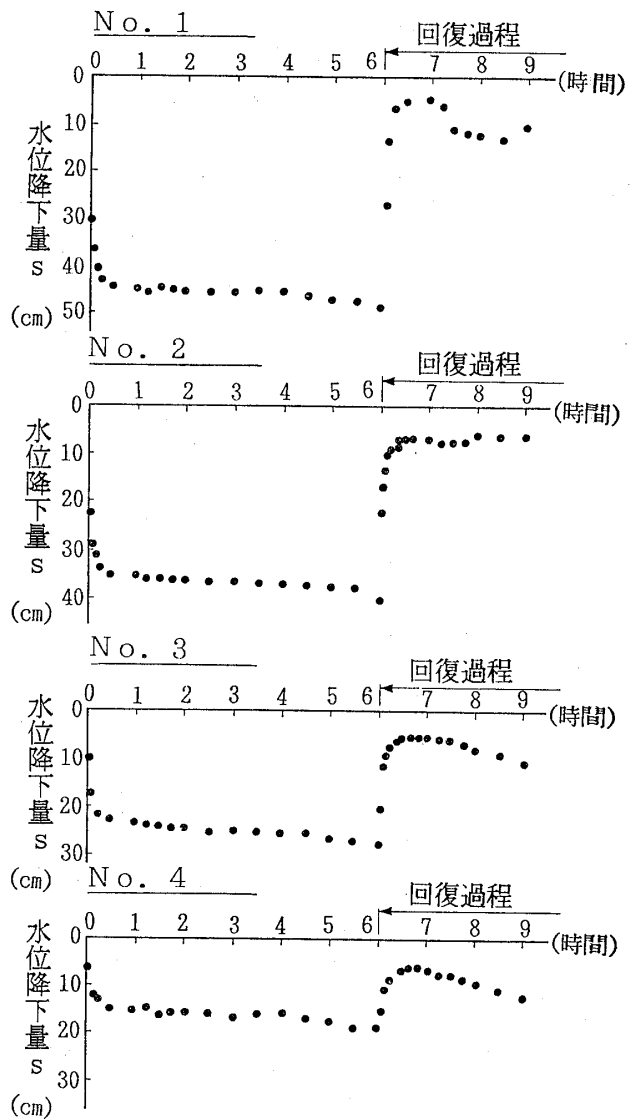


図-6 手動操作による揚水試験の結果  
Fig. 6 Results of the pumping test by hand (change of the water table by pumping)

潮汐の影響を受ける地域における揚水試験を手動で実施する場合、潮汐の変動によって揚水井内の水位が変化し、この水位の変化によって、揚水ポンプの揚程も変化し、揚水量を一定に保つことが困難になる。一方、観測井における水位測定においても、測定値がばらついたり、測定時間間隔が粗くなり、このようなデータを用いて、潮汐の影響によると考えられる水位変化を抽出することは不可能であろう。したがって、地下水位の変動が著しい地域において、手動による多孔式揚水試験を実施した場合、その測定精度に疑問が生じることになる。

#### 4・2 自動装置による多孔式揚水試験の結果

この試験の結果は、潮汐変動が比較的大きい東京湾の海上において、長期間実施したものである。



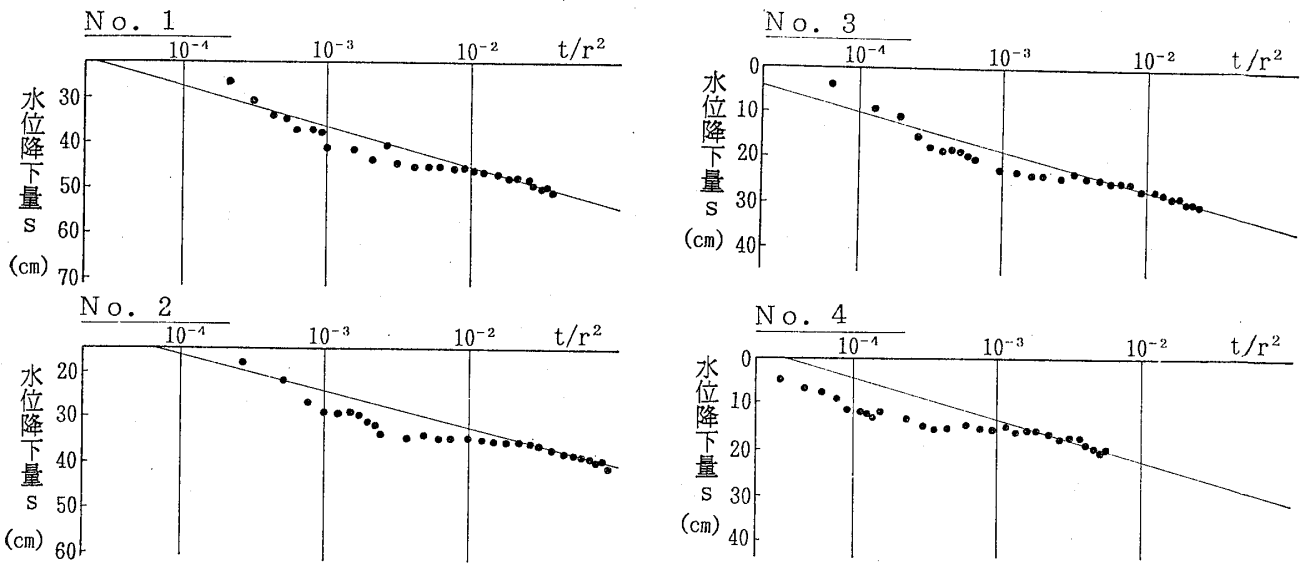


図-7 手動操作による揚水試験の解析結果 (ヤコブ法)

Fig. 7 Evaluated value of aquifer parameter observed by manual method (used the formula of Jacob)

表-2 手動揚水試験による水理定数

Table 2 Aquifer coefficients by manual method

観測点番号	透水量係数 T cm <sup>2</sup> /sec	貯留係数 S
1	$3.2 \times 10^1$	$1.1 \times 10^{-3}$
2	$3.4 \times 10^1$	$6.1 \times 10^{-2}$
3	$3.0 \times 10^1$	$4.7 \times 10^{-4}$
4	$2.4 \times 10^1$	$1.9 \times 10^{-2}$

試験箇所の地質は、図-8に示すように、上位より沖積層、洪積層（成田層、上総層）から構成されている。帯水層は粘土層（加圧層）の挟在によって、3つの帯水層（ここでは、この帯水層を上位より第一帯水層、第二帯水層および第三帯水層と呼ぶ）に分かれており、いずれも被圧地下水を有している。

この箇所における揚水試験は、上記の3つの帯水層に対して、それぞれ、最大7日間連続して行ったものであるが、ここでは、揚水井1孔、観測井6孔で実施した第一帯水層の試験結果について述べる。

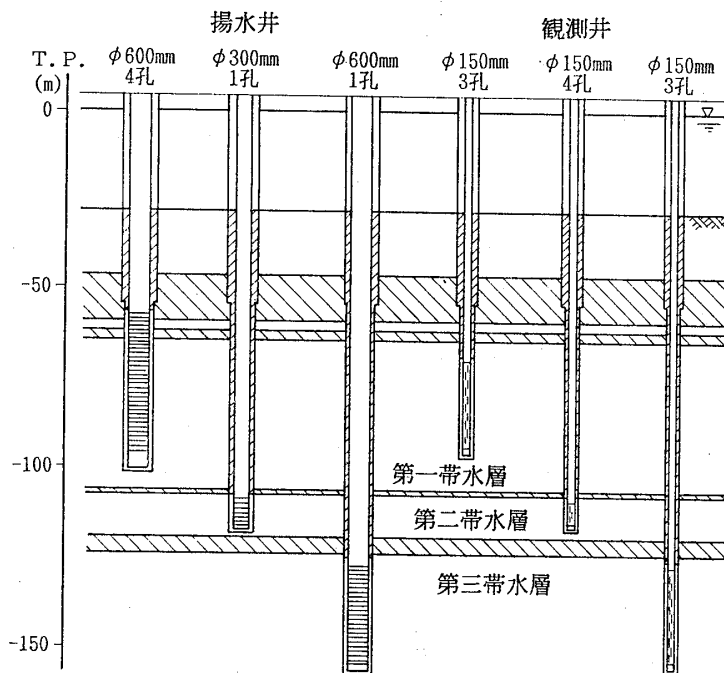


図-8 東京湾海域の帯水層状況

Fig. 8 Profile of aquifer in the test-field (marine area in the bay of Tokyo)

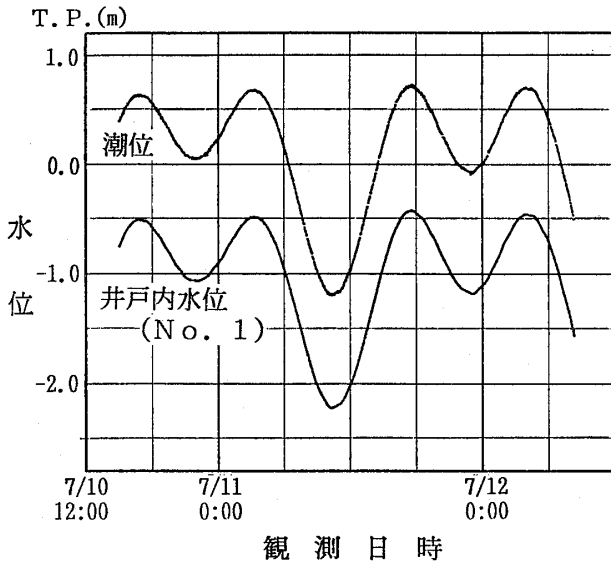


図-9 東京湾海域の第一帯水層の水位変動例  
Fig. 9 Cyclic change of the water table in the testing aquifer by tidal effect

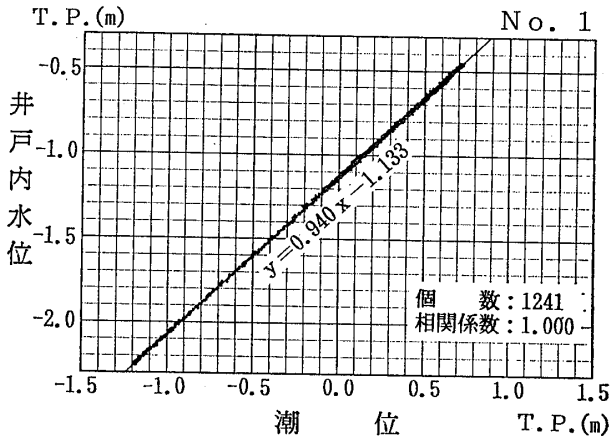


図-10 潮位と観測井内の水位の関係  
Fig. 10 Relationship between water table of the aquifer and sea water level by tidal effect

揚水試験の開始に先立って、潮汐による海水面の高さと、第一帯水層の被圧地下水の水頭とを同時に観測した結果は、図-9に示す通りである。この結果を用いて、潮位と井戸内の水位の関係として整理すると、図-10に示すようになる。この関係をコンピュータに入力して、観測井において観測された値に対して、潮汐による影響の補正を行った。

揚水試験における揚水量  $Q$  を  $2.0\text{m}^3/\text{min}$  として、3日間連続して揚水を実施し、その後、回復過程の観測を行った。

図-11は、潮汐補正を実施した後得られた各観測井の水頭の経時変化を示したものである。図-6に示した埋立地において手動で行った水位降下量の経時変化図と

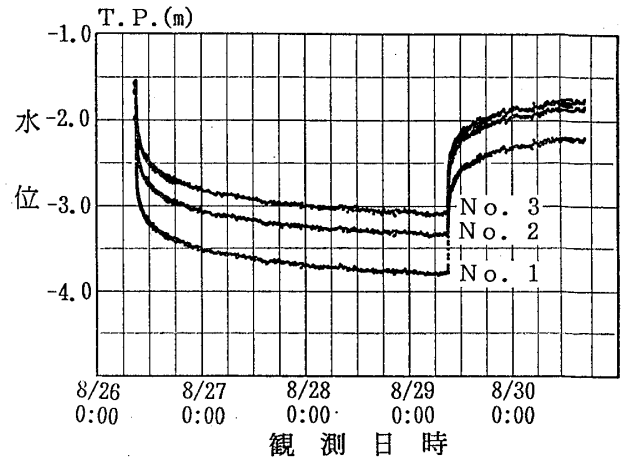


図-11 自動装置による揚水試験結果  
Fig. 11 Results of the pumping test by automated system

表-3 自動揚水試験による水理定数  
Table 3 Aquifer coefficients by automated system

観測点番号	透水量係数 $T$ $\text{cm}^2/\text{sec}$	貯留係数 $S$
1	$8.3 \times 10^3$	$1.3 \times 10^{-3}$
2	$8.8 \times 10^3$	$2.2 \times 10^{-3}$
3	$8.6 \times 10^3$	$1.0 \times 10^{-3}$
4	$7.7 \times 10^3$	$1.2 \times 10^{-3}$
5	$8.6 \times 10^3$	$1.3 \times 10^{-3}$
6	$8.8 \times 10^3$	$2.4 \times 10^{-3}$

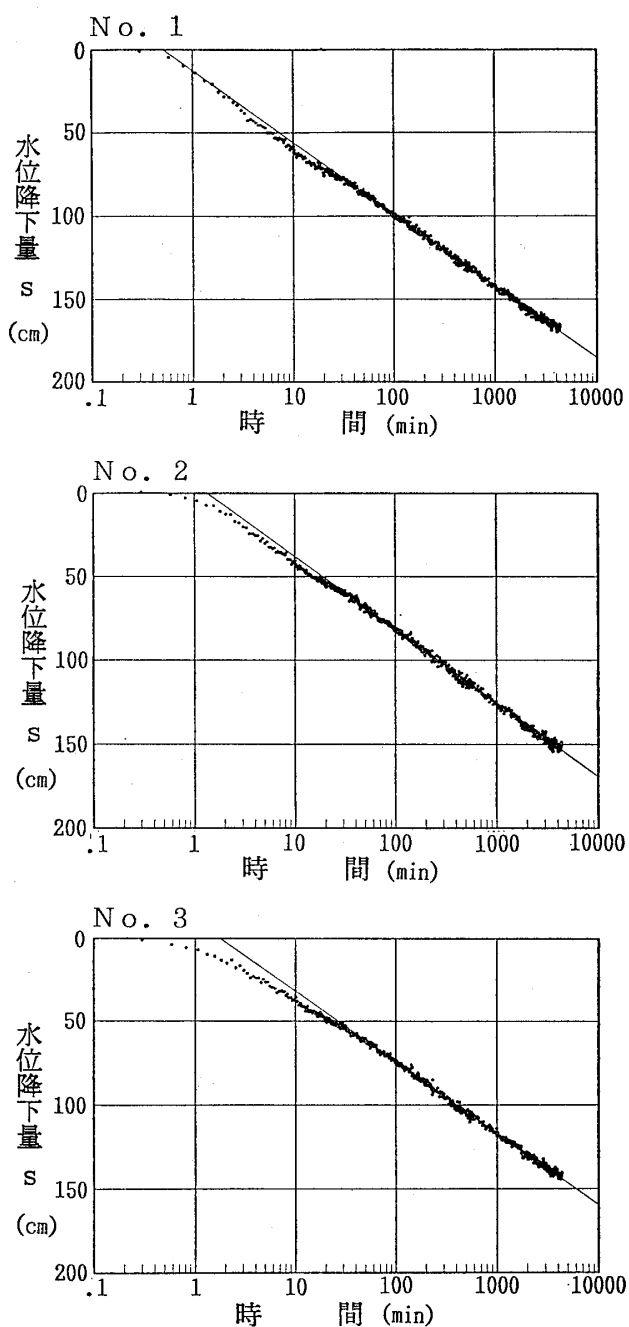
比較するとき、自動化装置を用い潮汐補正を施した図-11は、極めてスムーズな曲線として描かれていることがわかる。

さらに、若干の観測井に関するヤコブの方法による解析図を図-12に示す。いずれの観測井の曲線も直線近似が容易であり、ばらつきは極めて小さいことがわかる。

ヤコブの解析法によって求めた水理定数(透水量係数と貯留係数)を表-3に示す。この表に示す6つの観測井における透水量係数は、 $7.7 \sim 8.8 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{sec}$ の範囲にあり、また、貯留係数は、 $1.0 \sim 2.4 \times 10^{-3}$ の値を示している。各観測井のこれらの係数は、さきに述べた手動の場合に比べるとかなり一致した値を示している。

### 5 おわりに

4章に述べたように、多孔式揚水試験を実施するに当



図—12 自動装置による揚水試験の解析結果  
 Fig. 12 Evaluated value of aquifer parameter  
 observed by automated system  
 (used the formula of Jacob)

って、揚水量の制御および観測井における水位測定 of 自動化、ならびに、試験開始から終了までの全試験過程の集中管理と自動化によって、従来から行われてきた手動方式によるよりも精度の良い観測値を得ることができ、さらに、試験作業の能率化をはかることができた。

したがって、今後大規模な掘削工事に際し、水理定数を精度良く求めるために、このような自動化による揚水試験を活用すべきであると考ええる。

この報文においては、単一井戸からの揚水、若干個の観測井における試験例について述べたが、本装置は、群井戸のような複数井戸における同時揚水や、さらに多くの観測井における水位観測にも適用することができる。

また、若干の変更を加えることによって、つぎのような工事にも適用できると考える。

- ディープウェル工事においては、地下水位制御であるために、揚水井における流量計を水位計に置換えて、フィードバックに使用する信号として水位計からの信号を使用するようにすればよい。なお、コンピュータ使用に関わる誤動作に対する安全装置を備えることは必要である。
- 地下水人工涵養においては、揚水と注水の2種類の管理が必要になる。この場合も、安全装置を備えることが必要である。
- その他、温泉の汲み上げ量の調節や河川堤防の湛水実験などにも適用できる。

