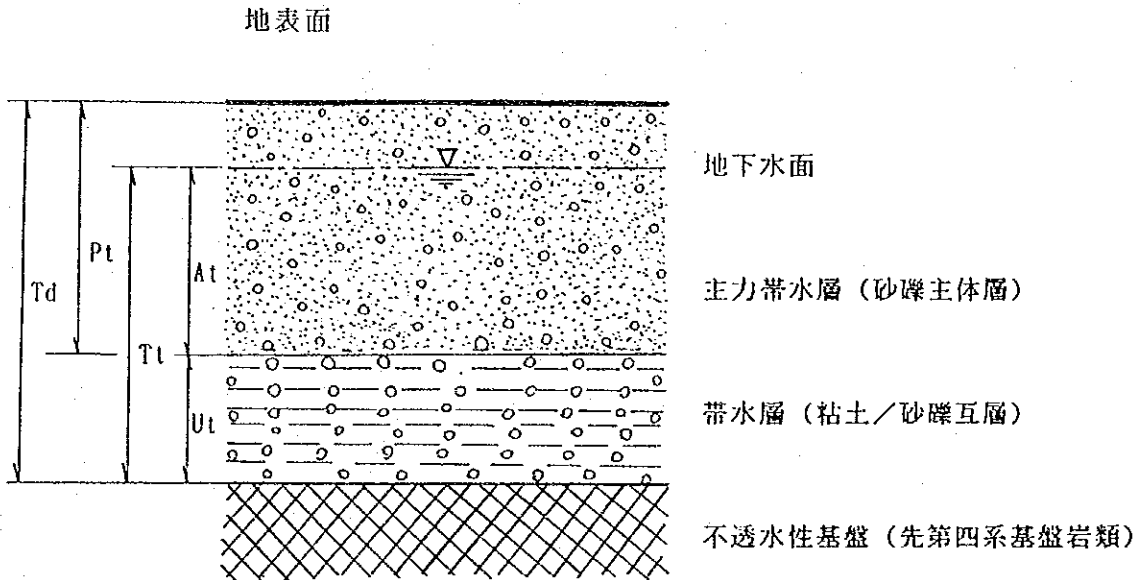


6. 2. 3 帯水層の構造

調査対象地域の帯水層の構造は、基本的に図-6.2.4に示すような先第四系（二畳系、三畳系、ジュラ系、新第三系）を不透水基盤とし、これを埋積する下位の粘土/砂礫互層（帯水層）、および上位の砂礫主体層（主力帯水層）の3層構造と見なせる。



- ここに、
- Td : 第四系の層厚
 - Tt : 第四系帯水層の全体層厚
 - Pt : 砂礫主体層の層厚
 - Ut : 粘土/砂礫互層の層厚
 - At : 主力帯水層（砂礫主体層）の層厚

図-6.2.4 帯水層の模式的構造図

(1) 新第三系の帯水層

先第四系の基盤岩類は基本的に不透水性基盤と見なせるが、先にも述べたように西山農場付近で新第三系中に被圧帯水層の存在が確認された。

被圧帯水層を挟在する新第三系はF-1断層とF-2断層に挟まれた楔形地域の西側、つまり新第三系基盤岩の高まりにのみ分布する。このことは、断層変位運動によりこの楔形ブロックが他のブロックと隔絶して浮き上がり、他とは異なった層相を呈する地層が分布するようになったものと考えられる。このような断層が基盤岩中の帯水層の分布や地下水の流れを強く規制しているものと判断される。

この楔形ブロックと、地下水面の項で述べた地下水マウンド（高まり）の分布域とはほぼ一致し、加えてS-2観測井で確認された新第三系中の被圧地下水の水頭が周辺の第四系中の地下水頭とほぼ一致することから、両者は水理的には連続しているものと考えられる。このようにして、地下水マウンドは新第三系被圧帯水層から供給された地下水により形成されたものと判断される。

以上の様に、不透水性基盤と見做せる先第四系であっても、例外的に西山農場付近の地下水マウンドでは地下水が供給されていると考えられる。この供給量や涵養機構等については、広域の水文地質調査が必要であり、今回の限られた調査では明確にすることはできないが、現時点での推定を次に述べる。

涵養源については、大まかに標高の高い地域、つまり調査対象地域南西の天山山脈山麓部ではないかと推定されるにとどまる。図-2.2.1の調査地域周辺の地質図（1/200,000）に示されるように、調査地域の南西部には、天山山脈の山麓を覆いQ₁層（第四系最下部層）が分布する。Q₁層は泥質の砂礫層より成り、下位の新第三系（鮮新統）とは整合関係にあることから、両層は水理的にも連続していると考えられる。このため、Q₁層で涵養された地下水が新第三系中を通り、低標高部で被圧地下水となって現れることが考えられる。この場合調査地域の第三系中の被圧帯水層の涵養源は、調査地域西南の烏魯木齊河と頭屯河に挟まれた地域と推定される。

流入量（涵養量）についても、広域調査を実施していないため定量的な判断はできないが、地下水面の項で述べたように地下水マウンドの水面勾配が非常に急であることから、その量はそれほど多くはないものと予想される。つまり、地下水マウンドの勾配が周辺に比較し著しく急であるということは、その透水性が周辺よりも小さいこ

とが考えられ、この様な場合少量の涵養量であっても高いマウンドを形成すると考えられるからである。

(2) 帯水層 (粘土/砂礫互層)

粘土/砂礫互層は帯水層区分で述べたようにその厚さ、およびその性状(粘土層の占める割合や粒径等)大きく異なり、極めて不均質な帯水層であると言える。

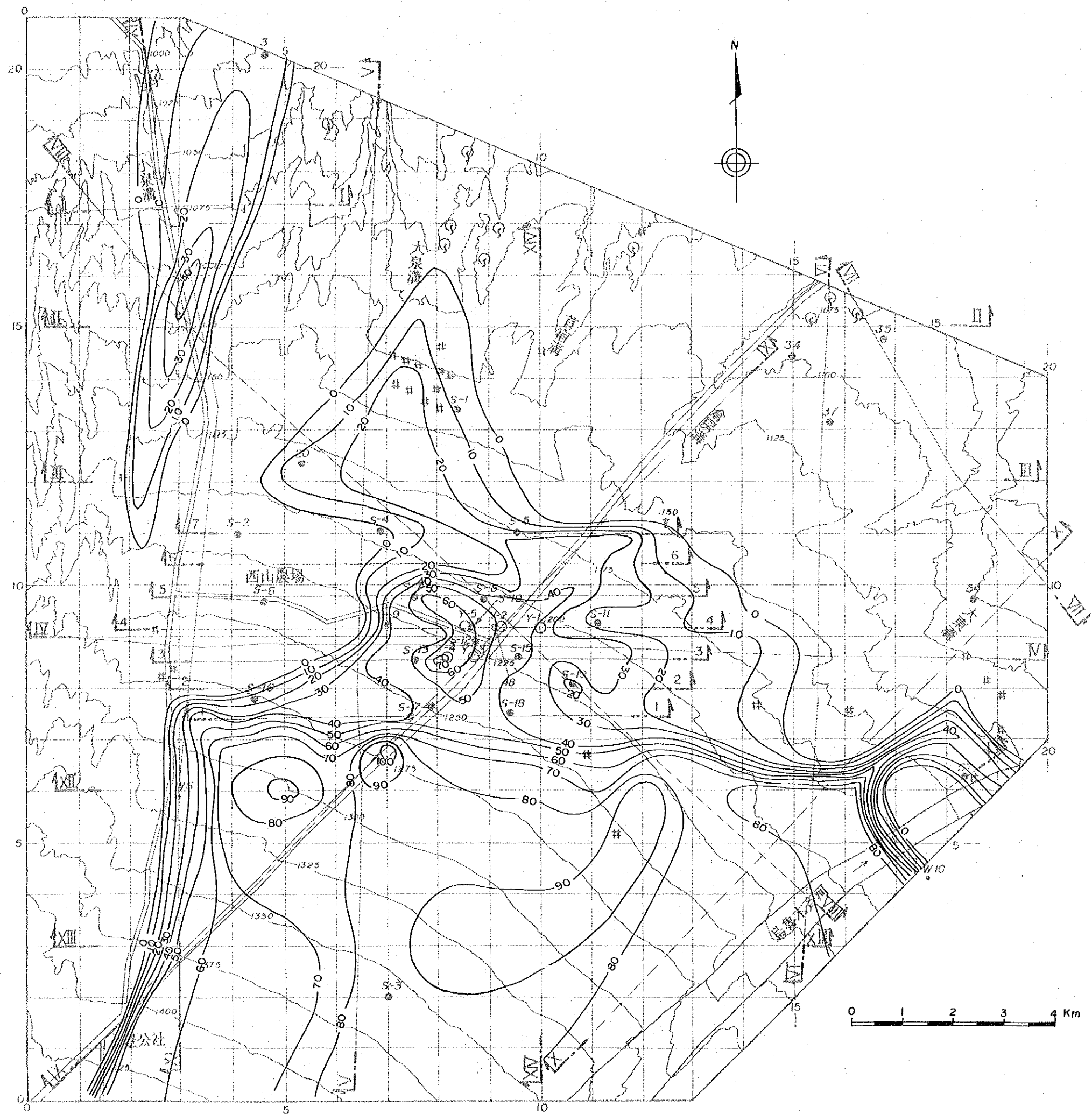
挟在される粘土層の連続性は極めて不良であり、広域にわたり地下水を被圧する加圧層とは成り難いが、局部的に被圧の程度の低い被圧地下水が存在することも考えられる。

図-6.2.5 に粘土/砂礫互層(帯水層)の等層厚線図を示す。この図に示されるように、粘土/砂礫互層は主として調査対象地域中央部から南部にかけて分布し、基盤面が急激に深くなるF-3断層以南で厚くなる傾向が認められる。南部での最大層厚は100m程度であると推定される。

(3) 主力帯水層 (砂礫主体層)

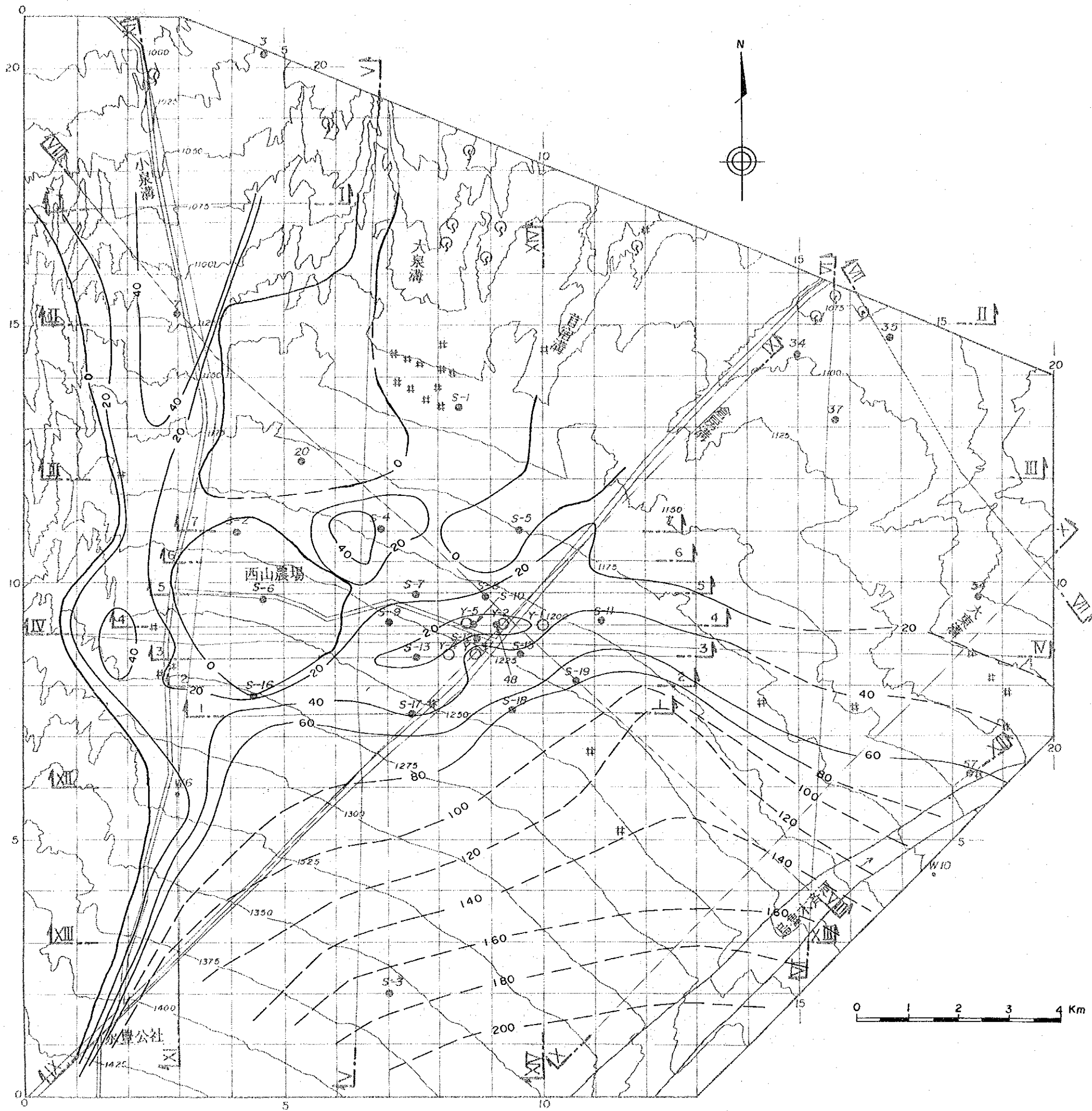
主力帯水層(砂礫主体層)はさく井調査、孔内検層、電気探査の結果から粘土層等の挟在層は認められず、比較的均質な砂礫層であると考えられる。つまり、層理構造の発達しない塊状の構造(中国では松散構造と呼ばれる)である。

図-6.2.6に主力帯水層の等層厚線図を示す(砂礫主体層の帯水部の厚さを示す)。この図に示されるように主力帯水層は調査対象地域のほぼ全域にわたり分布するが南方の地下水盆中央に向いその厚さを増し調査対象地域南縁では200mにも達すると推定される。



- 凡例
- 揚水井 (今回の調査でさく井)
 - 観測井 (S番は今回の調査でさく井)
 - 井 既設井戸
 - ⊕ 湧水地点
 - ┌─┴─┐ 断面線
 - 40— 帯水層(粘土/砂礫互層)等層厚線
(数字は層厚(m)を示す)

図-6.2.5 帯水層(粘土/砂礫互層)等層厚線



凡例

- 揚水井 (今回の調査でさく井)
- 観測井 (S番は今回の調査でさく井)
- 井 既設井戸
- ⊙ 湧水地点
- ┌─┐ 断面線
- 40 主力帯水層 (砂礫主体層) 等層厚線 (数字は層厚(m)を示す)

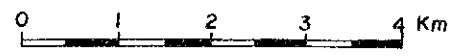


図-6.2.6 主力帯水層 (砂礫主体層) 等層厚線図

6. 2. 4 帯水層の水理的性質

今回実施された一連の揚水試験により水理定数が求められた。これについてはC. さく井調査の章で詳述しているのでこれを参照されたい。ここでは求められた結果に基づき帯水層の水理的性質について検討を行う。

(1) 帯水層の透水性

揚水試験の結果得られた透水係数は予想していたものよりはるかに大きなものであった。つまり、砂礫主体層（主力帯水層）で 1×10^{-2} cm/秒オーダー、粘土/砂礫互層（帯水層）では 1×10^{-3} cm/秒オーダーから 1×10^{-4} cm/秒オーダーの値を、簡易揚水試験結果やボーリングの地質資料の観察から予想していた。しかし、今回実施した本格的な揚水試験では砂礫主体層の透水係数として 1×10^{-1} cm/秒オーダー、粘土/砂礫互層で 1×10^{-2} cm/秒オーダーの値を示し、予想よりもはるかに高い結果が得られた。

一般に 1×10^{-1} cm/秒オーダーの透水係数を示す堆積物は、現河床堆積物の様なきわめてルーズで粗粒なものに限られ、当地域の砂礫主体層の様に細砂分をを含み良く締まった砂礫層がこの様な大きな透水係数を有することは通常の場合想定し難い。ましてや粘土層を幾枚も挟在し、砂礫層であっても粘土を多量に混える粘土/砂礫互層が 1×10^{-2} cm/秒オーダーの高い透水係数を示すことを説明するには何らかの特殊な条件を考える必要がある。

粒度構成に比しこの様な大きな透水性を有す理由として、当該地区の帯水層の特殊性が考えられる。つまり、6.1.1章で述べたように本地域の砂礫層（粘土/砂礫互層中の砂礫層も含む）は、井戸掘削時に経験されるように、ケーシング無しで200m以上も掘進できるほど非常に安定しており、言い替えれば固結度のかなり高い砂礫層である。砂礫層を固結している物質としては硫酸ナトリウムや石膏があげられる。井戸の地質資料を観察するとしばしば礫の表面に白色膜が付着しているのが認められ、これが硫酸ナトリウムや石膏の膠結物質であろう。砂礫層がこの様な塩類により膠結されると、当初は粒子間の空隙が膠結物質により充填されるであろうが、その後は水溶性膠着物質が溶出し、その後が空隙として存在するため浸透性が良くなると考えられる。この様にして形成された空隙は周辺が膠結されているため、しばらくの間は安定し、かなりの大きさになっても容易に潰れることなく、溶出がさらに進むとより多孔質となり大きな水道の形成につながる。

(2) 貯留係数

C. さく井調査の章で述べるように、今回の一連の揚水試験結果から当初予想していたものよりはるかに小さな貯留係数が得られた。試験により得られた砂礫主体層（主力帯水層）とその下位の粘土/砂礫互層（帯水層）の平均貯留係数は、 1×10^{-2} から 1×10^{-3} オーダーの値を示し、これはほぼ不圧帯水層と被圧帯水層の中間に相当する。このことは帯水層中に被圧性の帯水層が一部存在する可能性が高いことを示す。

上位の砂礫主体層中に加圧層（粘土層）が存在しないことから、少なくとも被圧帯水層は存在しないと判断される。このため砂礫主体層（主力帯水層）の貯留係数は砂礫層の一般的な有効間隙率である 1×10^{-1} から 3×10^{-1} 程度の値が予想される。

一方下位の粘土/砂礫互層中には幾枚もの粘土層が挟在し、被圧帯水層を含んでいる可能性が大きく、貯留係数（比貯留量）が小さいことが予想される（ 1×10^{-2} から 1×10^{-4} ）。

しかし、現在までの調査では粘土/砂礫互層中に明かな被圧帯水層は見つかっておらず、その地下水水頭は上位の砂礫主体層中の地下水水頭とほぼ一致する。また、本層中の粘土層の連続性はきわめて悪く、広域にわたり地下水を被圧するような加圧層の存在は考えられない。このため、粘土/砂礫互層には被圧帯水層は存在するかも知れないが、極端に被圧された帯水層は存在しないものと考えられる。

B. 電 氣 探 査

B. 電気探査

詳細目次

頁

1	電気探査の目的および構成	B- 1
2	垂直電気探査	B- 1
2. 1	測点および測量	B- 1
2. 2	測定装置	B- 4
2. 3	測定方法および測定結果の処理	B- 5
2. 4	探査結果の解析	B- 6
2. 5	考 察	B-17
3	水平電気探査	B-20
3. 1	測点および測量	B-20
3. 2	測定装置	B-20
3. 3	測定方法および測定結果の処理	B-21
3. 4	探査結果の解析	B-22
3. 5	考 察	B-26

図リスト

図-2.1.1	電気探査測線および測点配置図	B- 2
図-2.3.1	シュランベルジャー電極配置	B- 5
図-2.4.1	V E S 曲線解析図 (その1)	B- 7
図-2.4.2	V E S 曲線解析図 (その2)	B- 8
図-2.4.3	解析比抵抗分布断面図 (1～3 測線)	B- 9
図-2.4.4	解析比抵抗分布断面図 (4～7 測線)	B-10
図-2.4.5	解析比抵抗分布断面図 (X II 測線)	B-11
図-2.4.6	解析比抵抗分布断面図 (X III 測線)	B-12
図-2.4.7	解析比抵抗層境界面等深度図 (第2層と第3層の境界面)	B-15
図-2.4.8	解析比抵抗層境界面等深度図 (第1層と第2層の境界面)	B-16
図-3.3.2	双極子電極配置	B-21
図-3.4.1	水平電気探査結果	B-23

表リスト

表-2.1.1	垂直探査の測線延長および測点数	B- 3
表-2.2.1	垂直電気探査に用いた測定機材	B- 4
表-2.3.1	電極間隔の設定値	B- 5
表-3.1.1	水平電気探査数量	B-20

B 電気探査

1 電気探査の目的および構成

電気探査は、調査対象地域の水文地質構造(基盤面の形状、帯水層の分布、性状等)を把握するために実施した。

電気探査は水文地質構造の全体像を把握するための垂直探査と、垂直探査で地下の異常構造が推定された地域でそれを確認するための水平探査から成る。

2 垂直電気探査

2.1 測定および測量

計画対象地域(精査域)において、東西方向に650m間隔で平行して南から1～7測線を配置し、測点間隔を700mとした。

それ以外の調査対象地域(概査域)には、調査対象地域南部に東西方向のXII、XIII測線、調査中央部に南北方向のXIV測線を配置し、測点間隔は1000～1500mとした。

測線及び測点の配置を図-2.1.1に示す。

測線の延長および測点数は表-2.1.1に示す。

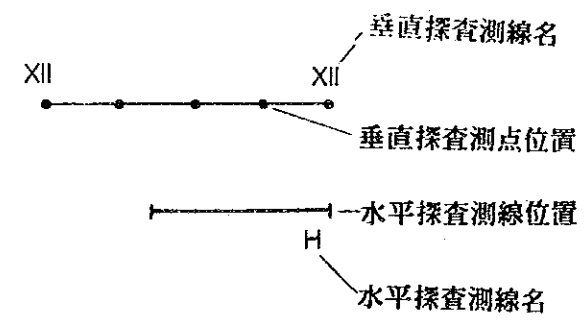
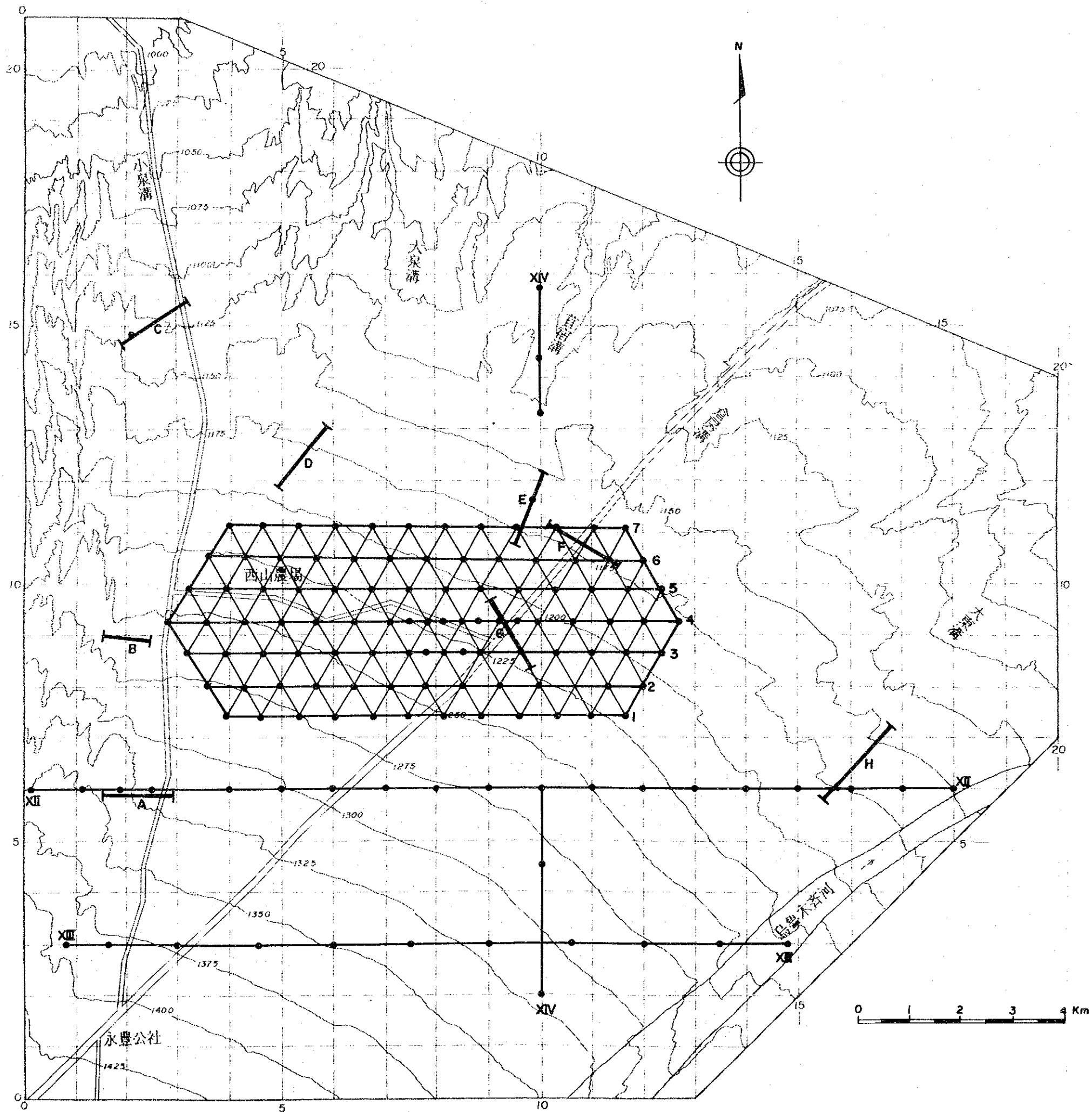


図-2.1.1 電気探査測線および測点配置図

表-2.1.1 垂直探査の測線延長および測点数

測線名	延長(km)	測点数	測点間隔(m)	
精 査 域	1	7.8	11	700
	2	8.4	13	700
	3	9.1	16	700
	4	9.9	19	700
	5	9.1	14	700
	6	8.4	13	700
	7	7.8	12	700
概 査	X II	18.0	19	1000
	X III	13.5	11	1500
	X IV	14.0	5	1000~1500

調査対象地域は地形の起伏が少なく障害物もないことから各測線の端部に起点を三角測量で設定した後、トランシットおよび間縄により順次測点を定めた。

2. 2 測定装置

日本側資機材の現地到着が1988年 9月22日であったので、中国側資材を用いて大部分の探査を行った。次の表に垂直探査に用いた日中双方の測定機材を示す。

表-2.2.1 垂直電気探査に用いた測定機材

		日本側測定機材	中国側測定機材
測定器名		SYSCAL-R2	DDC-2B 電子自動賠償器
送信機部	最大出力	700V, 1A 断続方形波	3A, 400V 一定波
	出力電圧範囲	10V~700V	45V~1200V
	出力電流	1mA~1A (0.25~1Hz可変)	2.5mA~ 3A
受信機部	入力インピーダンス	1MΩ	8MΩ
	入力電圧範囲	0V~ 2V	0.0025V~ 2V
	測定精度	標準精度 0.3%	1mV~3mVで 3% 10mV以上で1.5%
	表示方式	デジタル式	アナログ式
特徴		スタッキング機能, メモリー機能 充電率測定可能	自然電位補償機能
使用電源		12V DC蓄電池 DC/DC 100W コンバータ	45V DC乾電池
電極	送信電流	径25m/m ステンレス電極	径25m/m 鉄電極
	電位電極	銅-硫酸銅素焼非分極性電極	径25m/m 鉄電極

2. 3 測定方法および測定結果の処理

(1) 測定方法

①電極配置

シュランベルジャー電極配置による比抵抗垂直探査を実施した。測定系の位置関係を図-2.3.1に示す。

電極間隔は原則として、1対数あたり6点以上の見掛比抵抗値が求められるように下記の通り定めた。また低比抵抗値を示す比抵抗基盤を確認後に測定終了とした。

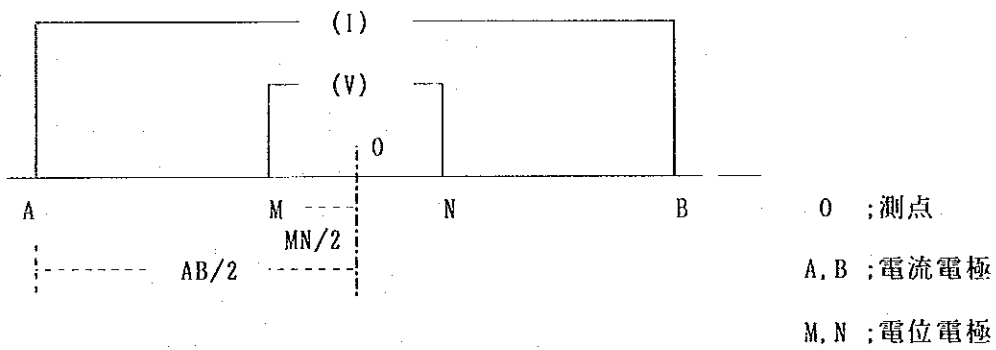


図-2.3.1 シュランベルジャー電極配置

表-2.3.1 電極間隔の設定値

AB/2(m)	1.2	2.0	3.0	4.5	6.5	9.0	12	17	22	30
MN/2(m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		
							3	3	3	3

AB/2(m)	40	50	65	150	250	350	500	750	1000	1500
MN/2(m)		15	15	15	15	15	15			
	3	3	3			100	100	100	100	100

②現場での測定値の検証

測定時に見掛け比抵抗値を計算し、VES曲線を描画して、不審な値については直ちに再測した。また測定に当たってはできるだけ接地抵抗を下げ電流を大きくすると共に、電線からの漏洩をチェックし精度の向上に努めた。

電極配列が直線上にある場合の見掛け比抵抗値は次式で計算した。

$$\rho_s = \frac{\pi}{4} \times \frac{AB - MN}{MN} \times \frac{V}{I}$$

V ; MN間の電位差
I ; AB間の電流

調査対象地域には測線展開の障害物はなく、測線はほぼ一直線にのり、電極移設による補正の必要はなかった。

(2) 測定結果の処理

測定結果は、横軸に深度AB/2を、縦軸に見掛け比抵抗値 ρ_s をとり、VES曲線を作成した。全測点(133点)についてパソコン(EPSON PC 286L)を用いて、対話形式で1次元多層構造シミュレーション解析を実施した。

2. 4 探査結果の解析

(1) VES曲線

VES曲線の代表的な解析図を図-2.4.1および図-2.4.2に示す。VES曲線については資料集B電気探査結果を参照されたい。

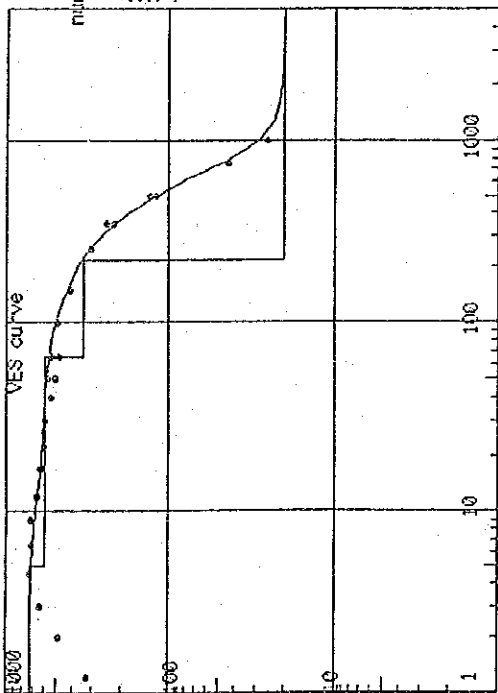
VES曲線の特徴は次の通りである。今回の調査対象地域では全体に比抵抗変化の連続性が良好なVES曲線が得られた。VES曲線は電極間隔の増大に伴い見掛け比抵抗値が(高～中)→(高)→(低)の姿態を大部分示す。全体の2割程度の測点では、表層付近の比抵抗は不均質性を示し、電位電極の重複部で測定値が大きく異なる。

(2) 比抵抗解析断面図

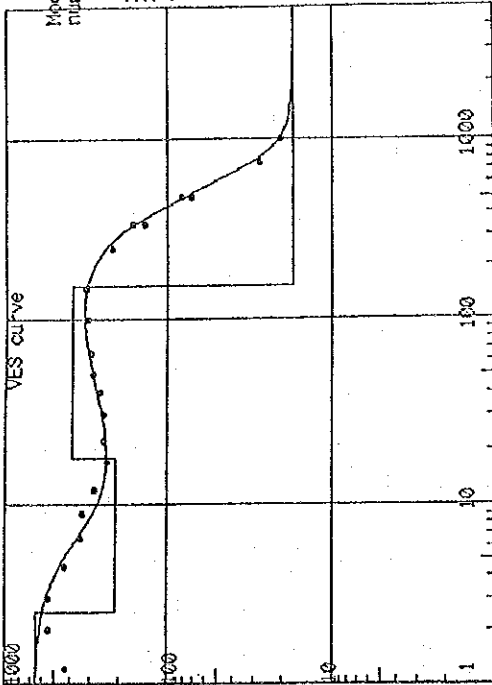
各測線毎に求めたVES曲線の解析結果を、比抵抗解析断面として図-2.4.3～図-2.4.6に示す。

カーブマッチング法により各測線のVES曲線は3～6層に区分されるが、全体的な傾

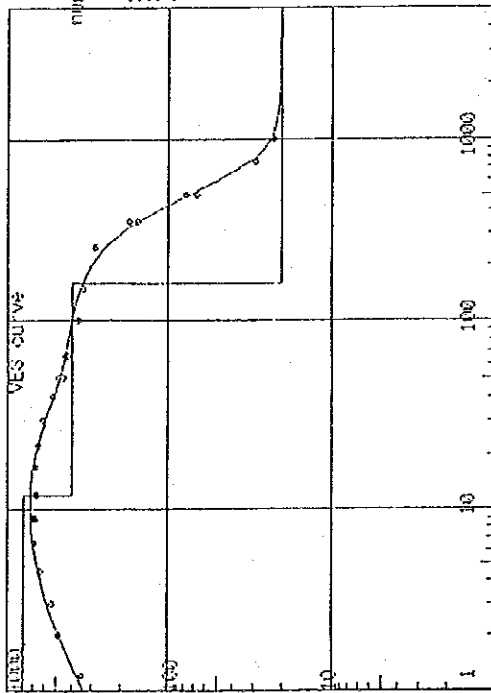
No. = 1-73 (43)



No. = 2-59 (53)



No. = 3-73 (68)



No. = 4-87 (88)

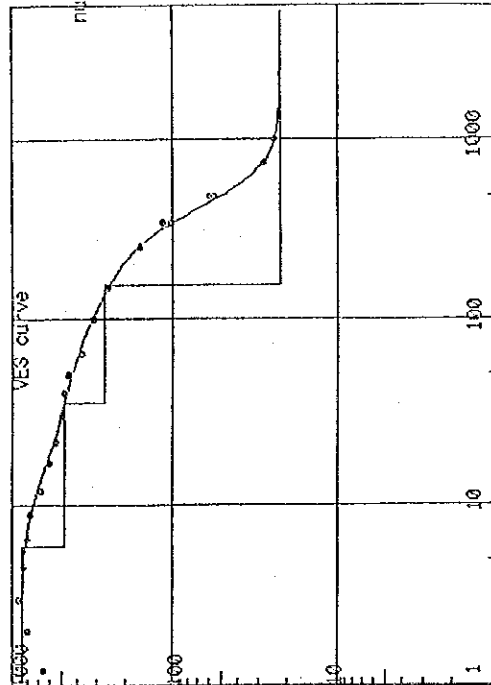
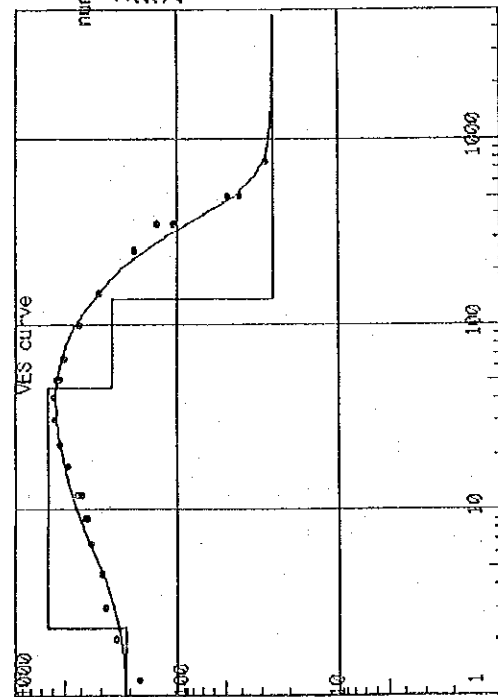
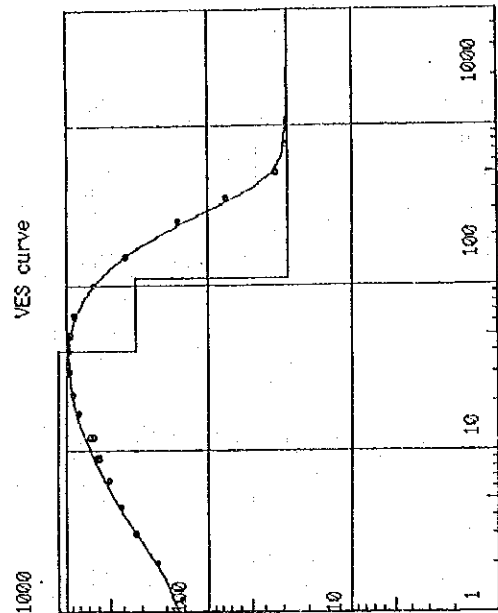


图-2.4.1 VES曲线解析图

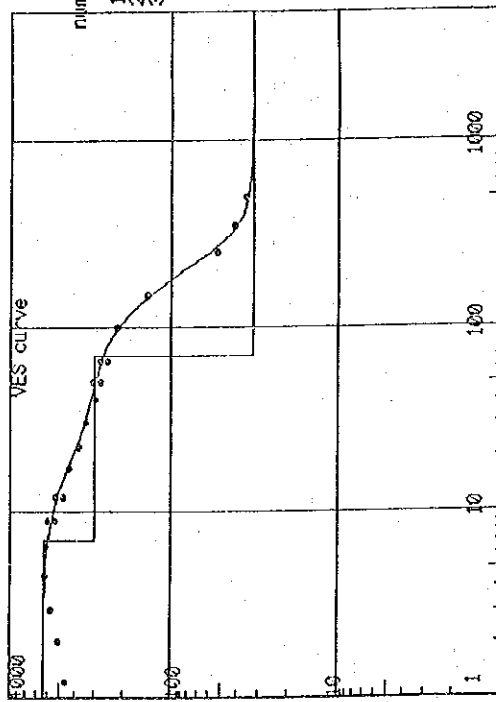
No.=5-80 (104)



No.=6-52 (114)



No.=7-94 (133)



No.=12-32 (25)

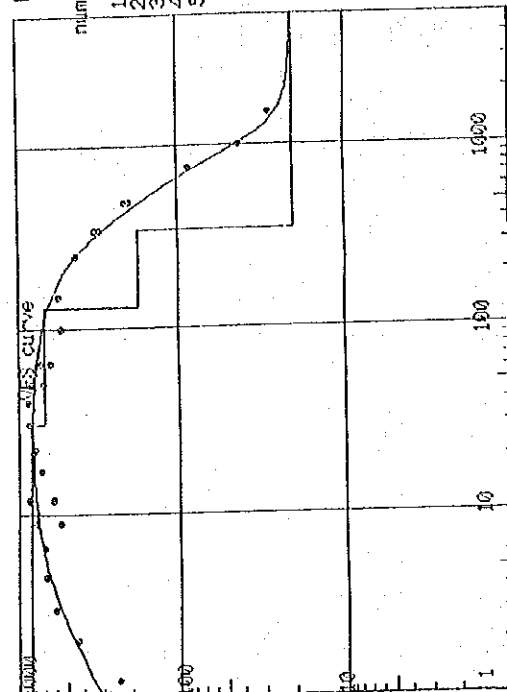
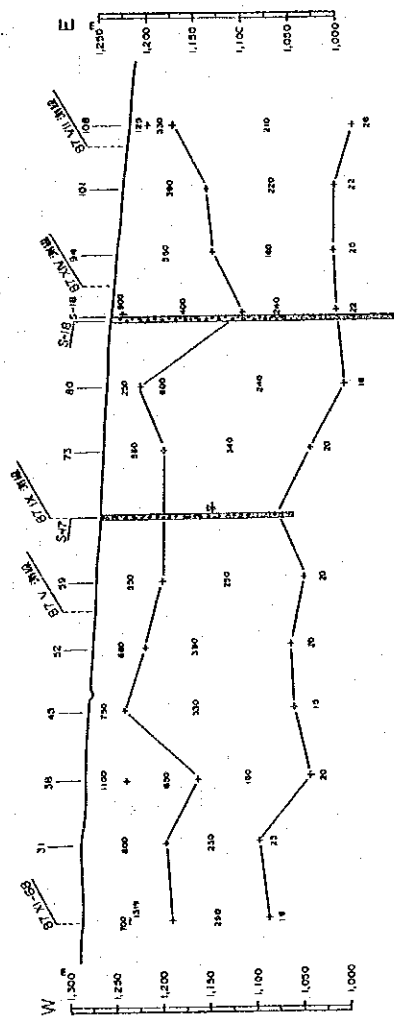
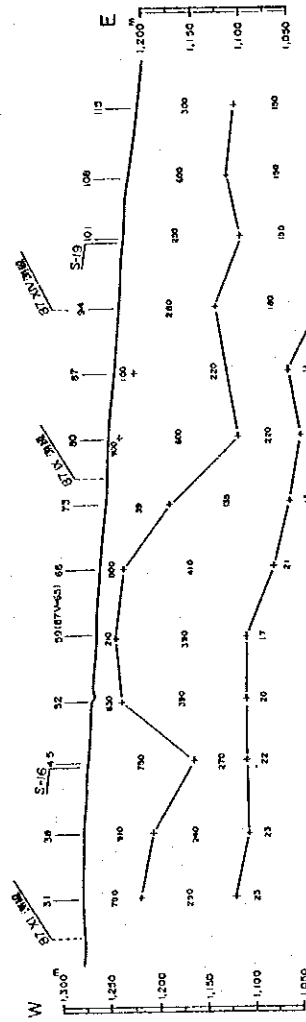


图-2.4.2 VES曲线解析图

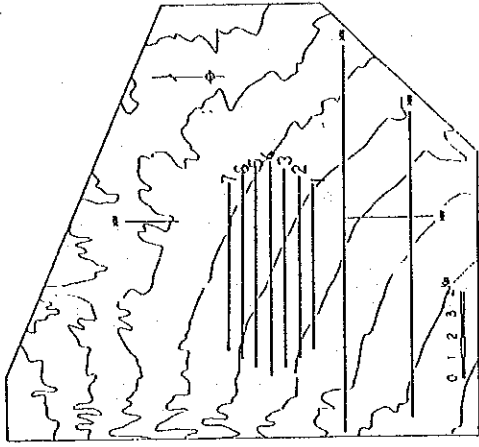
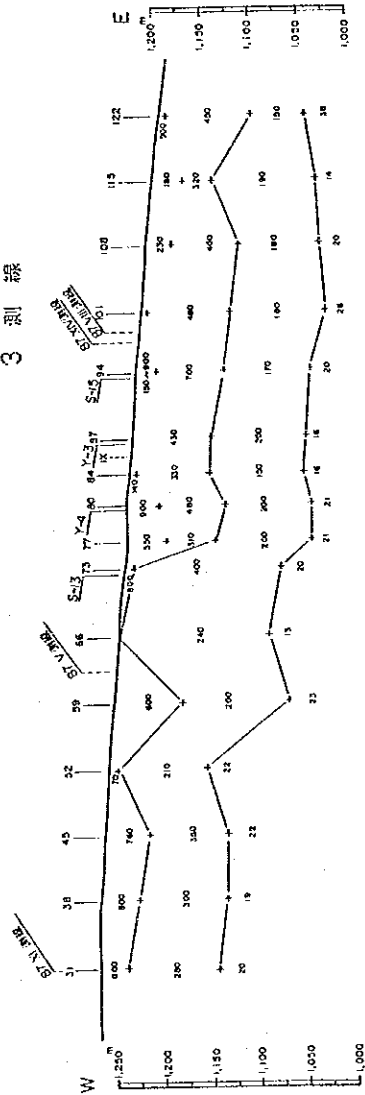
1 剖面



2 剖面



3 剖面



凡例

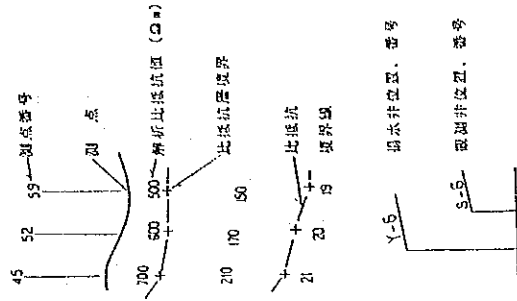
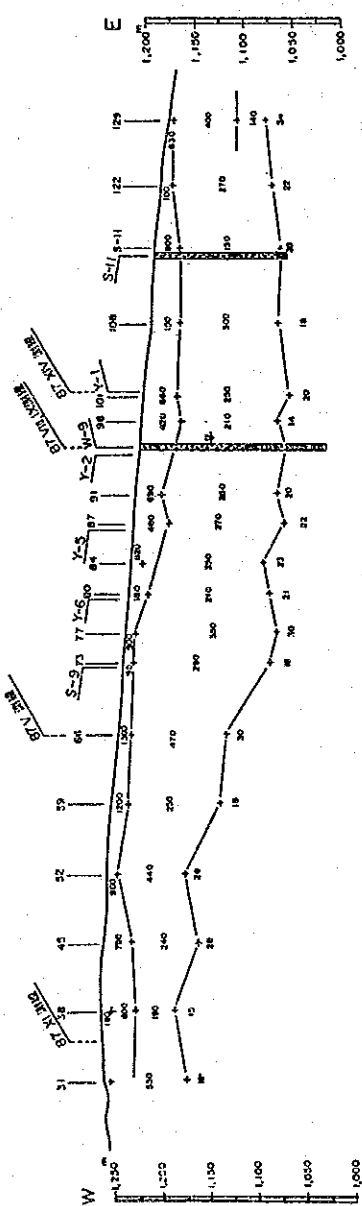
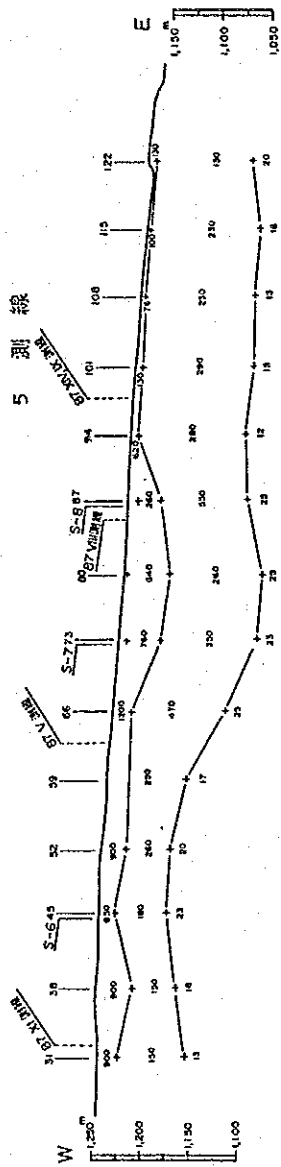


图-2.4.3 解析比抵抗分布断面图

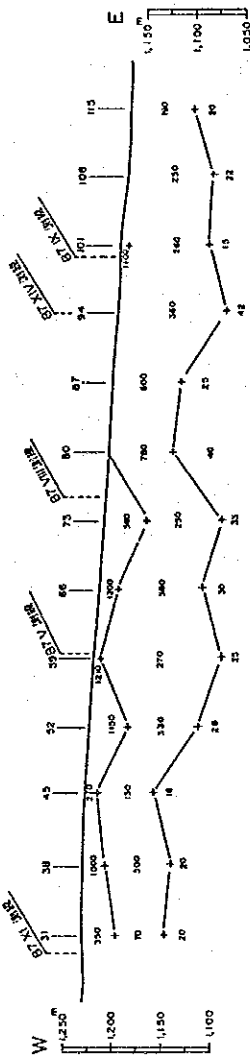
4 測線



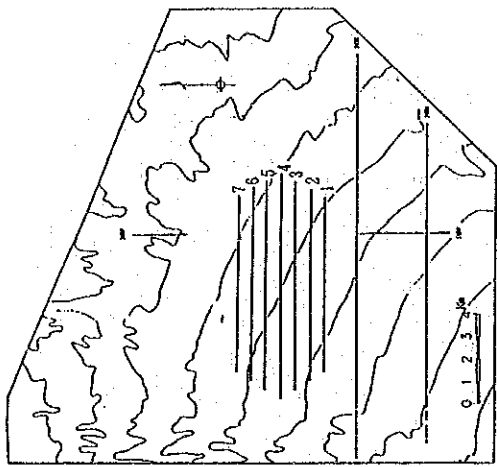
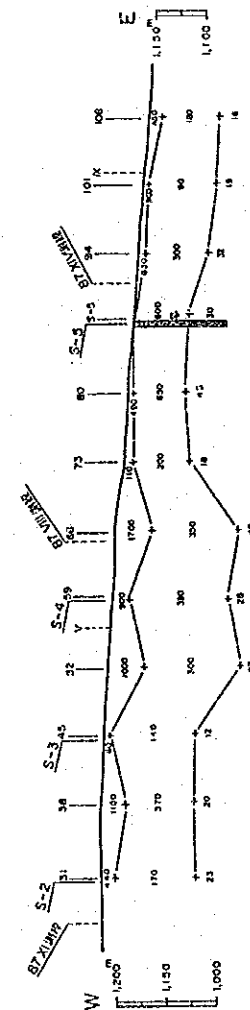
5 測線



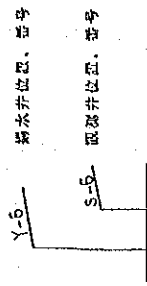
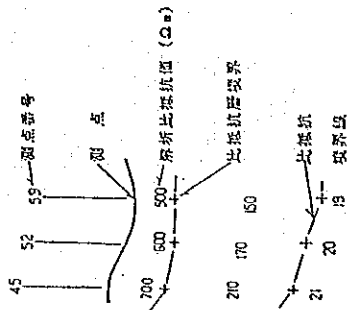
6 測線



7 測線



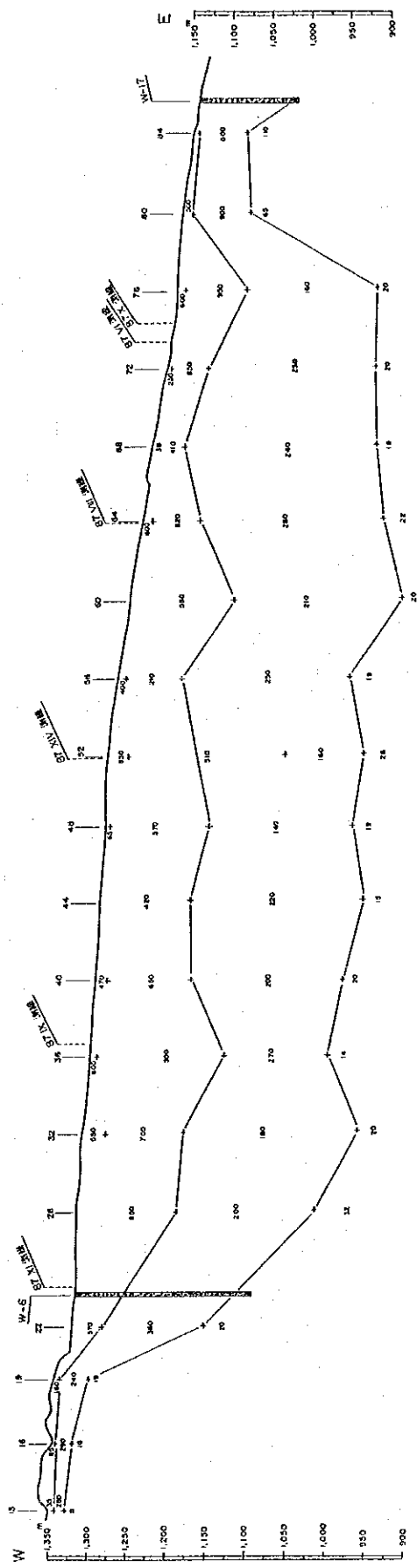
凡例



0 250 500 750 1000 1500 2000m

图 2.4.4 解析比抵抗分布断面图

剖面線



凡例

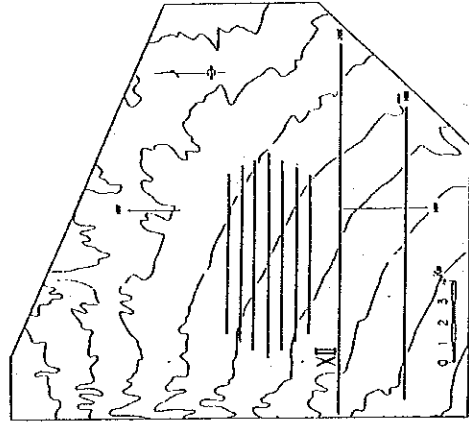
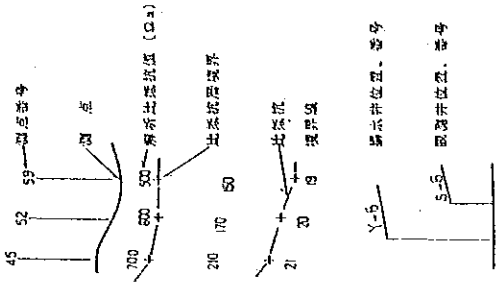


图 2.4.5 解析比抵抗分布断面图

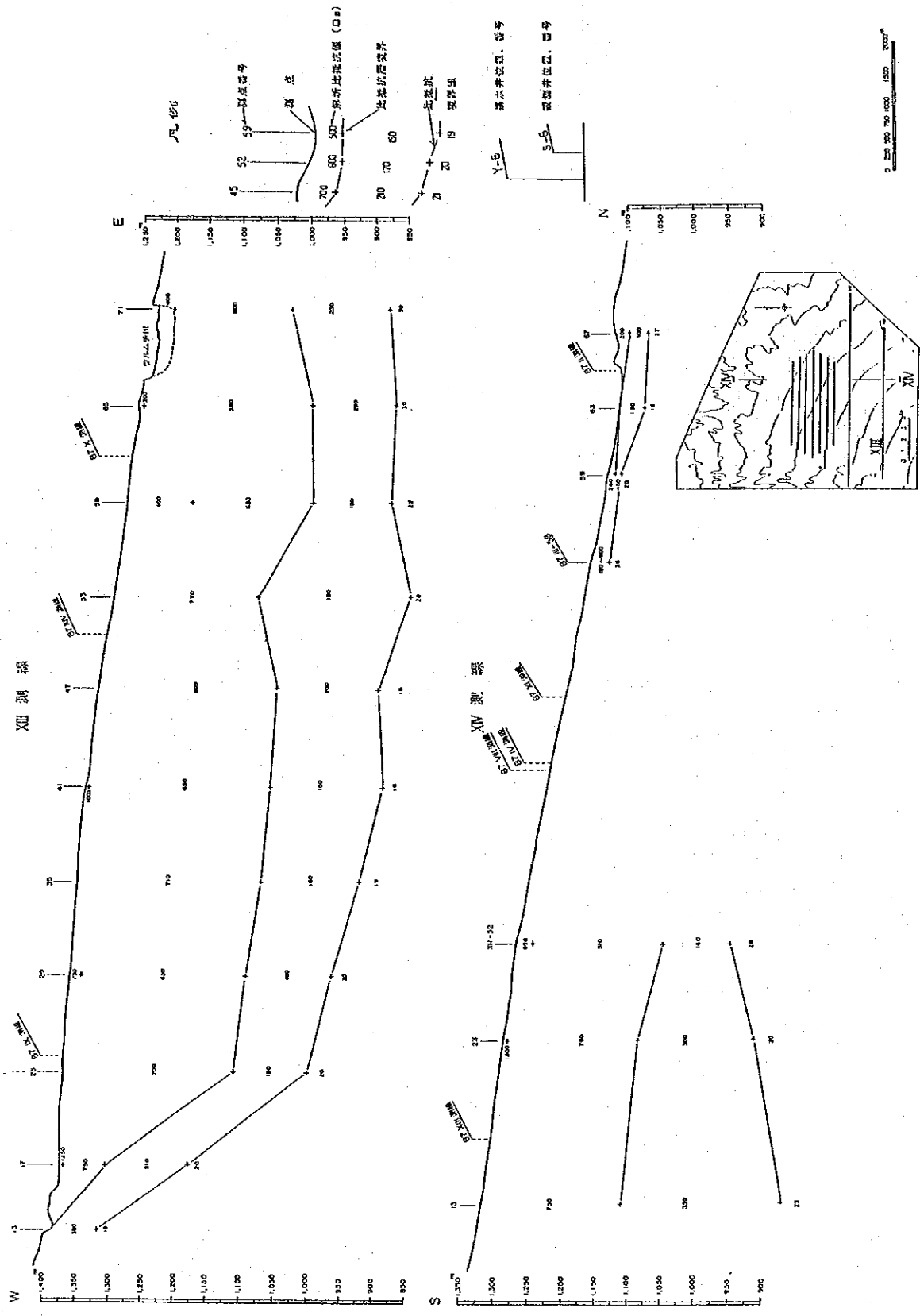


图-2.4.6 解析比抵抗分布断面图

向として3層に大別される。第1層は上部深度の高比抵抗層(100Ωm~1200Ωm)、第2層は中深度の中比抵抗(70Ωm~500Ωm)、第3層は低比抵抗値(100Ωm以下)を示す比抵抗基盤から構成される。

以下計画対象地域およびその他の地域の2地域に分けて記述する。

①計画対象地域(測線1~7)

比抵抗解析断面図を図-2.4.3から図-2.4.4に示す。

第1層は100~1200Ωmの比抵抗値を示すが大半は500Ωm以上であり、深度は2~100mである。中~北部(測線4~7)では薄く、特に東側では極めて薄い。

第2層は深度5~250mで、50~180mの厚さを持ち、70~500Ωmの比抵抗値をしめすが、大半は150~350Ωmである。

第3層は深度60~250mで、42Ωm以下の低比抵抗値を示す比抵抗基盤層と考えられる。全体に南部から北部かけて基盤深度は順次浅くなる。また西部から中央部にかけても基盤深度は順次浅くなっている。中部~北部(測線3~7)では、基盤深度に凹凸が認められる。

②計画対象地域外

比抵抗解析断面図を図-2.4.5から図-2.4.6に示す。

南部のXⅢ、XⅡ測線(東西方向)は計画対象地域と同様の3層構造である。

i. XⅢ測線(東西方向)

第1層は250m以浅で、380~800Ωmの比抵抗値を示す。

第2層は5~450mで、150~350Ωmの比抵抗値を示す。

第3層は70~370m以深に分布し、50Ωm以下の低比抵抗値を示す。

比抵抗基盤構造については、測点XⅢ-13からXⅢ-23にかけて第3層の深度差は約300mあり基盤深度が急激に深くなる。

ii. XⅡ測線(東西方向)

第1層は深度2~220mで、210~950Ωmの比抵抗値を示す。

第2層は深度5~240mで、140~360Ωmの比抵抗値を示す。

第3層は20~370m以深に分布し、110Ωm以下の低比抵抗値を示す。

比抵抗基盤構造については、XII-19からXII-28にかけて基盤深度が急激に深くなり、XIII測線の西縁部と同様の傾向を示す。またXII-80からXII-84にかけては基盤深度が浅くなり、且つ、基盤の比抵抗値も高い値を示すのが特徴的である。

iii. XIV測線（南北方向）

南部から北部にかけて基盤深度は450～50mと順次浅くなる。

大局的には3層構造であり、第1層の比抵抗値は200～750Ωm、第2層の比抵抗値は130～350Ωm、そして第3層は比抵抗値36Ωm以下の比抵抗値を示す。

比抵抗基盤構造については、南部から北部にかけて基盤深度は450～50mと順次浅くなる。

（3）比抵抗層境界面の分布

①第2層と第3層との境界面の分布

第2層と第3層との境界面の分布を、図-2.4.7に示す。

計画対象地域では、南部から中央部にかけて境界面深度は順次浅くなるが、中央部から北部にかけては、西側と東側に南北方向に延びる境界面の凹部があり、第3層（基盤岩）に刻まれた旧河道と推定される。

計画対象地域では、南部から北部にかけて境界面深度は順次浅くなるが、西縁で境界面深度は急激に変化し、全体に半盆地状の構造をなす。

②第1層と第2層との境界面の分布

第1層と第2層との境界面の分布を図-2.4.8に示す。

計画対象地域の第1層と第2層との境界面深度は、南部で深く変化が大きい、北部では浅く変化が小さい。中央部で境界面分布が変化する状況は、第2層と第3層との境界面分布状況と似ている。

計画対象地域外では、南部から北部にかけて境界面深度は順次浅くなるが、西縁で境界面深度は比較的大きく変化し半盆地状の構造をなす。

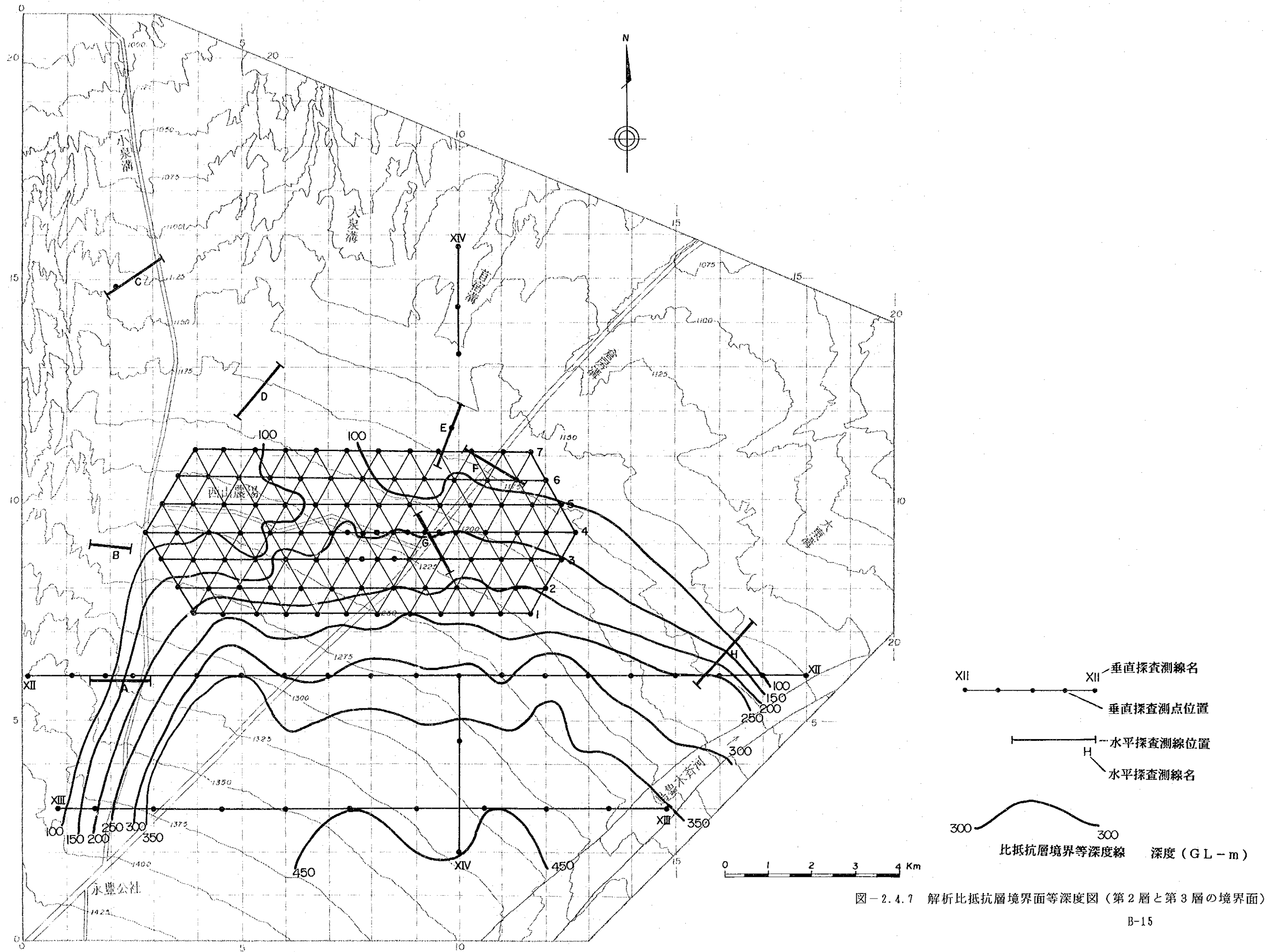


図-2.4.7 解析比抵抗層境界面等深度図 (第2層と第3層の境界面)

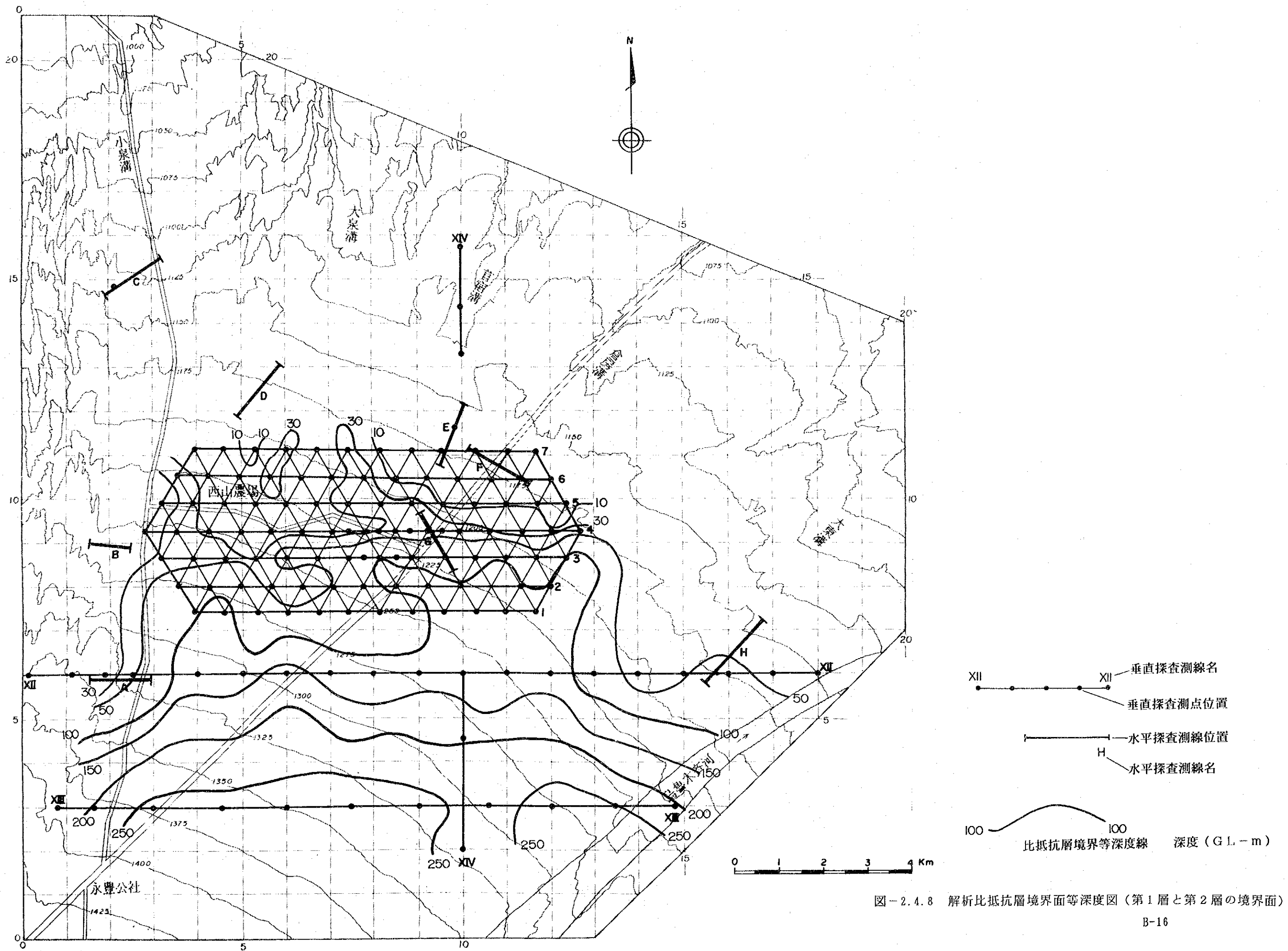


図-2.4.8 解析比抵抗層境界面等深度図(第1層と第2層の境界面)

2. 5 考察

(1) 比抵抗層と地層との対比

比抵抗層は地層の電気特性を示すものであるが、比抵抗層との対比は一般に、砂礫層は高比抵抗層に、粘土層及び泥岩層は低比抵抗層に対比される。また砂礫層でも、地下水面上の部分は高い比抵抗を示すのに対して、地下水面下の部分や粘性土を混入する部分はやや低い比抵抗値を示すと考えられる。調査対象地域の第1層と第2層との境界面はボーリング調査結果で得られた地下水面や粘土混じり砂礫層とは一致していない。その理由としては次のことが挙げられる。

○基盤を覆う砂礫層の礫塊、礫片は固結度あるいは結晶度の高い岩石であり、空隙分布は不均質で全体に空隙は小さい。砂礫層中に水があるかないかによる層比抵抗値への影響度は小さく、むしろ、砂礫層中に分布する粘土等の細粒物による層比抵抗値への影響度の方が大きいと考えられる。

○現在までのボーリング結果から、粘土/砂礫互層は、砂礫主体層と基盤の境界部に薄く分布し、その層厚は第四系の全体層厚の2割程度である。粘土/砂礫互層を判別する上で、その層厚と上位と下位の層との比抵抗値の比率が問題となる。先に述べたように粘土/砂礫互層は、上位の砂礫主体層と下位の基盤岩類に挟まれた薄層であり、しかも層比抵抗値は上下両層の中間的な値をもつ。したがって、粘土/砂礫互層のVES曲線への影響は不明瞭となる。

基盤岩類(第3層)は、第四系(第1層、第2層)と比較して比抵抗値はきわめて低く、VES曲線上でその存在は明瞭に示されている。第四系は解析結果からは2層(第1層、第2層)に区分される。第1層と第2層は比抵抗値が比較的接近し境界面深度が多少バラツクことから、扇状地堆積物の堆積年代、環境の相違により、基質部の細粒物質含有量や鉱物特性が異なり、且つ、境界は漸移的であると考えられる。

(2) 計画対象地域の地質

(1 測線～7 測線)

比抵抗層	比抵抗値 (Ωm)	深度 (m)	地 層
第1層	100～1200	2～100	礫層、砂礫層
第2層	70～500	5～250	砂礫層、 粘土混じり砂礫層 (粘土/砂礫互層)
第3層	42以下	60～250	粘土層～泥岩層

計画対象地域は大局的に3層構造を示す。

地表付近は低～高比抵抗値を示す不均質な薄層が分布する。

第1層は比抵抗値100～1200 Ωm を示し、粗粒な礫層～砂礫層に相当すると推定される。

第2層は比抵抗値70～500 Ωm を示し、砂礫層ないしは粘土混じり砂礫層(粘土/砂礫互層)に相当すると推定される。第1層と比較して基質部には砂～シルト等の細粒物が多く、また、比抵抗値や深度にバラツキがある。河道の変遷に伴う側方への層相変化が著しく、本礫層は不均質であると推定される。

第3層は深度60m以深で42 Ωm 以下の均質な比抵抗値を示し、粘土層～泥岩層から成る帯水層基盤と推定される。

南部から中央部にかけて基盤深度は順次浅くなるが、中央部から北部にかけては基盤深度は浅く、且つ、基盤深度の変化率は小さい。中央部で基盤深度分布が変化することから、中央部付近で東西方向へ延びる基盤構造の不連続線が推定される。また中央部から北部にかけては、西側と東側に南北方向に延びる基盤岩に刻まれた旧河道が推定される。

(3) 計画対象地域外の地質

(XII 測線、XIII 測線、XIV 測線南部)

比抵抗層	比抵抗値 (Ω m)	深度 (m)	地 層
第 1 層	110 ~ 950	2 ~ 250	礫層、砂礫層
第 2 層	140 ~ 350	5 ~ 450	砂礫層、 粘土混じり砂礫層 (粘土/砂礫互層)
第 3 層	100 以下	20 ~ 450	粘土層 ~ 泥岩層

計画対象地域以外の地域の地質構造も、計画対象地域と同様に、大局的に 3 層構造を示す。

第 1 層は比抵抗値 210 ~ 950 Ω m を示し、粗粒な礫層 ~ 砂礫層に相当すると推定される。

第 2 層は比抵抗値 140 ~ 350 Ω m を示し、砂礫層ないしは粘土混じり砂礫層 (粘土/砂礫互層) に相当すると推定される。第 1 層と比較して基質部には砂 ~ シルト等の細粒物が多く、XII 測線では深度にバラツキがあり、不均質であると推定される。

第 3 層は深度 20 m ~ 450 m 以深に分布し、110 Ω m 以下の均質な比抵抗値を示し、粘土層 ~ 泥岩層から成る帯水層基盤と推定される。

基盤構造については、XIII - 13 から XIII - 23 にかけて、XII - 19 から XII - 28 にかけて泥岩層深度の大きな不連続があり、基盤は半盆地状の構造をなすと推定される。

また、測線 XIV (南北方向) の北部 (XIV - 59, 63, 67) では低比抵抗基盤層の深度は浅く 20 ~ 50 m 程度である。

3 水平電気探査

3.1 測点および測量

水平電気探査は、垂直電気探査から基盤面の変位が推定される地域を抽出し、地下構造の急変化部の性状を把握するため、A～Hの8測線を設定した。

必要な測点間隔と野外での作業効率を考慮して、水平探査の測点間隔を50mとした。

測線の配置は図-2.1.1に示してある。

測線の延長および測点数は下表に示すとおりである。

表-3.1.1 水平電気探査数量

測線名	延長(km)	測点間隔(m)	測点数
A	1.5	50	31
B	1.0	50	23
C	1.5	50	31
D	1.5	50	31
E	1.5	50	31
F	1.5	50	31
G	1.5	50	31
H	2.0	50	41

調査対象地域は、地形の起伏が少なく障害物もないことから、垂直電気探査と同様に各測線の端部を三角測量で設定した後、トランシットおよび間縄により順次測点を定めた。

3.2 測定装置

水平電気探査は日本側の測定機材を用いて実施された。これら日本側資機材は2.2章の表-2.2.1に示したとおりである。

3. 3 方法および測定結果の処理

(1) 測定方法

① 電極配置

ウェンナー電極配置および双極子電極配置による比抵抗水平探査を実施した。測定系の位置関係を図-3.3.1および図-3.3.2に示す。

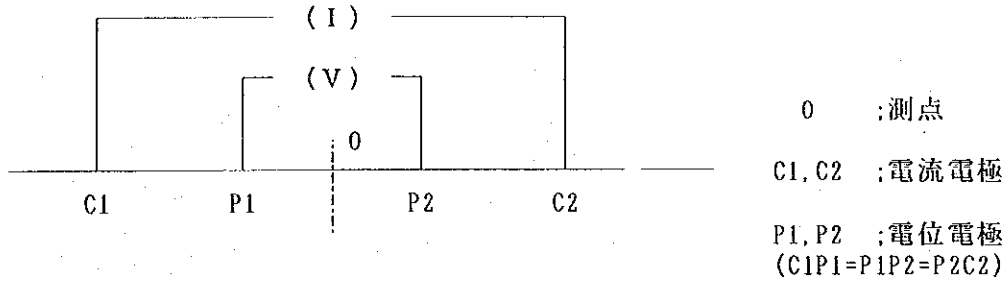


図-3.3.1 ウェンナー電極配置

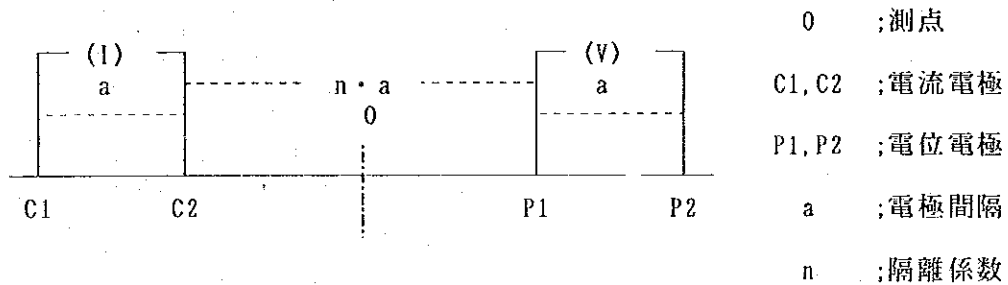


図-3.3.2 双極子電極配置

ウェンナー電極配置による水平探査は2種類の電極間隔(50m、100m)で実施した。

各測線の電極間隔は、垂直探査の結果から下表のように決定した。

測線名	電極間隔(a)
B~H	50m, 100m

双極子法の電極配置による水平探査はA測線で実施した。電極間隔を下表に示す。

測線名	電極間隔(a)	隔離係数(n)
A	50m	1, 2, 3

②現場での測定値の検証

測定時に見掛け比抵抗値を計算し、水平探査曲線を描画した。不審な値については直ちに再測した。また測定実施に当たってはできるだけ接地抵抗を下げ電流を大きくすると共に、電線からの漏洩をチェックし精度の向上に努めた。

見掛け比抵抗値 ρa は電極配置に応じて次式により計算した。

ウェンナー電極配置	双極子電極配置
$\rho a = 2 \pi a \cdot \frac{V}{I}$	$\rho a = \pi a \cdot n(n+1)(n+2) \cdot \frac{V}{I}$
<p>a ; 電極間隔 (a=C1P1=P1P2=P2C2) n ; 隔離係数 I ; 電流電極C1, C2 間電流 v ; 電位電極P1, P2 間電位差</p>	<p>a ; 電極間隔 (a=C1C2=P1P2) n ; 隔離係数 I ; 電流電極C1, C2 間電流 v ; 電位電極P1, P2 間電位差</p>

調査対象地域には測線展開の障害物はなく、測線はほぼ一直線上にのり、電極移設による補正の必要はなかった。

(2) 測定結果の処理

水平探査の測定結果は、ウェンナー法による探査では距離-見掛け比抵抗曲線として、双極子による探査では見掛け比抵抗断面図として整理した。

3. 4 探査結果の解析

水平電気探査結果を図-3.4.1に示し、以下にその説明を行う。

(1) A測線

A測線上では垂直電気探査の結果F-4断層の落差が著しく大きく(350m以上と想定される)、その形状も比較的明らかとなっているため、地層の垂直および水平方向の変化を把握する目的で双極子法による水平電気探査を行った。

探査結果は、図-3.4.1の見掛け比抵抗断面に示すごとく、西側が100Ωm以下の低比抵抗を示し、東側に行くにつれ比抵抗値は増大し、測線の東端では800Ωm以上にも達する。これは、測線の西側では基盤岩が浅く、東側で深くなることを示すものである。基盤岩の浅い箇所では低比抵抗値を示す理由は、基盤岩の比抵抗値が上位の砂礫層に較

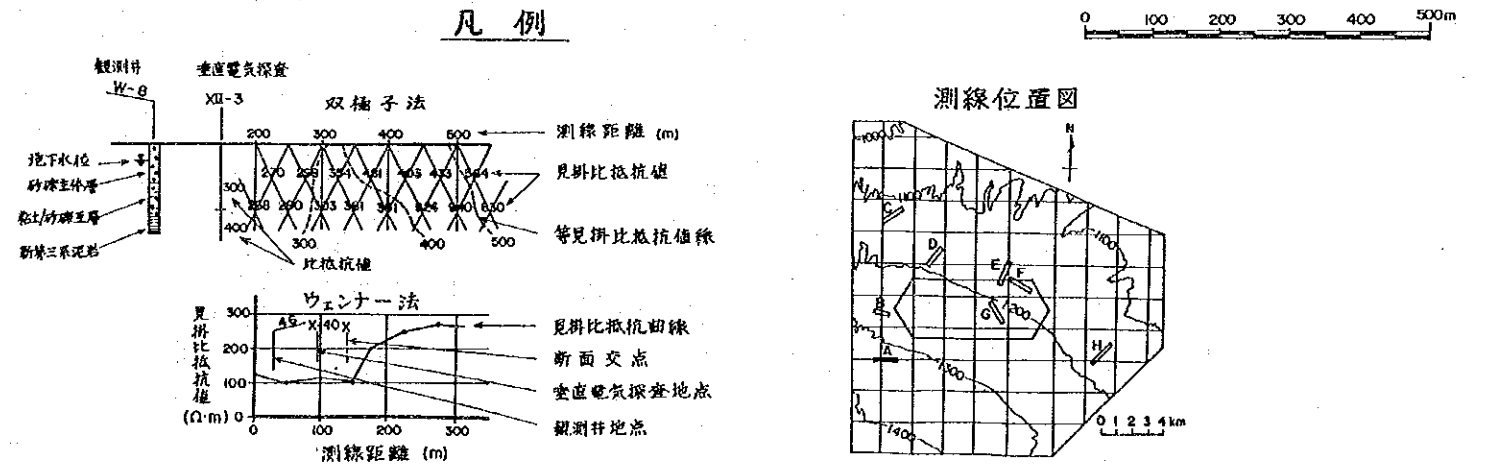
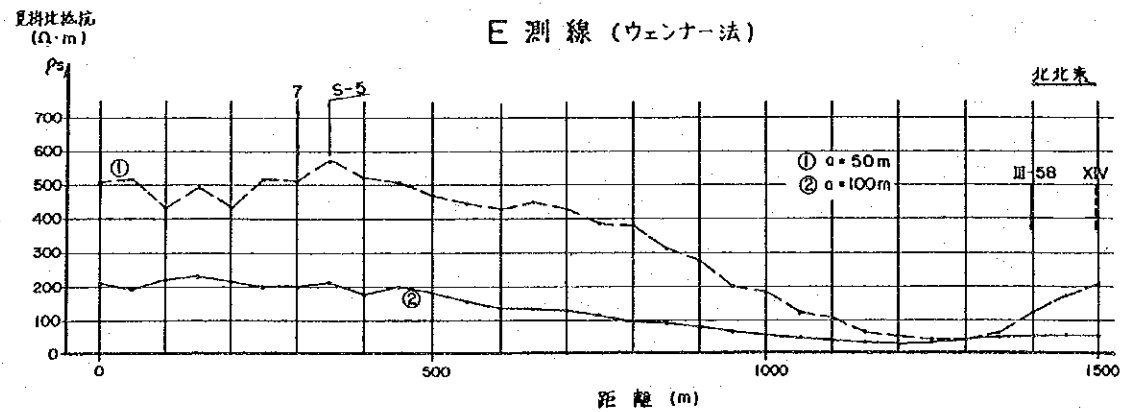
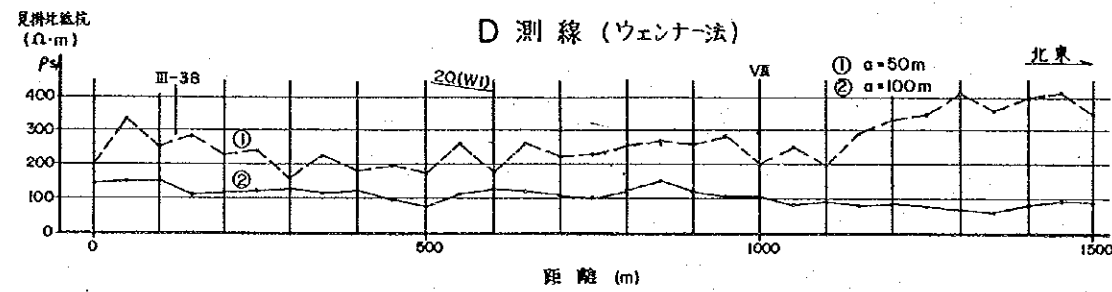
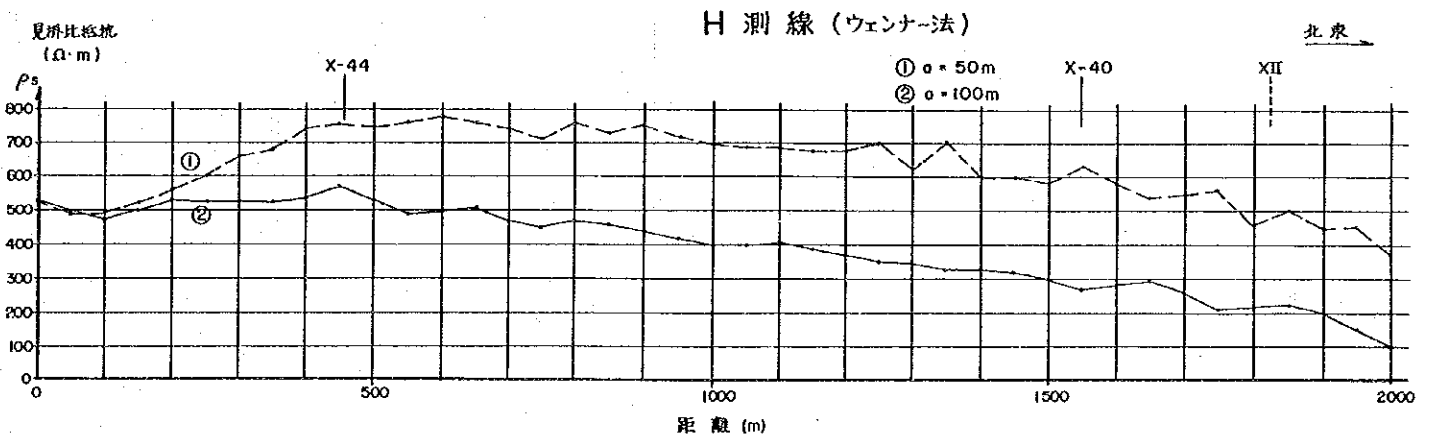
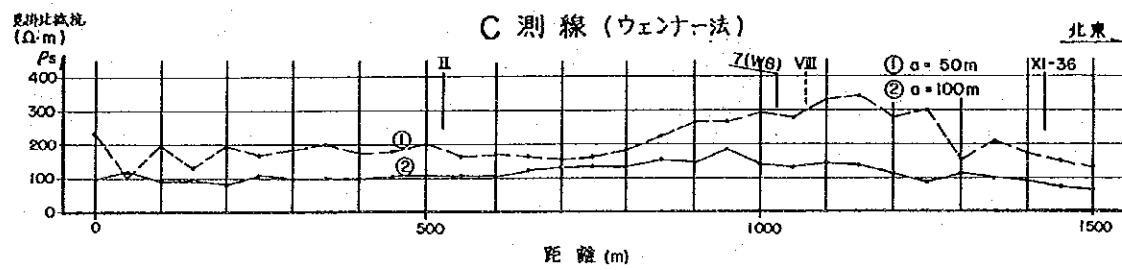
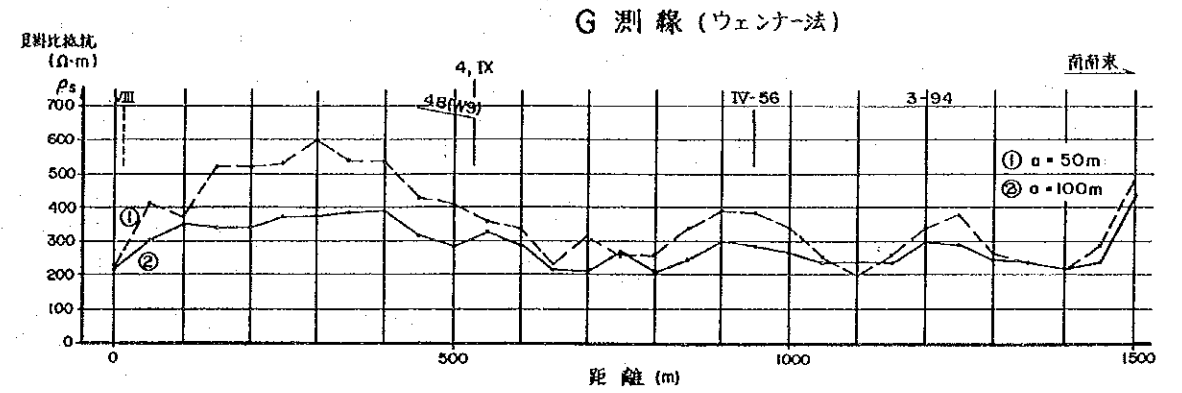
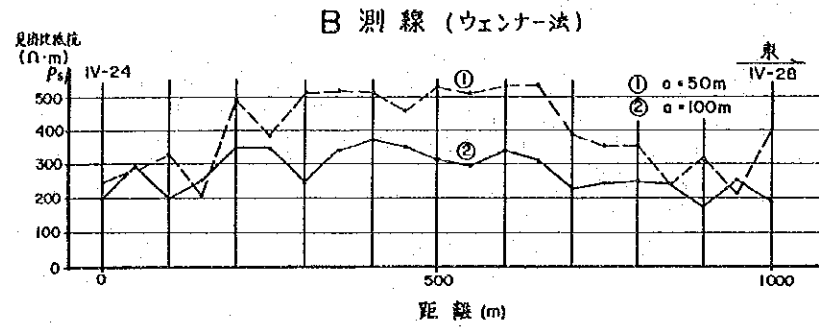
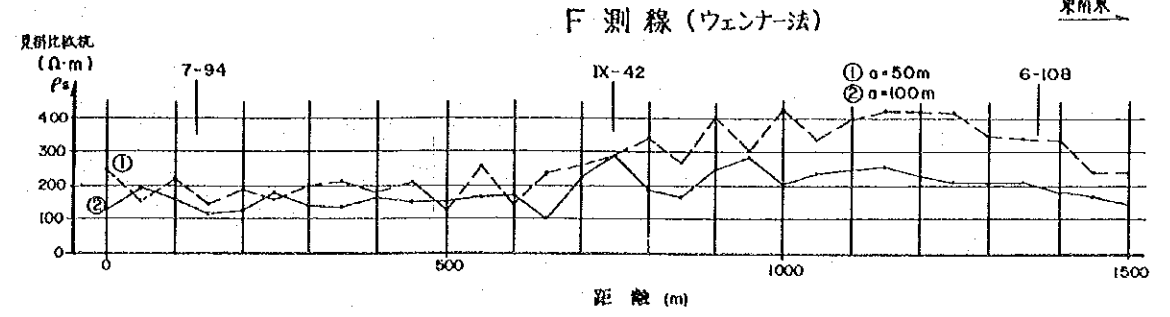
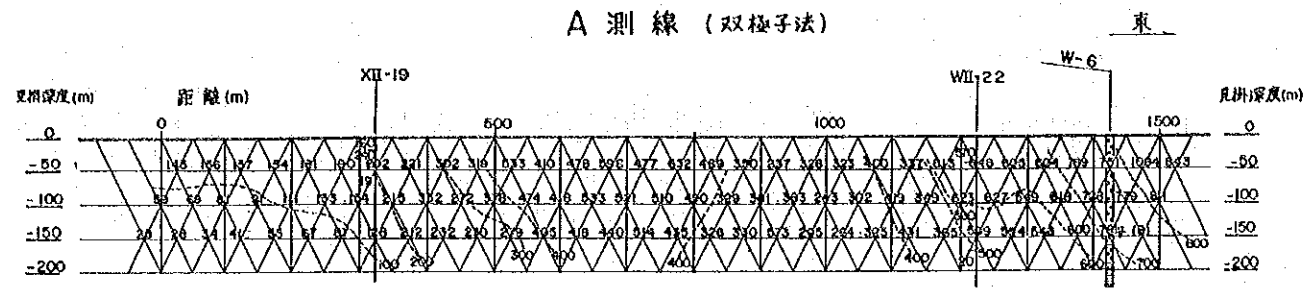


図-3.4.1 水平電気探査結果

べ著しく小さいことに起因する。

解析断面に示すように、垂直電気探査地点XII-22より約200m西方から東方に向って急激に比抵抗値が増大する。この急激な比抵抗値の増大は、前述のように急激に基盤面が下降していることを示すもので、この地点がF-4断層により形成された崖の縁であると推定される。なお、F-4断層はこの崖の裾部を通っているものと考えられ、この部分の基盤面深度は垂直電気探査結果によると350mにも及ぶことから、今回の双極子法による水平電気探査では断層本体は検出できなかった。

(2) B測線

B測線ではF-4断層の確認のためウエンナー法による水平電気探査を実施した。その結果は図-3.4.1の距離-見掛比抵抗曲線に示されるように、測線中央に頂部を持つゆるやかな山形の曲線を示す。これは、基盤面が測線中央部に向って緩やかに窪んでいることを示すものである。

この窪みは断層によって形成された可能性もあるが、もし断層が存在したとしても、その規模は小さく基盤面を大きく変位させるものではない。

(3) C測線

C測線ではF-4断層の北方の延長部の確認のためウエンナー法による水平探査を実施した。その結果は図-3.4.1の距離-見掛比抵抗曲線に示されるように、測線の北東方向で見掛比抵抗値が若干増大する傾向が認められ、基盤面が北東に向って幾らか深くなる傾向を示している。

しかし、その変化は極く僅かであり、これが断層運動により形成されたとは考えにくい。このことから、C測線を横切る基盤面を大きく変位させるような断層は存在しないものと考えられる。垂直電気探査の結果から、C測線の位置する小泉溝には南北方向の基盤の切り込みが存在することが明らかになっているが、水平電気探査からは、この切り込みは断層によるものとは言い難い。

(4) D測線

D測線ではF-1断層の西方への延長を確認するために、ウエンナー法による水平探査を実施した。その結果は図-3.4.1に示すごとく、距離-見掛比抵抗曲線はほぼ水平

で、特に、異常点は認められない。

このことから、D 測線を横切る大規模断層は存在しないものと考えられる。F-1 断層は垂直電気探査結果を合わせて考慮すると、D 測線の南側を通っているものとの想定される。

(5) E 測線

E 測線ではF-1 断層の調査地域中央部での位置確認のため、ウェンナー法による水平探査を実施した。その結果は図-3.4.1に示すごとく、距離-見掛比抵抗曲線が測線の北東部で大きく窪んでおり、このことは、E 測線の北東部に基盤面の高まりが存在することを示すものである。

この高まりの南西部に分布するゆるやかな斜面がF-1 断層によって形成された断層崖、あるいは撓曲崖であると考えられる。このことから、F-1 断層はE 測線の南側を通っているものと推定される。

(6) F 測線

F 測線ではF-2 断層の確認のため、ウェンナー法による水平探査を実施した。その結果は図-3.4.1に示すように、測線中央部から東方にかけて見掛比抵抗値が増大することから、東方で基盤が深くなっているものと考えられる。

垂直電気探査の結果、F 測線を横切る北東-南西方向の基盤の窪みが推定されており、この窪みをF-2 断層が通っているものと考えられる。F 測線上の水平探査で推定される基盤面の窪みの位置(測線距離700~1200mの間)は垂直電気探査で推定される窪みとほぼ一致しており、F-2 断層は窪みの中心付近を通っているものと推定される。F 測線上におけるF-2 断層沿いの基盤面の変位は、見掛比抵抗曲線に特に際立った異常点が無いことから、それほど大きなものではないと言える。

(7) G 測線

G 測線は計画対象地域におけるF-2 断層の確認のため、ウェンナー法による水平探査を実施した。その結果は図-3.4.1に示すように、見掛比抵抗曲線に3か所で高まりが認められ、この高まりは基盤面の窪みの存在を示唆する。

これらの推定される基盤面の窪みの内、西側のものが最も深く、この位置は垂直電

気探査結果より推定される北西-南東方向の基盤面の切り込みの北西端と一致し、他の調査結果からこの北西-南東方向の切り込み沿いにはF-1断層が通っているものと推定される。このため、G測線の西側の窪みの中心付近(測線距離250~400m付近)をF-1断層が通っているものと考えられる。

また、測線の東端(測線距離1450m付近)では見掛比抵抗値の急激な上昇が認められ、ここで基盤面が急に深くなっているものと推定される。このため、この位置には南側の基盤面が沈降する断層の存在が想定される。

G測線の水平探査はF-2断層を捕捉するために実施されたが、その他の調査の結果からF-2断層はG測線を横切らずその北方を通っているものと推定される。

(8) H測線

H測線ではF-1断層の東側への延長を確認するため、ウェンナー法による水平探査を実施した。その結果、図-3.4.1に示すように南西部から北西部にかけて徐々に見掛比抵抗値が減少していく傾向が認められ、このことは基盤面が南西方向に向って緩やかに傾斜していることを示す。見掛深度50m(電極間隔 $a=50\text{m}$)の曲線では測線の中央部から南西部にかけて高まりが認められるが、垂直電気探査の結果H測線沿いの基盤面深度は50m以上と推定されるので、見掛深度100m(電極間隔 $a=100\text{m}$)の曲線の方がより正確な基盤面の形状を反映しているものと考えられる。このため、この見掛比抵抗値の高まりは他の地質要因によるものと推定される。

このなだらかな斜面はボーリング調査結果と垂直電気探査の結果からF-1断層の変位斜面である可能性があり、F-1断層はH測線の南西端を通っているものと推定される。

3.5 考察

今回の水平電気探査では、断層変位を示す見掛比抵抗値の明瞭な変換点(ジャンプ点)は認められなかったものの、ボーリング調査や垂直電気探査で推定される調査地域の断層の特徴としては、断層変位が鋭角的な階段状の変位形態をとるものではなく、なだらかな変位斜面として表わられていることであり、水平電気探査でもこれと矛盾しない結果が得られた。

C. 老く井調査

C. さく井調査

詳細目次

	頁
1 さく井調査の目的および構成	C- 1
2 観測井さく井調査	C- 1
2. 1 位置及び数量	C- 1
2. 2 さく井仕様	C- 4
2. 3 観測井の地質	C- 5
2. 4 検層結果	C-11
3 揚水井さく井調査	C-14
3. 1 位置および数量	C-14
3. 2 さく井仕様	C-14
3. 3 揚水井の地質	C-15
3. 4 検層結果	C-18
4 揚水試験	C-20
4. 1 簡易揚水試験	C-20
4. 2 水位観測井を設けた揚水試験	C-25
4. 3 段階揚水試験	C-46
4. 4 群井揚水試験	C-50
4. 5 考察	C-54
4. 5. 1 適正揚水量の検討	C-54
4. 5. 2 水理定数の検討	C-56

図リスト

図-2.1.1	さく井調査地点位置図	C- 2
図-2.3.1	観測井地質柱状図一覧図	C- 6
図-3.3.1	揚水井地質柱状図一覧図	C-16
図-4.2.1	タイス法によるY-2井揚水試験解析図(W-9水位観測井)	C-29
図-4.2.2	ヤコブ法によるY-2井揚水試験解析図(W-9水位観測井)	C-30
図-4.2.3	タイス法によるY-2井揚水試験解析図(S-12水位観測井)	C-31
図-4.2.4	ヤコブ法によるY-2井揚水試験解析図(S-12水位観測井)	C-32
図-4.2.5	タイス法によるY-3井揚水試験解析図(S-12水位観測井)	C-33
図-4.2.6	ヤコブ法によるY-3井揚水試験解析図(S-12水位観測井)	C-34
図-4.2.7	タイス法によるY-4井揚水試験解析図(S-12水位観測井)	C-35
図-4.2.8	ヤコブ法によるY-4井揚水試験解析図(S-12水位観測井)	C-36
図-4.2.9	タイス法によるY-5井揚水試験解析図(S-10水位観測井)	C-37
図-4.2.10	ヤコブ法によるY-5井揚水試験解析図(S-10水位観測井)	C-38
図-4.2.11	タイス法によるY-5井揚水試験解析図(S-12水位観測井)	C-39
図-4.2.12	ヤコブ法によるY-5井揚水試験解析図(S-12水位観測井)	C-40
図-4.2.13	距離-水位降下曲線によるY-5井揚水試験解析図	C-41
図-4.3.1	揚水井での揚水量-水位降下量曲線	C-47

表リスト

表-2.1.1	観測井さく井調査数量	C- 3
表-3.1.1	揚水井さく井調査数量(掘進長)	C-14
表-4.1.1	今回実施した簡易揚水試験結果	C-23
表-4.1.2	既往簡易揚水試験結果	C-24
表-4.2.1	水位観測井を設けた揚水試験解析結果	C-28
表-4.3.1	揚水井の比湧出量	C-48
表-4.3.2	透水量係数と比湧出量の関係	C-49
表-4.5.1	帯水層の推定透水係数	C-60

C さく井調査

1 さく井調査の目的および構成

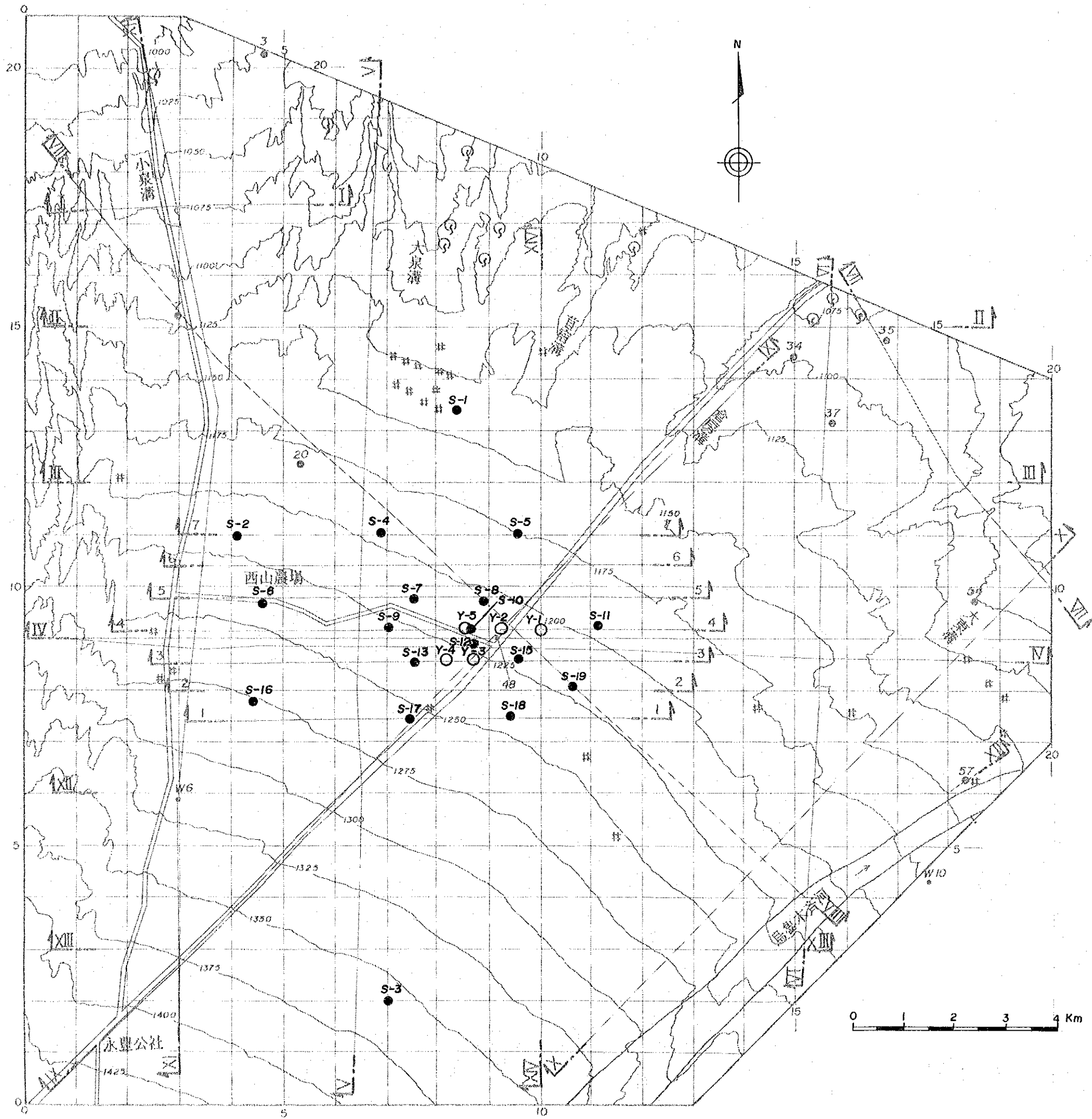
さく井調査は、調査対象地域の水文地質状況(水文地質構成、構造、地下水位、帯水層の水理定数、その他)を把握する目的で実施された。

さく井調査は水文地質構成、構造や地下水位調査を主目的とする観測井さく井調査と、帯水層の水理定数の把握を主目的とする揚水井さく井調査からなる。

2 観測井さく井調査

2.1 さく井位置およびさく井数量

今回の調査で実施したさく井調査地点(井戸位置)を図-2.1.1に示す。また、今回完成した井戸の掘進長を表-2.1.1に示す。表-2.1.1に示すように観測井は18本掘削され、その総層掘進長は2,882.0mである。



凡例

- Y ○ 揚水井 (今回の調査でさく井)
- S ● 観測井 (S番は今回の調査でさく井)
- # 既設井戸
- ⊙ 湧水地点
- └─┘ 断面線

図-2.1.1 さく井調査地点位置図

表-2.1.1 観測井さく井調査数量

孔番	予定掘進長 (m)	完成掘進長 (m)	さく井年度	備考
S-1	70	67.1	1988	
S-2	90	182.6	1989	新第三系帯水層調査
S-3	—	249.4	1989	新規に追加、南部地下水位調査
S-4	110	118.3	1989	
S-5	110	91.1	1988	
S-6	100	118.5	1988	
S-7	105	110.2	1989	
S-8	95	95.7	1989	
S-9	170	155.8	1988	
S-10	110	131.0	1989	予定地点はY-1の近傍 揚水試験水位観測井
S-11	150	136.2	1988	
S-12	280	292.1	1988	
S-13	130	129.1	1989	
S-14	120	—	—	掘削とりやめ
S-15	120	129.1	1989	
S-16	170	149.5	1988	新第三系帯水層調査
S-17	210	209.5	1988	
S-18	280	306.7	1988	
S-19	210	210.1	1988	
合計	2,630.0 18本	2,882.0 18本	—	—

2. 2 さく井仕様

(1) 掘削機械

観測井さく井工事は全て中国側の資機材を用いて実施された。観測井さく井工事に使用された中国側の掘削機械は以下の通りである。

①1988年度観測井さく井調査

○機種名 XB-1000A、台数 2台、現場据置型、最大掘進長 1,000m

○機種名 SPC-300H、台数 1台、トラック搭載型、最大掘進長 300m

計 3台

②1989年度観測井さく井調査

○機種名 SPC-300H、台数 1台、トラック搭載型、最大掘進長 300m

計 1台

(2) さく井方法

掘削は泥水を循環水に用いたロータリー方式で行われた。

砂礫主体層では、トリコンビットによるノーコア掘削を行い。粘土/砂礫互層および基盤岩では基本的にコアチューブで地質資料を採取している。

(3) 井戸構造

観測井の孔径は基本的に二段構造としており、第一段目の孔径は190-310mmであり、第二段目の孔径は150-190mmである。また、挿入したケーシングは途中で径を変えておらず、その径は108-146mmである。スクリーンはスロット スクリーンに鉄線を巻いたものを使用し、その径はケーシングと同様である。(資料集Aボーリング柱状図参照) ケーシング挿入後は、長期の水位観測及び水質資料の採取が可能な様に、蓋付の鋼管で井戸の口元を保護してある。

2. 3 観測井の地質

観測井の地質柱状図一覧を図-2.3.1に示し、以下にその概要を記す。なお詳細については資料集Aボーリング柱状図を参照されたい。

(1) S-1 観測井

0 - 42.8m: 径 3~15cmの円礫を含む砂礫層。地下水位は32.2mに位置する。

42.8- 51.0m: 粘土を混じえる砂礫層、一部砂層となる。

51.0- 67.1m: 新第三系基盤岩。赤褐色泥岩より成り一部砂質となる。

(2) S-2 観測井

0-72.0m: 青灰色砂礫層、地下水を賦存しない。

72.0-182.62m: 新第三紀泥岩/砂岩/礫岩互層。半固結。85.4-102.4m、118.0-

122.0m、153.0-156.6m、176.5-182.62mの間に透水性の高い砂岩及び礫岩を挟在する。

他は透水性の低い泥岩か泥質礫岩である。地下水は118.0-122.0mの砂岩層以下に賦存されていたが、ケーシングおよびスクリーンを挿入したところ水位が上昇し始め、最終的に84.68mまで上昇した。このことは118.0m以下の砂岩層が被圧帯水層であることを示すものである。なお、この被圧水頭は周囲の第四系中の不圧地下水の水頭(水位)とほぼ一致することから、これらの被圧帯水層はその周辺の第四系中の不圧帯水層と連続しているものと考えられ、第四系中の帯水層に地下水を供給していると判断される。

(3) S-3 観測井

ノーコアボーリング

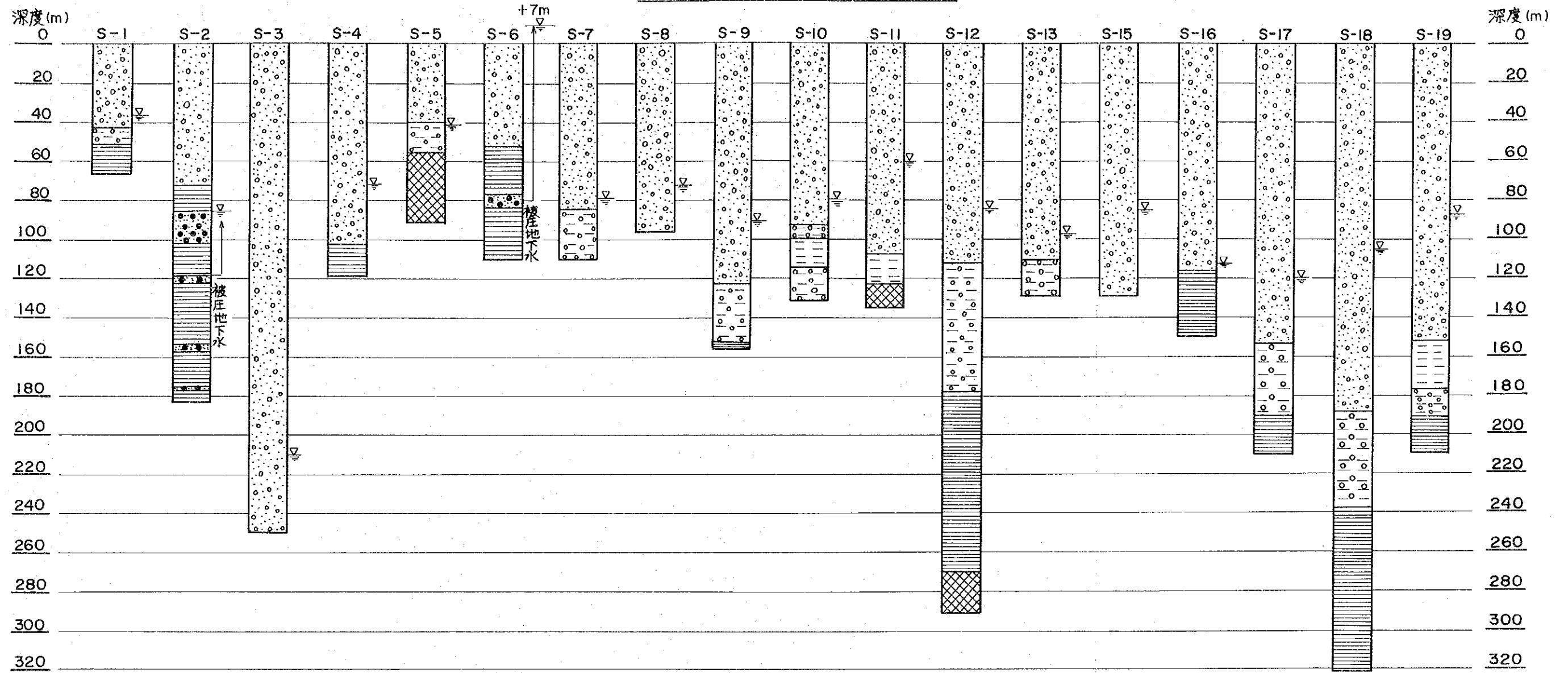
0-249.44m: 砂礫層。地下水位は211.67mに位置する。

(4) S-4 観測井

0-102.0m: 青灰色砂礫層。礫径は0.5-7cmのものが主体を占める。礫の含有率は30%程度であろう。礫の表面に白色フィルムが付着する。地下水位は71.38m。

102.0-118.30m: オレンジ色の新第三紀泥岩(N₂)。層理が認められる。上部で灰

観測井地質柱状図一覽



凡例

- 砂礫主体層
- 粘土、シルト層
- 粘土／砂礫互層
- 新第三系（泥岩、一部含礫泥岩）
- 新第三系中に挟在される砂礫層
- ジュラ系（砂岩／頁岩互層）
- 孔内水位

* S-14 欠番

図-2.3.1 観測井地質柱状図一覽図

白色の石灰質団塊を斑状に含む。

(5) S-5 観測井

0 - 55.0m : 径 3~15cmの円礫をふくむ砂礫層。電気検層の結果39mから55mの間は低比抵抗値を示すことから、粘土分の多い砂礫層の可能性がある。地下水位は40.7mに位置する。

55.0- 91.1m : ジュラ系基盤岩。砂岩および泥岩よりなりシダ類の化石を多く産する。65m付近に20cm程度の薄い炭層を挟む。

(6) S-6 観測井

0 - 52.0m : 径 5~15cmの円礫を含む砂礫層。地下水は認められない。

52.0- 76.4m : 新第三系基盤。赤褐色の泥岩で灰白色の石灰質団塊を多量に含む。

76.4- 84.0m : 径 3~10cmの円礫層で粘土分は認められない。本層は新第三系中の被圧帯水層となっており、ここにスクリーンを設けたところ地下水が孔口より自噴し始め、最終的な地下水頭は地表面上 +7m となっている。

84.0-118.5m : 新第三系赤褐色泥岩。灰白色の石灰質団塊や方解石、石膏の細脈を含む。101 ~107mの間砂質となり一部薄い礫層を挟在する。

(7) S-7 観測井

ノーコアボーリング

0-83.8m: 砂礫層。地下水位は77.76mに位置する。

83.8-100.24m: 粘土/砂礫互層。2m程度の粘土層を3層挟在。

(8) S-8 観測井

ノーコアボーリング

0-95.73m: 砂礫層。礫径はおおむね4-10cm、地下水位は71.63mに位置する。

(9) S-9 観測井

0 -123.0m : 径 3~10cmの円礫を含む砂礫層。地下水位は90.5m に位置する。

123.0-153.4m : 比抵抗値が下がるとともに、自然電位が急激に増大することから、粘土/砂礫互層と推定される。

153.4-156.1m :新第三系基盤岩。赤褐色の泥岩より成り、中に灰白色の石灰質団塊を含む。

(10) S-10 観測井

ノーコアボーリング

0-92.3m:砂礫層。地下水位は79.45mに位置する。

92.3-130.98m:粘土/砂礫互層。99.3-113.8mの間に厚い粘土層あり。

(11) S-11 観測井

0-118.2m :径 3~15cmの円礫をふくむ砂礫層。33~62mの間に比抵抗値高く粗い砂礫層が分布する可能性あり。地下水位は60.6mに位置する。

118.2-122.3m :橙色から赤褐色の硬質粘土層。灰白色の石灰質団塊を含み塩酸をかけると発泡する。基盤岩との境界部に方解石で膠結された薄い礫層を挟む。

122.3-136.2m :ジュラ系基盤岩。暗灰色泥岩と青灰色砂岩よりなりシダ類の化石を産する。

(12) S-12 観測井

0-110.0m :径 3~15cm、最大30cm以上の円礫を含む砂礫層。粘土およびシルトをほとんど含まない。下位の粘土層との境界部に方解石で固結した礫層を挟む。地下水位は85.4mに位置する。

110.0-178.0m :粘土層を幾枚か挟む、粘土およびシルト混じり砂礫層。粘土層中には、しばしば方解石や石膏の細結晶を含む。

178.0-271.0m :新第三系基盤岩。褐色-赤褐色泥岩よりなり中に灰白色の石灰質で膠結した団塊を多く含む。

271.0-292.1m :ジュラ系基盤岩。砂岩および泥岩の細互層よりなり、所々に薄い炭層および礫岩を挟む。

(13) S-13 観測井

ノーコアボーリング

0-110.6m:砂礫層。地下水位は96.57mに位置する。

110.6-129.10m:粘土/砂礫互層、2-4mの粘土層を3層挟在。

(14) S-15 観測井

ノーコアボーリング

0-129.06m:砂礫層。孔底付近で比抵抗値が急激に下がることから粘土層の存在が
推定される。地下水位は84.68m。

(15) S-16 観測井

0-115.5m:径5~20cmの円礫を含む砂礫層。一部径30cm以上の大礫を含む。地
下水位は55.1mに位置する。

115.5-117.0m:粘土/砂礫互層。粘土は赤褐色を呈し、礫は径3~5cmの円礫であ
る。下部で砂質粘土となる。

117.0-149.5m:新第三系基盤岩。赤褐色の泥岩より成り、中に灰白色の石灰質団
塊を含む。

(16) S-17 観測井

0-153.7m:径3~15cmの円礫を含む砂礫層。一部径が30cmを越える大礫を含む。
地下水位は119.4mに位置する。

153.7-191.4m:粘土層を挟む粘土およびシルト混じり砂礫層。粘土およびシルト
層中には、しばしば方解石や石膏の細結晶が含まれる。

191.4-209.5m:新第三系基盤岩。褐色の硬質シルト岩および泥岩よりなり、中に
石灰質団塊を含む。204m付近に円礫層を挟む。

(17) S-18 観測井

0 -188.0m: 径 5~15cmの円礫を含む砂礫層。110~180:mの間で比抵抗値が下がることから、いくらか粘土分の多い砂礫層である可能性がある。地下水位は107.3mに位置する。

188.0-212.5m: 硬質赤褐色粘土層。中に灰白色の石灰質団塊を多く含む。

212.5-224.4m: 灰色および褐色の粘土混じり礫層。石灰質団塊を含む。

224.4-306.7m: 新第三系基盤岩。赤褐色泥岩より成るが岩相は上位の硬質赤褐色粘土層と酷似し、灰白色の石灰質団塊を多量に含む。一部薄い円礫層および泥炭層を挟む。

(18) S-19 観測井

0 -153.0m: 径 5~15cmの円礫を含む砂礫層。一部径30cm以上の大礫を含む。地下水位は86.9mに位置する。

153.0-177.0m: 淡灰~淡褐色粘土層。幾分砂質であり、方解石や石膏の微品を含む。また所々に灰白色石灰質団塊を含む。

177.0-191.0m: 粘土層を挟在する砂礫層。礫径は3~10cmで礫には褐色粘土が付着する。粘土層は赤褐色を呈し、厚さ数mの薄層である。下部に1m程度の灰緑色砂層を挟在する。

191.0-210.1m: 新第三系基盤岩。赤褐色泥岩より成り、方解石や石膏の微品、灰白色石灰質団塊を含む。上位の第四系粘土層に比較し、やや色調が濃い。

2. 4 検層結果

1988年度の孔内検層は、日本側の検層機がまだ現地に到着していなかったため、中国側の機材を用いて実施された。1989年度の孔内検層は、日本側の検層機“ジオロガー3400”を用いて実施された。1988度に中国側検層機で実施された検層結果とは測定原理が多少異なるため幾らか違った結果が得られているが、傾向はほぼ一致している。これらの検層結果は資料集Aボーリング柱状図に示してある。

(1) 1988年度実施検層結果

1988年度に中国側検層機を用いて検層を実施した観測井はS-1, S-5, S-6, S-9, S-11, S-12, S-16, S-17, S-18, S-19の10井である。その検層項目は以下の通りである。

- 比抵抗検層(三極法)
- 自然電位検層
- 自然 γ 線検層

① 比抵抗検層

比抵抗検層結果は地層の変化を最も良くとらえており、各地層は次のような抵抗値を示している。

- 砂礫主体層	300-600	$\Omega \cdot m$
- 粘土/砂礫互層	100-300	$\Omega \cdot m$
- 基盤岩類(新第三系、ジュラ系)	10-20	$\Omega \cdot m$

② 自然電位検層

自然電位は比抵抗とほぼ逆の傾向を示し、上位の砂礫主体層の自然電位を0とした場合、下位の粘土/砂礫互層は+2から+5mv程度であり、基盤岩では+10から+15mv程度である。

③ 自然 γ 線検層

柱状図に示すごとく、自然 γ 線の強度は地層の変化とはほとんど対応せず、全体に5-10 γ 程度のばらついた値を示す。

(2) 1989年度実施検層結果

1989年度に日本側の検層機“ジオロガー3400”を用いて検層を実施した観測井はS-2, S-3, S-4, S-7, S-8, S-10, S-13, S-15の8井である。その検層項目は以下の通りである。

- 比抵抗検層(四極法)

・ ショート、 $N-M_1 = 1.50m$

・ ミドル、 $N-M_2 = 1.65m$

- 自然電位検層

- 抵抗検層

- 自然放射能検層(自然 γ 線検層)

① 比抵抗検層

ショートおよびミドルの2種類の比抵抗検層が行われ、両者とも良く地質の変化に対応しているが、ショートの方がより細かい地質の変化に対応しているので、これを地質柱状図に示した。

今年度の比抵抗検層結果は昨年度の結果に較べると、比抵抗値そのものは全体に小さめの値を示しているが、地質との対応関係はほぼ一致している。各層の比抵抗値は大略以下の通りである。

砂礫主体層: 100-200 $\Omega \cdot m$

粘土/砂礫互層: 20-100 $\Omega \cdot m$

新第三系泥岩: 約 20 $\Omega \cdot m$

② 自然電位検層

自然電位検層結果も地層の変化に良く対応しており、その対応は比抵抗値と逆で粘土分が多いとプラス側となり、砂礫分が多いとマイナス側となる。上位の砂礫層の自然電位をゼロとすると、下位の各層の相対電位は次の値を示す。

砂礫層: 0 mV

粘土/砂礫互層: +80 mV

新第三系泥岩: +100 mV

③抵抗検層

地層の抵抗を測定するもので、比抵抗値とおなじ変化を示す。比抵抗値ほど明瞭な地層との対応関係は認められないものの、ある程度の対応は認められる。各層の抵抗値はおおむね次の通りである。

砂礫層: 200-400 Ω

粘土/砂礫互層: 150-300 Ω

新第三系泥岩: 100-250 Ω

④自然放射能検層（自然γ線検層）

検出される自然γ線のカウント数の値が非常に不安定である上に、地質との対応関係は全く認められない。このため、自然放射能検層結果は地質柱状図に示していない。

3 揚水井さく井調査

3.1 位置及び数量

揚水井は、1989年度に調査対象地域のほぼ中央部に位置する計画対象地域で、5本掘削された。揚水井さく井位置は第2章の図-2.1.1に示した通りである。

揚水井さく井数量は、表-3.1.1に示すように5本、総掘進長831.6mである。なお、当初計画では6本の揚水井さく井を計画していたが、掘削機械の部品の消耗によりY-6揚水井の掘削をとりやめたため、完成井戸は5本となった。

表3-1.1 揚水井さく井調査数量(掘進長)

孔 番	予定掘進長(m)	完成掘進長(m)	備 考
Y-1	125	131.2	予定地点はS-8の近傍
Y-2	165	161.5	
Y-3	195	191.7	
Y-4	200	185.7	
Y-5	160	161.5	
Y-6	150	-	掘削とりやめ
計	6本 995	5本 831.6	-

3.2 さく井仕様

(1) 掘削機械

揚水井さく井工事は中国側技術者により日本側の掘削機械および資機材を用いて実施された。揚水井さく井工事に使用された主要掘削機器は以下の通りである。

揚水井掘削主要機器

- 掘削機械、FSW-20T-L、台数 1台、トップドライブタイプ、トラック搭載型
- 発電機、NES 360 BM No.L 103BJ、250kw、台数 2台
- エアークンプレッサー、PH SH 750、17kg、21m³、台数 1台

(2) さく井方法

揚水井さく井は泥水を循環水に用いたロータリー方式で行われた。掘削は地質資料を採取しないノーコアボーリングで実施された。

(3) 井戸構造

図-3.1.1の地質柱状図に示すように揚水井は、2段構造となっており、第一段は径445mm(17"1/2)で深度60-90mまで掘削され、第2段は径375mm(14"1/2)で孔底まで掘削されている。第1段のケーシングパイプ(ブランクパイプ)は305mm(12")で深度55-90mまで挿入され、第2段には254mm(10")のケーシングパイプおよびスクリーンが孔底付近まで挿入されている。スクリーンはジョンソンタイプのもので開口率は25%である。ケーシング、スクリーンと孔壁の間は径3-10mm礫で充填され、地表から3-5mの区間は地表からの汚染を防ぐため粘土充填が施されている。ケーシング、スクリーン挿入後、エアリフト揚水で十分な井戸洗浄が行われ、揚水井として仕上げられている。

3.3 揚水井の地質

揚水井の地質柱状図を図-3.3.1に示し、以下にその概要を記す。なお地質判定は、揚水井が地質資料を採取しないノーコアボーリングで掘削されているため、カッティング観察および孔内検層結果に基づき行った。地質柱状の詳細は資料集Aボーリング柱状図を参照されたい。

(1) Y-1 揚水井

ノーコアボーリング、

0-107.2m:砂礫層。地下水位は71.15m。

107.2-129.4m:粘土層。

129.4-131.24m:粘土混じり砂礫層。

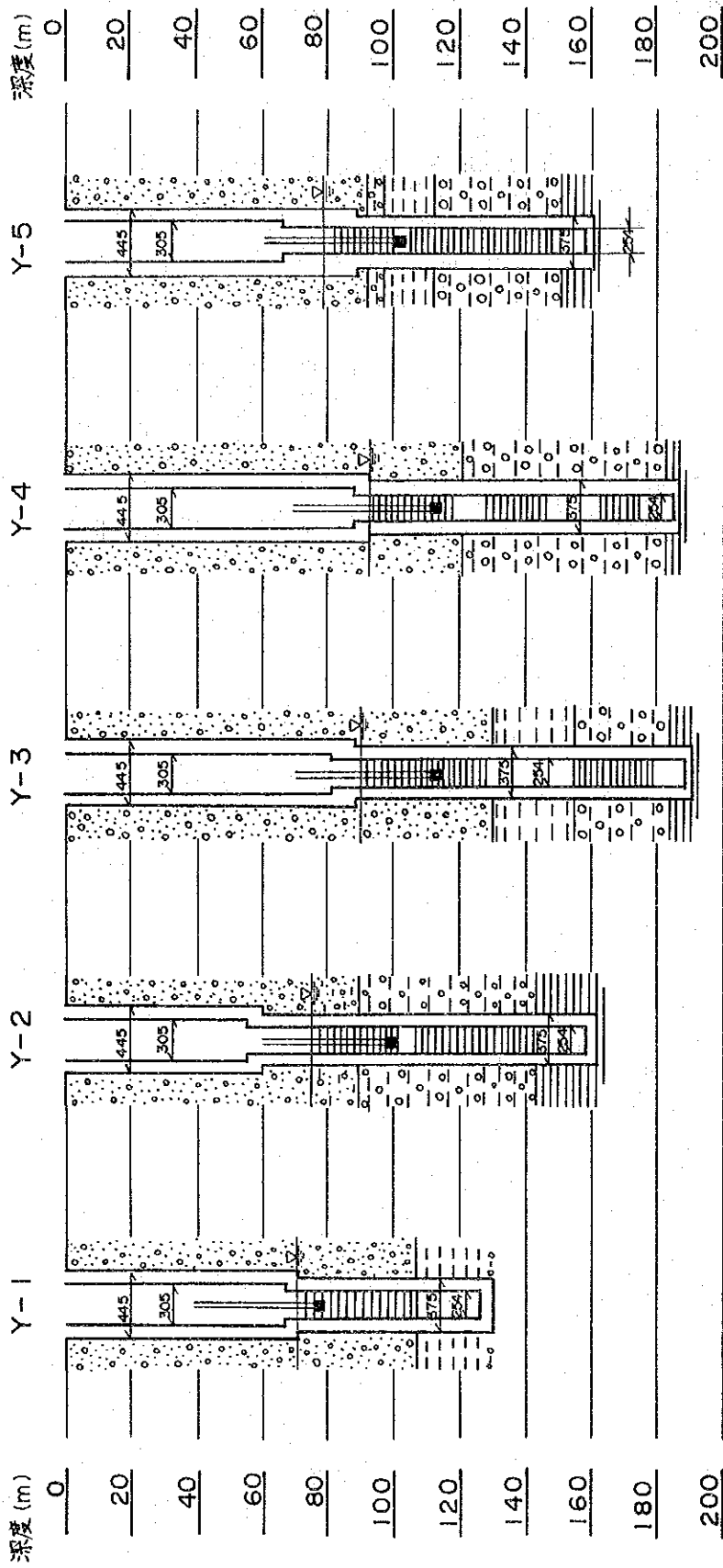
(2) Y-2 揚水井

ノーコアボーリング






0-90.0m:青灰色砂礫層。地下水位は74.60m。地下水面位下の部分で比抵抗値が急激に下がる。粘土分を多く含む可能性あり。

90.0-143.0m:粘土/砂礫互層。厚さ4-10mの赤褐色粘土層を3層挟在。砂礫部分は粘

揚水井地質柱状図一覽



凡例

-  砂礫主体層
-  粘土、シルト層
-  粘土／砂礫互層
-  新第三系（泥岩）
-  孔内水位

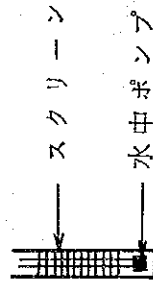


図-3.3.1 揚水井地質柱状図一覽図

土分を多く含む。

143.0-161.46m:新第三紀泥岩(N₂)。褐色を呈し灰白色の石灰質団塊を斑状に含む。

(3) Y-3 揚水井

ノーコアボーリング

0-129.5m:砂礫層。地下水位は89.77m。

129.5-155.0m:粘土層。

155.0-184.2m:粘土混じり砂礫層。

184.2-191.6m:新第三紀泥岩(N₂)。

(4) Y-4 揚水井

ノーコアボーリング

0-121.0m:砂礫層。地下水位は93.27m。

121.0-183.5m:粘土/砂礫互層。厚さ2.5mから8mの粘土層を6層挟在。

183.5-185.68m:新第三紀泥岩(N₂)。

(5) Y-5 揚水井

ノーコアボーリング

0-91.9m:砂礫層。地下水位は79.32m。

91.9-150.7m:粘土/砂礫互層。97.1-112.2m間に厚い粘土層あり。その他は2-5mと薄い。

150.7-161.49m:新第三紀泥岩(N₂)。

3. 4 検層結果

揚水井の検層は日本側の検層機“ジオロガー3400”を用いて実施された。揚水井での検層結果は、同検層機を用いて実施された観測井の検層結果とほぼ同様の値が得られている。検層結果は資料集Aボーリング地質柱状図に示してある。

揚水井で実施された検層項目は以下の通りである。

－比抵抗検層(四極法)

・ショート、 $N-M_1 = 1.50m$

・ミドル、 $N-M_2 = 1.65m$

－自然電位検層

－抵抗検層

－自然放射能検層(自然ガンマ線検層)

(1) 比抵抗検層

ショートおよびミドルの2種類の比抵抗検層が行われ、両者とも良く地質の変化に対応しているが、ショートの方がより細かい地質の変化に対応しているので、これを地質柱状図に示した。

砂礫主体層: 100-200 $\Omega \cdot m$

粘土/砂礫互層: 20-100 $\Omega \cdot m$

新第三系泥岩: 約 20 $\Omega \cdot m$

(2) 自然電位検層

自然電位検層結果も地層の変化に良く対応しており、その対応は比抵抗値と逆で粘土分が多いとプラス側となり、砂礫分が多いとマイナス側となる。上位の砂礫層の自然電位をゼロとすると、下位の各層の相対電位は次の値を示す。

砂礫層: 0 mV

粘土/砂礫互層: +80 mV

新第三系泥岩: +100 mV

(3) 抵抗検層

地層の抵抗を測定するもので、比抵抗値とおなじ変化を示す。比抵抗値ほど明瞭な地層との対応関係は認められないものの、ある程度の対応は認められる。各層の抵抗値はおおむね次の通りである。

砂礫層: 200-400 Ω

粘土/砂礫互層: 150-300 Ω

新第三系泥岩: 100-250 Ω

(4) 自然放射能検層 (自然 γ 線検層)

検出される自然 γ 線のカウント数の値が非常に不安定である上に、地質との対応関係は全く認められない。このため、自然放射能検層結果は地質柱状図に示していない。

4 揚水試験

揚水試験は観測井を設けない単井による簡易揚水試験、観測井を設けた複井による揚水試験および、群井による揚水試験の3種類が実施されている。

4.1 簡易揚水試験

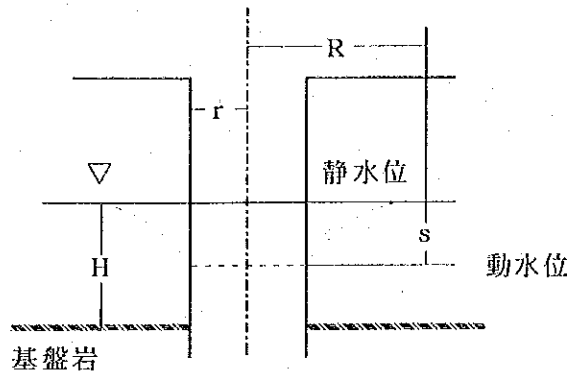
簡易揚水試験は今回の調査において5本の揚水井および3本の観測井で実施されている。

(1) 試験および解析方法

今回実施した簡易揚水試験は、単井で揚水しその水位降下を測定する簡易試験である。揚水は主にエアリフトで行われているが、Y-1井だけは75Kwの水中ポンプで揚水を行っている。簡易揚水試験では段階揚水が行われているが、この結果については別項でべる。

解析方法は、一定量で揚水を行い孔内水位がおおむね一定となった時点での水位降下量と揚水量から、次式を用いて透水係数を求めている。この式は地下水流動の定常状態での基本式であり、地下水位降下半径（影響半径）Rをあらかじめ想定して（1）あるいは（3）式で透水係数を求め、求められた透水係数から（2）あるいは（4）式により逆にRを求め、この値と想定値がほぼ同じになるように計算がなされている。

不圧帯水層の場合



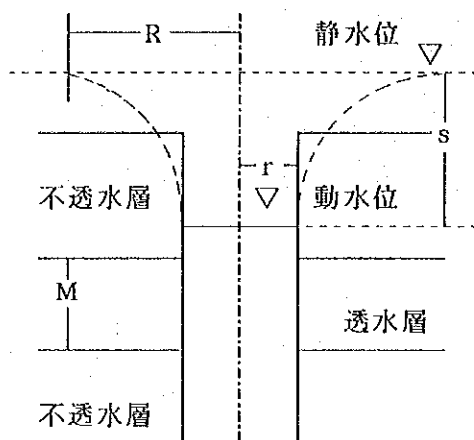
$$K = \frac{0.366 Q (\ln R - \ln r)}{H S} \quad (1)$$

$$R = 2.5 S \sqrt{K H} \quad (2)$$

ここに、

- Q: 揚水量 (m³/日)
- R: 水位降下影響半径 (m)
- r: 井戸半径 (m)
- H: 基盤面(不透水基盤)から地下水面までの距離 (m)
- s: 揚水による水位降下量 (m)
- K: 透水系数 (m/日)

被圧帯水層の場合



$$K = \frac{0.366 Q (\ln R - \ln r)}{M \cdot S} \quad (3)$$

$$R = 10S \sqrt{K} \quad (4)$$

ここに、

- Q: 揚水量 (m³/日)
- R: 水位降下影響半径 (m)
- r: 井戸半径 (m)
- M: 被圧帯水層の厚さ (m)
- s: 揚水による水位降下量 (m)
- K: 透水系数 (m/日)

(2) 試験結果

今回実施した簡易揚水試験結果を表-4.1.1に示す。また参考として表-4.1.2に既往の簡易揚水試験結果を示す。なお、ここに示す簡易揚水試験結果はあくまでも簡易法による試験結果であり、試験のほとんどが流量の安定しないエアリフト揚水により行われたことを考え合わせると、その結果はあくまでも参考値として相対的にとらえるべきである。

表-4.1.1 今回実施した簡易揚水試験結果

井戸名 ¹⁾	揚水量 (l/秒)	水位降下量 (m)	透水係数 (cm/秒)	影響半径 (m)	帯水層
Y-1	10.28	0.13	1.2×10^{-1}	165.7	第四系帯水層
Y-2	20.46	0.78	8.6×10^{-2}	1162.8	〃
Y-3	19.64	0.51	9.4×10^{-2}	1683.6	〃
Y-4	18.58	0.76	7.1×10^{-2}	924.0	〃
Y-5	17.81	1.29	4.4×10^{-2}	1079.0	〃
S-1	4.13	2.02	1.6×10^{-2}	60.0	〃
S-4	1.66	0.74	6.7×10^{-3}	19.7	〃
S-5	4.65	1.61	2.1×10^{-2}	52.0	〃
S-6	5.00	51.3	1.9×10^{-3}	657.0	新第三系被圧帯水層

1) Y : 揚水井、S : 観測井

表-4.1.2 既往簡易揚水試験結果

観測井番号	試験対象帯水層厚 (m)	透水量係数 (m ³ /日)	透水系数 (cm/秒)	帯水層
57	61.13	1,939.0	3.7×10^{-2}	第四系帯水層
35	14.32	50.0	4.0×10^{-3}	〃
20	17.73	172.7	1.1×10^{-2}	〃
34	8.25	11.1	1.6×10^{-3}	〃
3	8.86	54.5	7.1×10^{-3}	〃
48	32.48	98.4	3.5×10^{-3}	〃
7	79.42	606.0	8.8×10^{-3}	〃
54	6.42	10.7	1.9×10^{-3}	第四系/二畳系帯水層
14	58.42	1.0	2.0×10^{-5}	ジュラ系帯水層
37	53.25	2.9	6.3×10^{-5}	二畳系帯水層

異常の簡易揚水試験結果に示される様に、ジュラ系、二畳系の基盤岩類の透水系数は 1×10^{-5} cm/秒オーダーの値を示し、第四系の透水系数よりも著しく小さい。このことは、ジュラ系、二畳系等の基盤岩類が第四系帯水層に対し不透水性基盤の役割を果たしていることを示すものである。

第四系の帯水層についての観測井での簡易揚水試験結果と揚水井の試験結果を比較すると、観測井での透水系数のほとんどが 2×10^{-3} cm/秒オーダーから 2×10^{-2} cm/秒なのに対し揚水井でのそれは 4×10^{-2} cm/秒から 1×10^{-1} cm/秒とほぼ10倍ほど大きな数値を示す。これは揚水量の違いの他に、井戸径、スクリーンなどの違い（井戸損失量の違い、つまり井戸の性能の違い）によるものと考えられ、当然揚水井での試験結果の方が現実に近い値を示しているものと判断される。しかし、後述するように水位観測井を設けた本式の揚水試験では、これよりもさらに大きな透水系数が得られている。

4. 2 水位観測井を設けた揚水試験

水位観測井を設けた本格揚水試験は Y-2 井、Y-3 井、Y-4 井、Y-5 井の 4 本の揚水井で実施されている。

(1) 試験方法

① Y-2 揚水井

Y-2 揚水井での試験では、これから 12m 離れた W-9 観測井と 660m 離れた S-12 観測井を水位観測井として揚水中の水位降下を測定している。この内、S-12 観測井では圧力式自記水位計により精度の高い（ミリ単位）観測データが連続的に得られている。

試験は 1989 年 9 月 8 日から開始され約 33 時間の揚水の後約 12 時間水位の回復が測定されている。試験では 75Kw の水中ポンプを地質柱状図に示すように地下水面下約 25 m の位置に設置し、揚水を 5 段階の揚水量に分けて実施し、揚水された地下水は近傍の用水路に排出された。

水理定数算定には第 1 段階の揚水試験（揚水量 45 lit/秒、揚水時間 1495 分）のデータを用いた。

② Y-3 揚水井

Y-3 揚水井での試験では、これから 350m 離れた S-12 観測井を水位観測井として揚水中の水位降下を測定している。S-12 観測井での水位降下は 3cm 程度とごく僅かではあったが、圧力式自記水位計により精度の高い（ミリ単位）観測データが連続的に得られている。

試験は 1989 年 9 月 17 日から 9 月 18 日までの間実施された。試験では 55Kw の水中ポンプを地質柱状図に示すように地下水面下約 25m の位置に設置し、2 段階の揚水量で実施した。揚水された地下水は近傍の用水路に排出された。

水理定数算定には第 1 段階の揚水試験（揚水量 37 lit/秒、揚水時間 1530 分）のデータを用いた。

③ Y-4 揚水井

Y-4揚水井での試験では、これから700m離れたS-12観測井を水位観測井として揚水中の水位降下を測定している。S-12観測井での水位降下はY-3揚水井の場合と同様に3cm程度とごく僅かではあったが、圧力式自記水位計により精度の高い(ミリ単位)観測データが連続的に得られている。

試験は1989年9月19日から9月20日までの間実施された。試験では55Kwの水中ポンプを地質柱状図に示すように地下水面下約20mの位置に設置し、2段階の揚水量で実施した。揚水された地下水は近傍の用水路に排出された。

水理定数算定には第1段階の揚水試験(揚水量 33 lit/秒、揚水時間 1050分)のデータを用いた。

④ Y-5 揚水井

Y-5揚水井での試験では、これから12m離れたS-10観測井、400m離れたS-12観測井、680m離れたY-3揚水井の3本の井戸を水位観測井として揚水中の水位降下を測定している。これらの水位観測井はほぼ直線的に配列している。これらの内、S-12観測井では他の試験と同様に、自記水位計により精度の高い測定が行われている。

1989年9月12日から本格試験が開始され、53時間の揚水の後約10時間水位の回復が測定されている。試験では75Kwの水中ポンプを地質柱状図に示すように地下水面下約20mの位置に設置し、揚水を2段階の揚水量に分けて実施し、揚水された地下水は近傍の用水路に排出された。

水理定数算定には第1段階の揚水試験(揚水量 47 lit/秒、揚水時間 2760分)のデータを用いた。

(2) 解析方法

揚水試験の解析（透水量係数、貯留係数の算定）にはタイス法およびヤコブ法を用いた。また3本の水位観測井がほぼ直線的に配列しているY-5揚水井の試験では、距離-水位降下曲線からも水理定数を算定した。なお以上の方法は非定常状態での解析方法であるが、定常状態での解析（チーム法）は、水位降下が試験中に終息していないことから実施していない。なお、揚水試験記録については、資料集C揚水試験結果を参照されたい。

(3) 解析結果

図-4.2.1から図-4.2.13に揚水試験解析図を示す。なお、Y-5揚水時のY-3水位観測井の水位記録には大きなばらつきがあり、解析不能であった。この記録は距離-水位降下曲線による解析の参考値として採用した。

表-4.2.1に以上の解析結果をまとめる。なお透水係数の算定にあたっては、帯水部全層の平均値を求めるため、透水量係数を挟在粘土薄層も含めた帯水部全層厚で除した。

表-4.2.1 水位観測井を設けた揚水試験解析結果

揚水井	水位観測井 解析方法	井戸間距離 (m)	揚水量 (lit/秒)	透水量係数 (m ² /日)	透水係数 (cm/秒)	貯留係数
Y-2	W-9 タイス ヤコブ	15	45	656	1.1×10^{-2}	6.9×10^{-3}
		15	45	699	1.2×10^{-2}	5.6×10^{-3}
	S-12 タイス ヤコブ	660	45	4108	5.8×10^{-2}	1.3×10^{-3}
		660	45	7129	1.0×10^{-1}	9.4×10^{-4}
Y-3	S-12 タイス ヤコブ	350	37	57	8.2×10^{-4}	2.8×10^{-3}
		350	37	3954	5.7×10^{-2}	2.2×10^{-2}
Y-4	S-12 タイス ヤコブ	700	33	2468	3.3×10^{-2}	1.4×10^{-3}
		700	33	7819	1.0×10^{-1}	1.2×10^{-3}
Y-5	S-10 タイス ヤコブ	12	47	11567	1.9×10^{-1}	1.3×10^{-5}
		12	47	11457	1.9×10^{-1}	6.2×10^{-6}
	S-12 タイス ヤコブ	400	47	8418	1.2×10^{-1}	1.7×10^{-3}
		400	47	10487	1.5×10^{-1}	1.2×10^{-3}
	距離-水位	(t=45分)	47	10611	1.5×10^{-1}	1.9×10^{-3}

注)平均透水係数は粘土薄層も含めた帯水部全層厚で透水量係数を除して求めた。

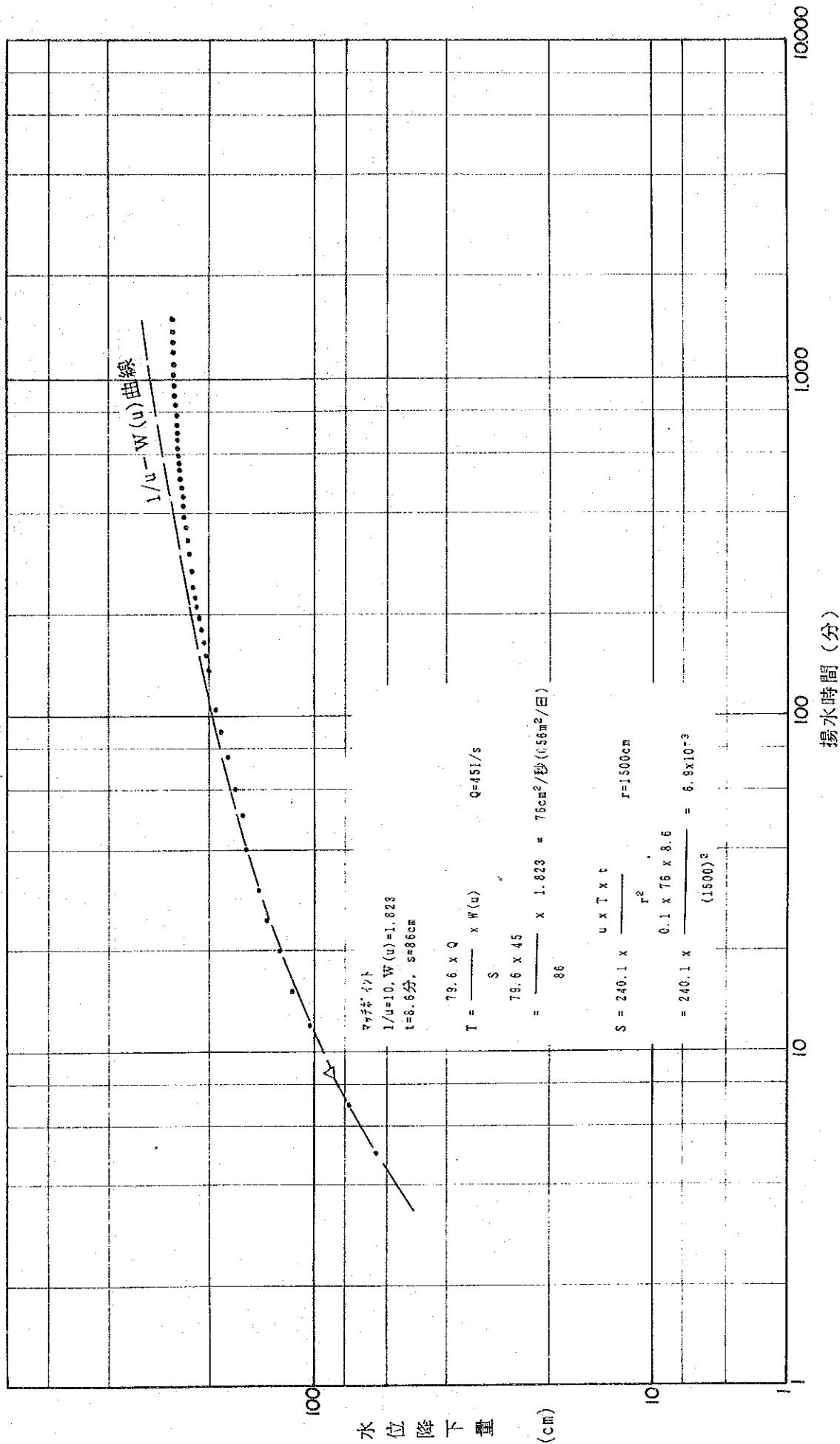


図-4.2.1 タイプ法による Y-2 井揚水試験解析図 (W-9 水位観測井)

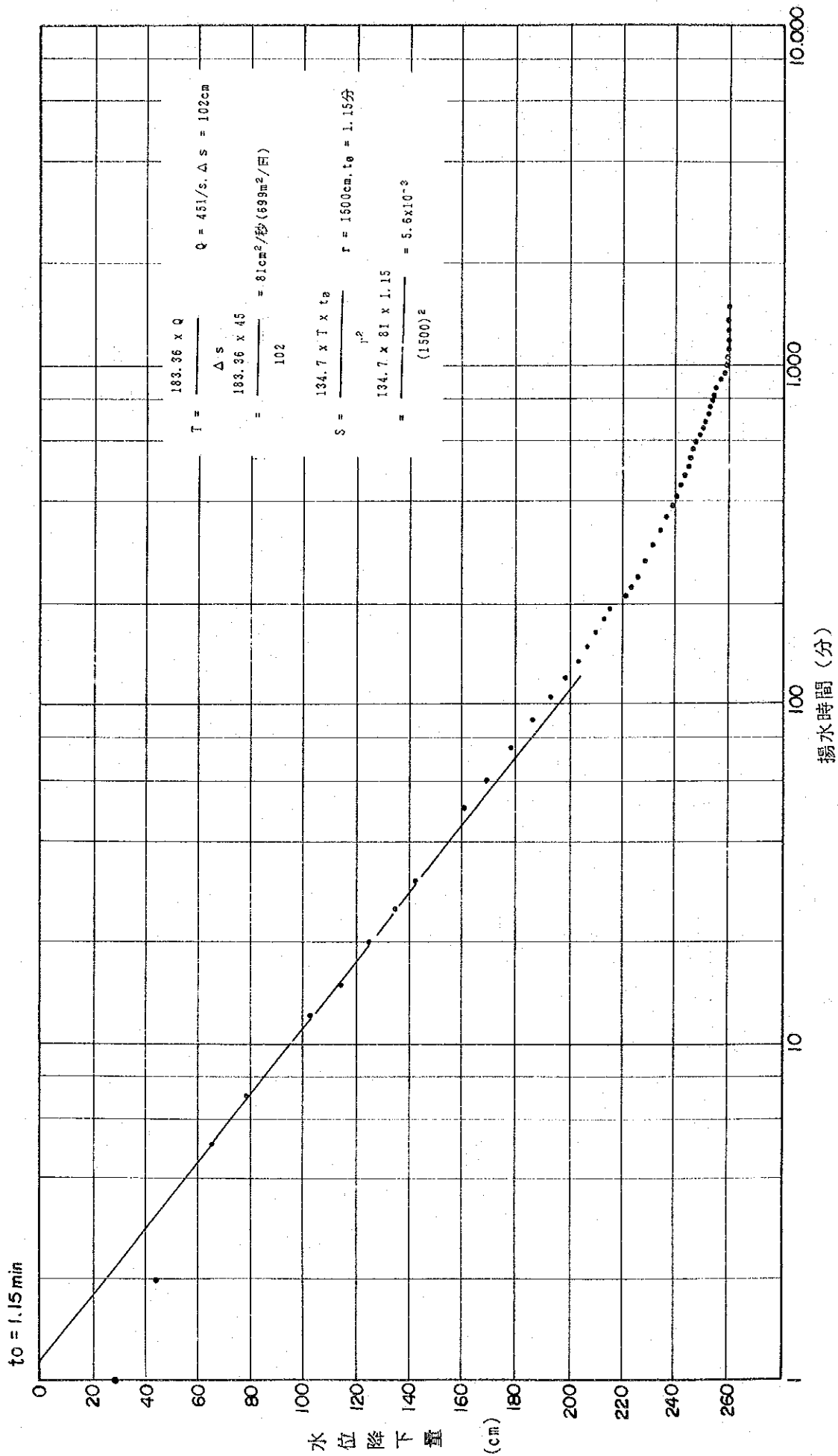


図-4.2.2 ヤコブ法によるY-2井揚水試験解析図(W-9水位観測井)

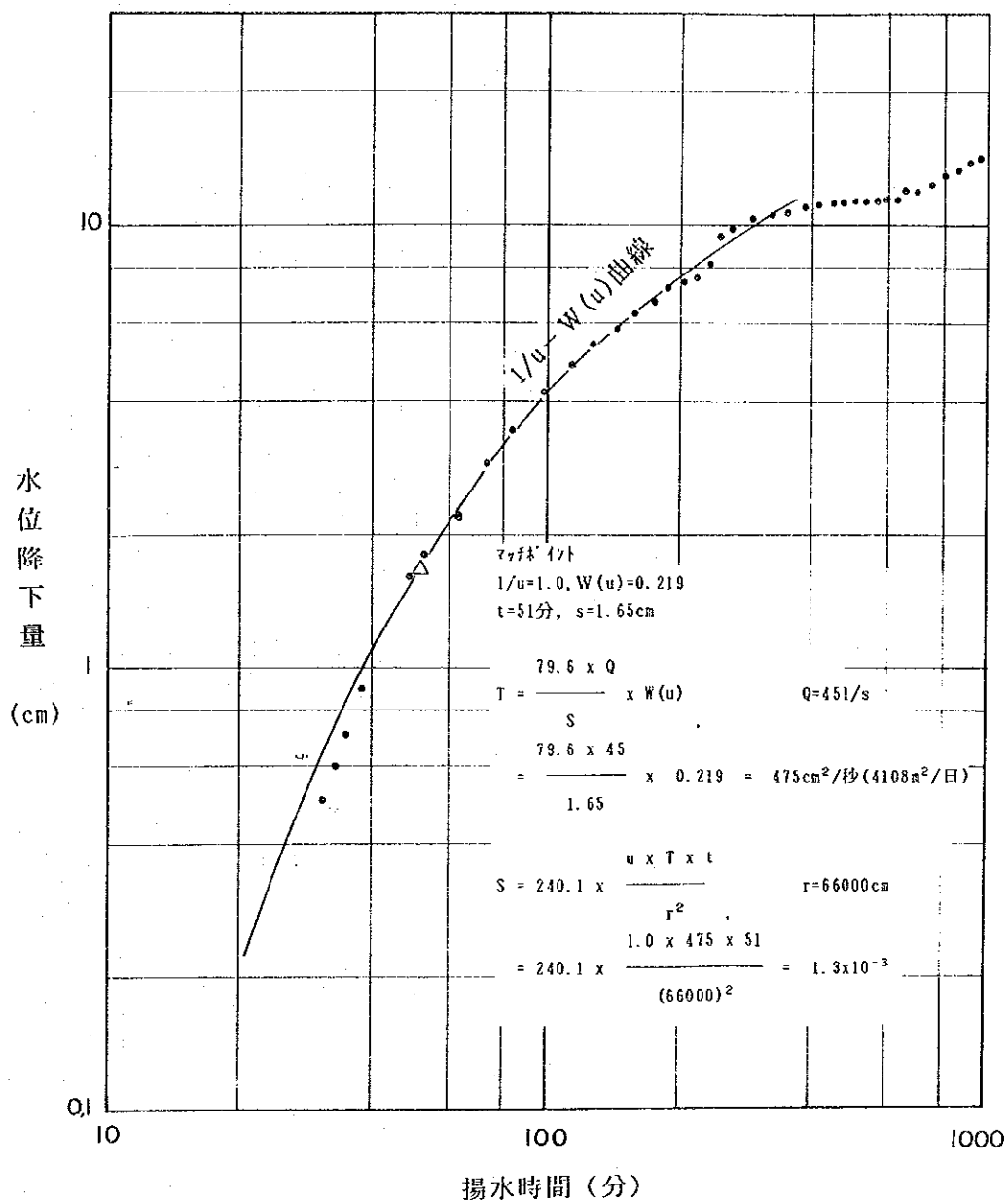


図-4.2.3 タイプ法によるY-2井揚水試験解析図(S-12水位観測井)

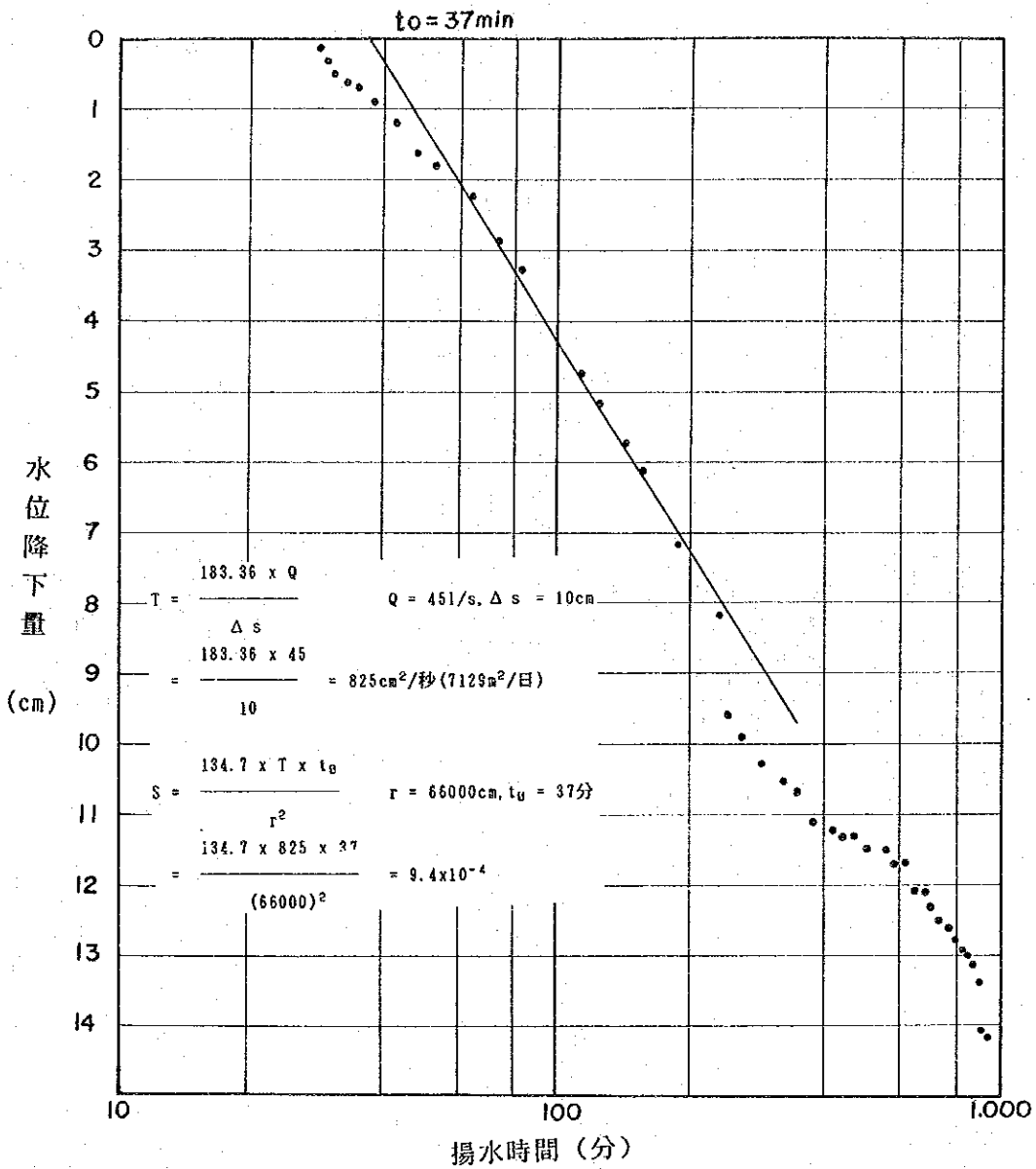


図-4.2.4 ヤコブ法によるY-2井揚水試験解析図 (S-12水位観測井)

ケース 1

777# イト

$$1/u=0.25, W(u)=0.0037$$

$$t=550分, s=1.65cm$$

$$T = \frac{79.6 \times Q}{S} \times W(u) \quad Q=36.94l/s$$

$$= \frac{79.6 \times 36.94}{1.65} \times 0.0037 = 6.6cm^2/秒(57m^2/日)$$

$$S = 240.1 \times \frac{u \times T \times t}{r^2} \quad r=35000cm$$

$$= 240.1 \times \frac{4 \times 6.6 \times 550}{(35000)^2} = 2.8 \times 10^{-3}$$

ケース 2

777# イト

$$1/u=1.2, W(u)=0.295$$

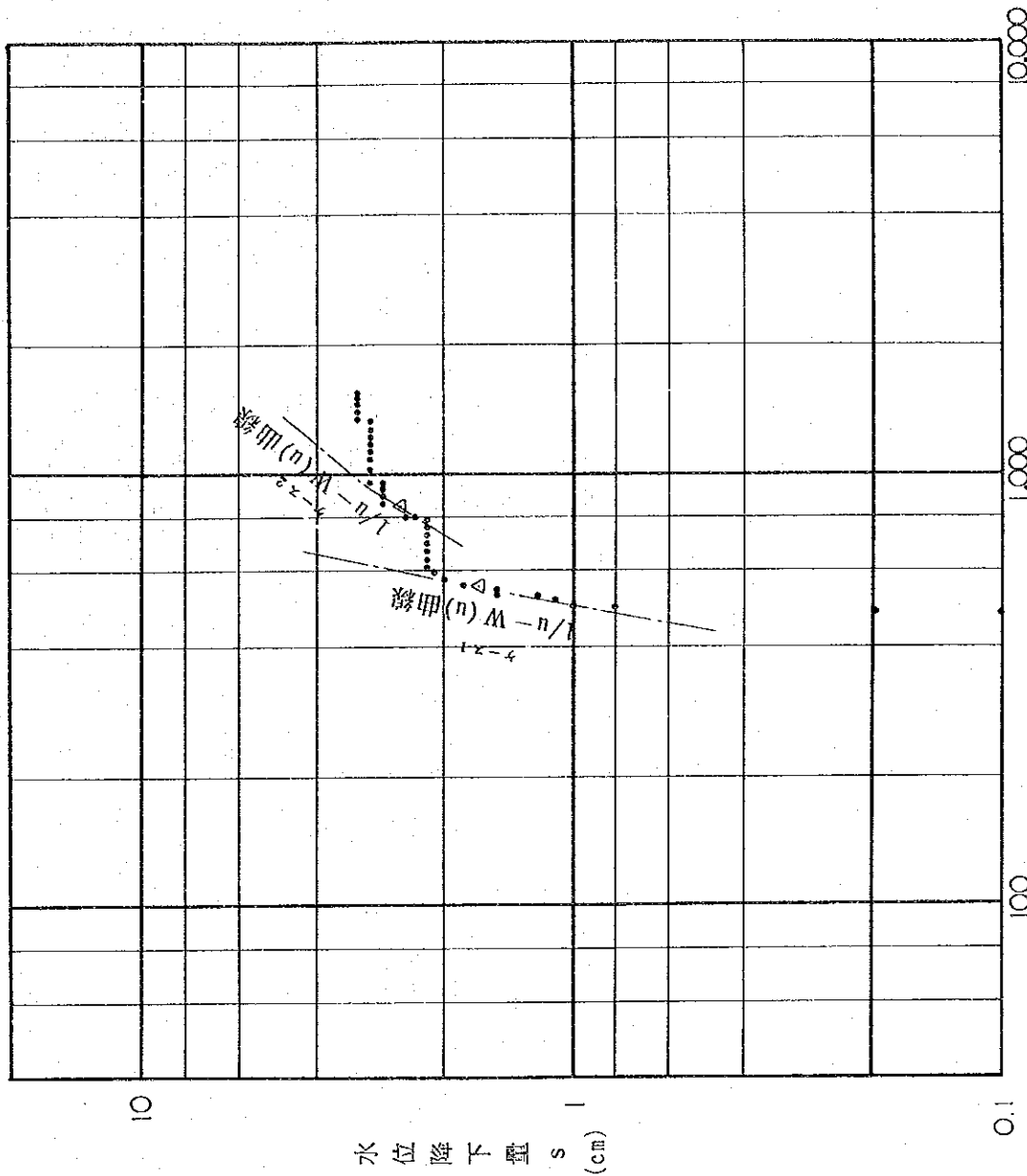
$$t=840分, s=2.5cm$$

$$T = \frac{79.6 \times Q}{S} \times W(u) \quad Q=36.94l/s$$

$$= \frac{79.6 \times 36.94}{2.5} \times 0.295 = 347cm^2/秒(2996m^2/日)$$

$$S = 240.1 \times \frac{u \times T \times t}{r^2} \quad r=35000cm$$

$$= 240.1 \times \frac{0.83 \times 347 \times 840}{(35000)^2} = 4.7 \times 10^{-2}$$



水位降下量 S (cm)

揚水時間 (分)

図-4.2.5 タイプ法による Y-3 井揚水試験解析図 (S-1 2 水位観測井)

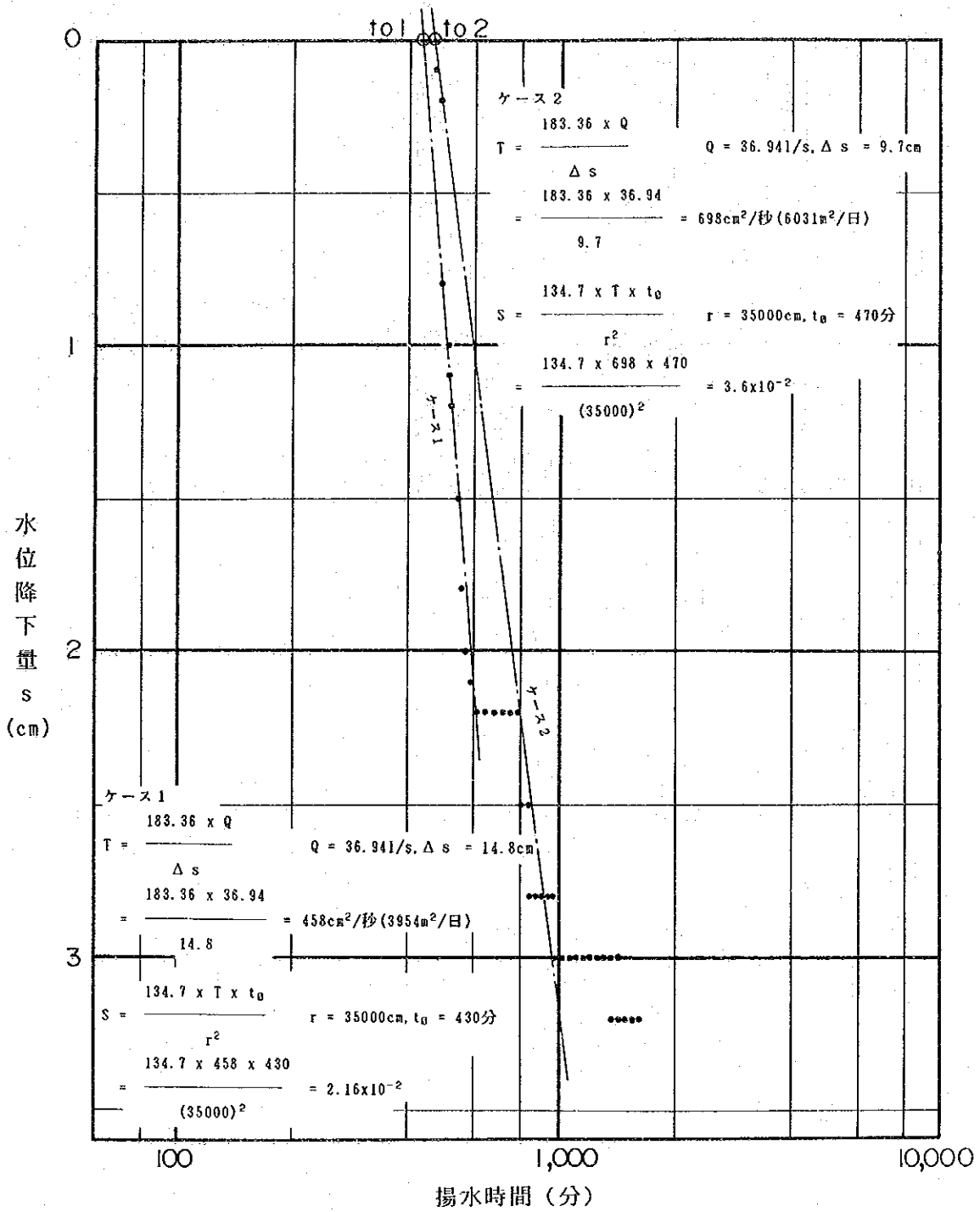


図-4.2.6 ヤコブ法によるY-3井揚水試験解析図 (S-12水位観測井)

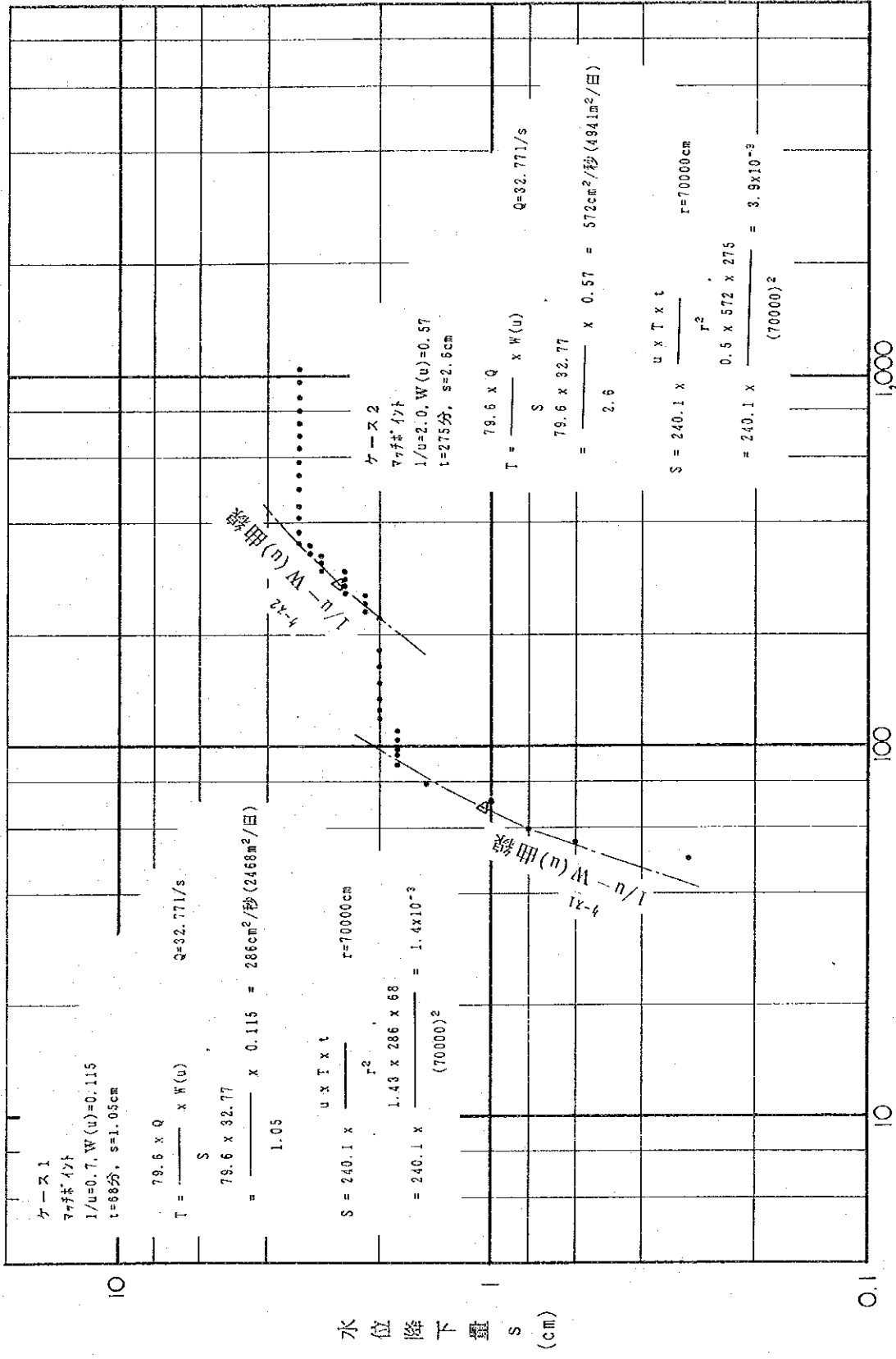


図-4.2.7 タイプ法によるY-4井揚水試験解析図 (S-1 2水位観測井)

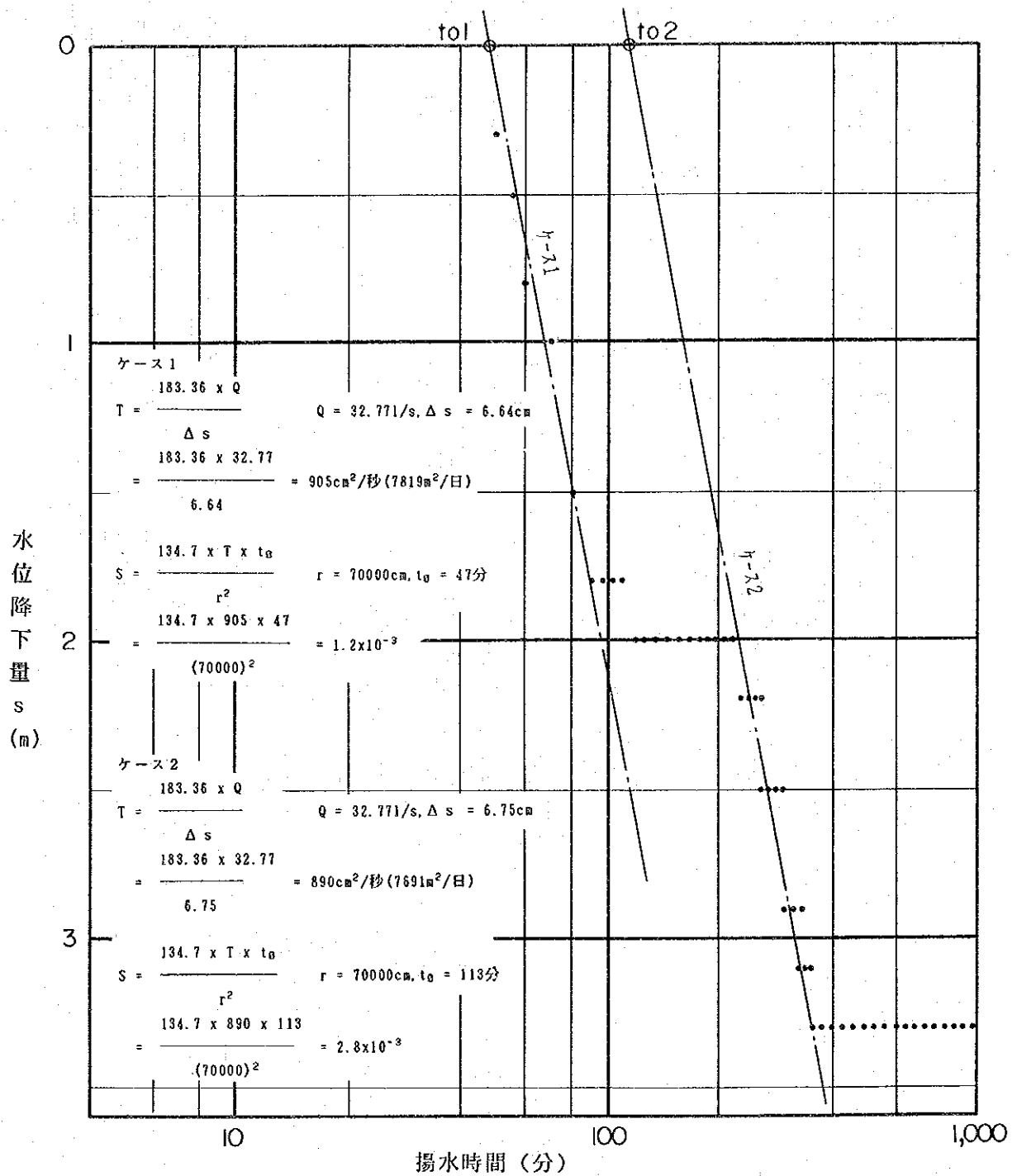


図-4.2.8 ヤコブ法によるY-4井揚水試験解析図 (S-1 2 水位観測井)

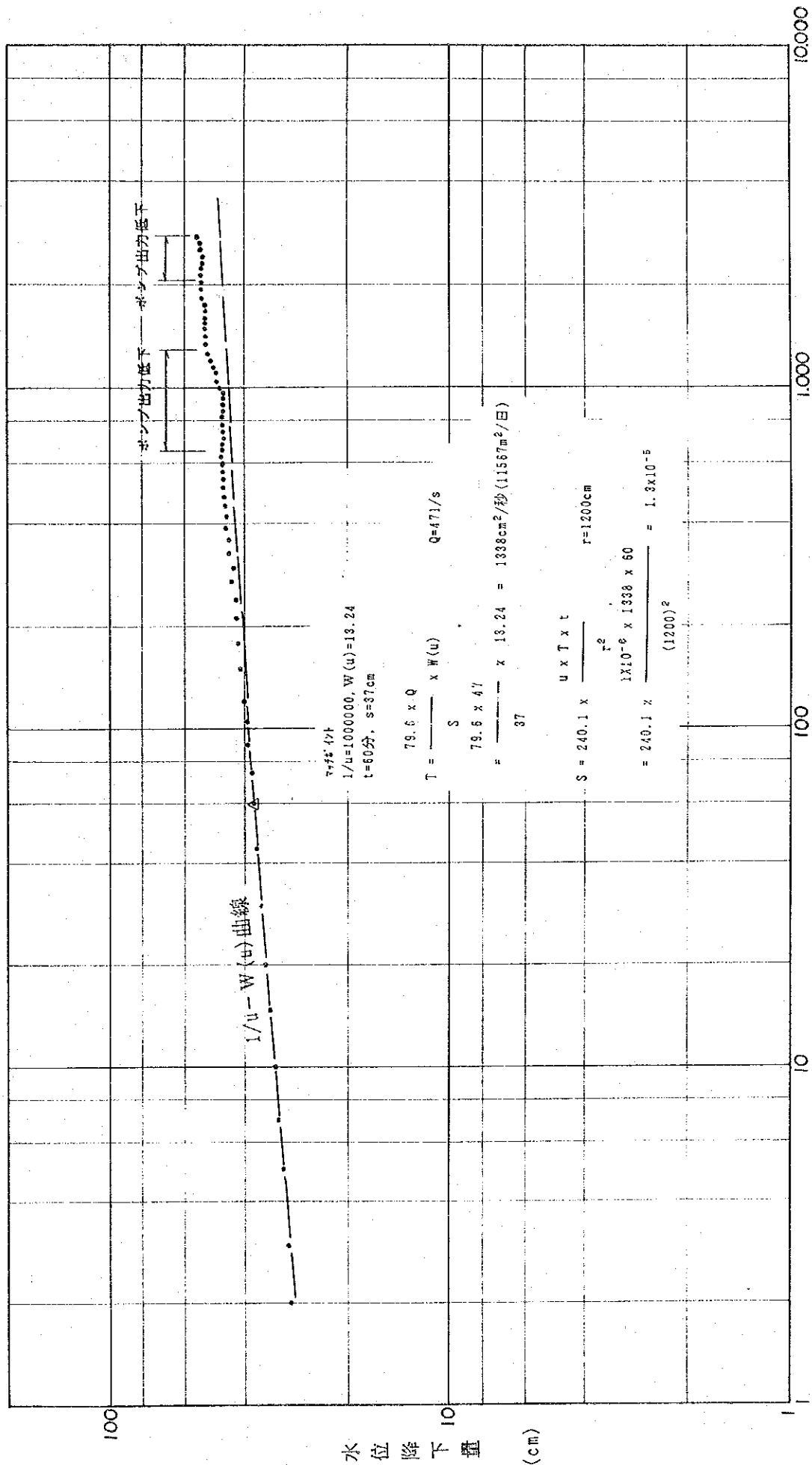


図-4.2.9 タイヌ法によるY-5井揚水試験解析図 (S-10水位観測井)

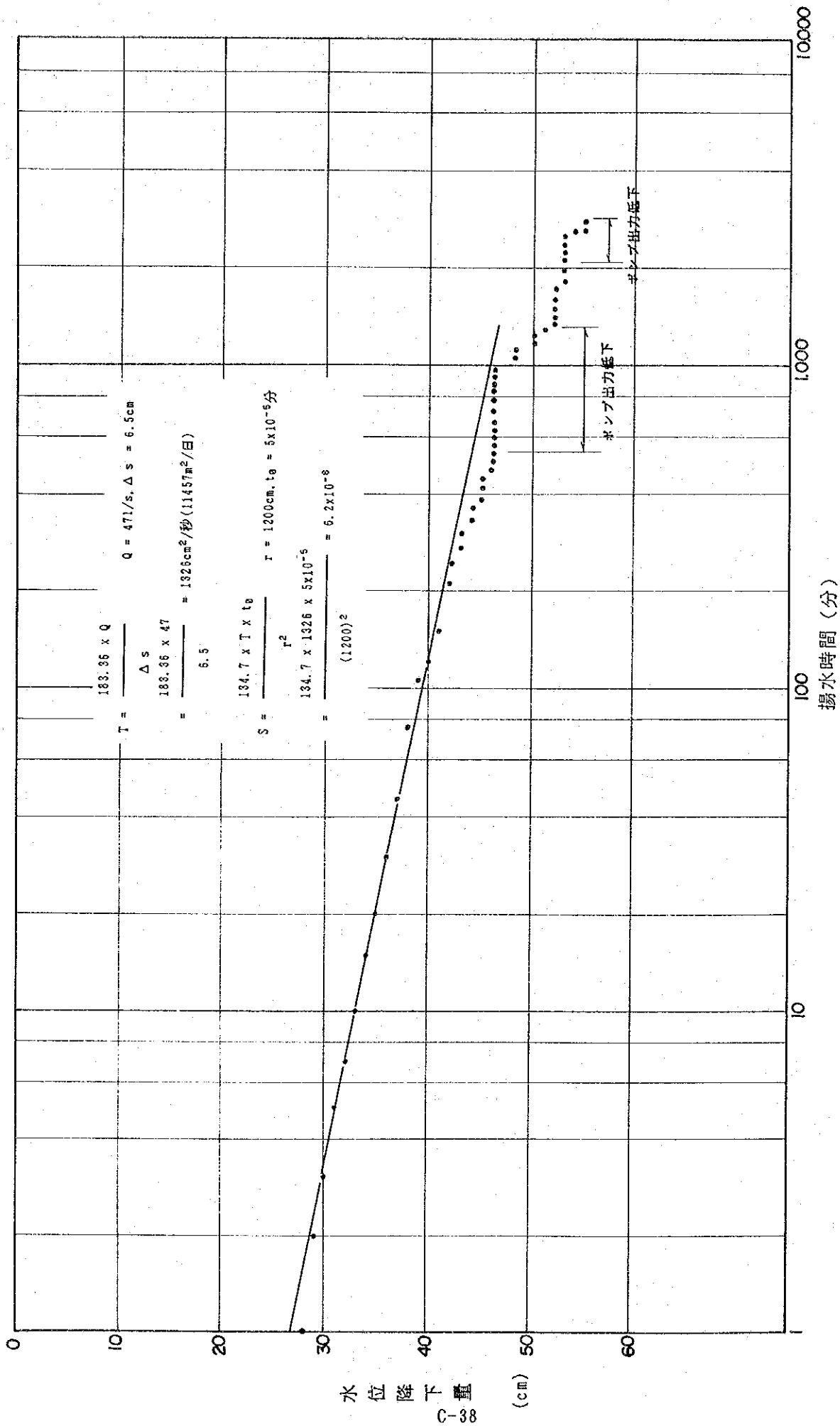
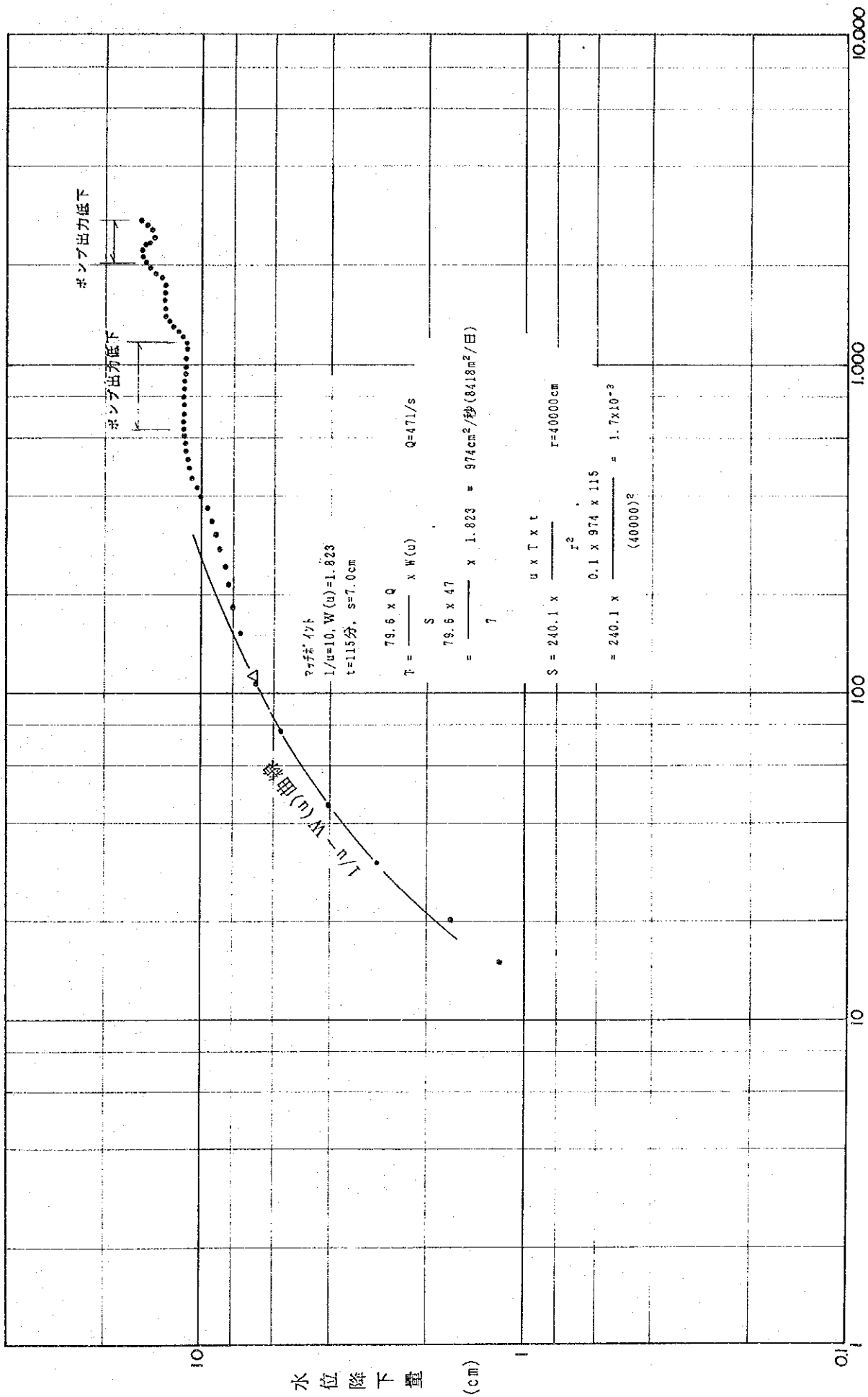


図-4.2.10 ヤコブ法によるY-5井揚水試験解析図 (S-10水位観測井)



揚水時間 (分)

図-4.2.1.1 タイプ法によるY-5井揚水試験解析図 (S-12水位観測井)

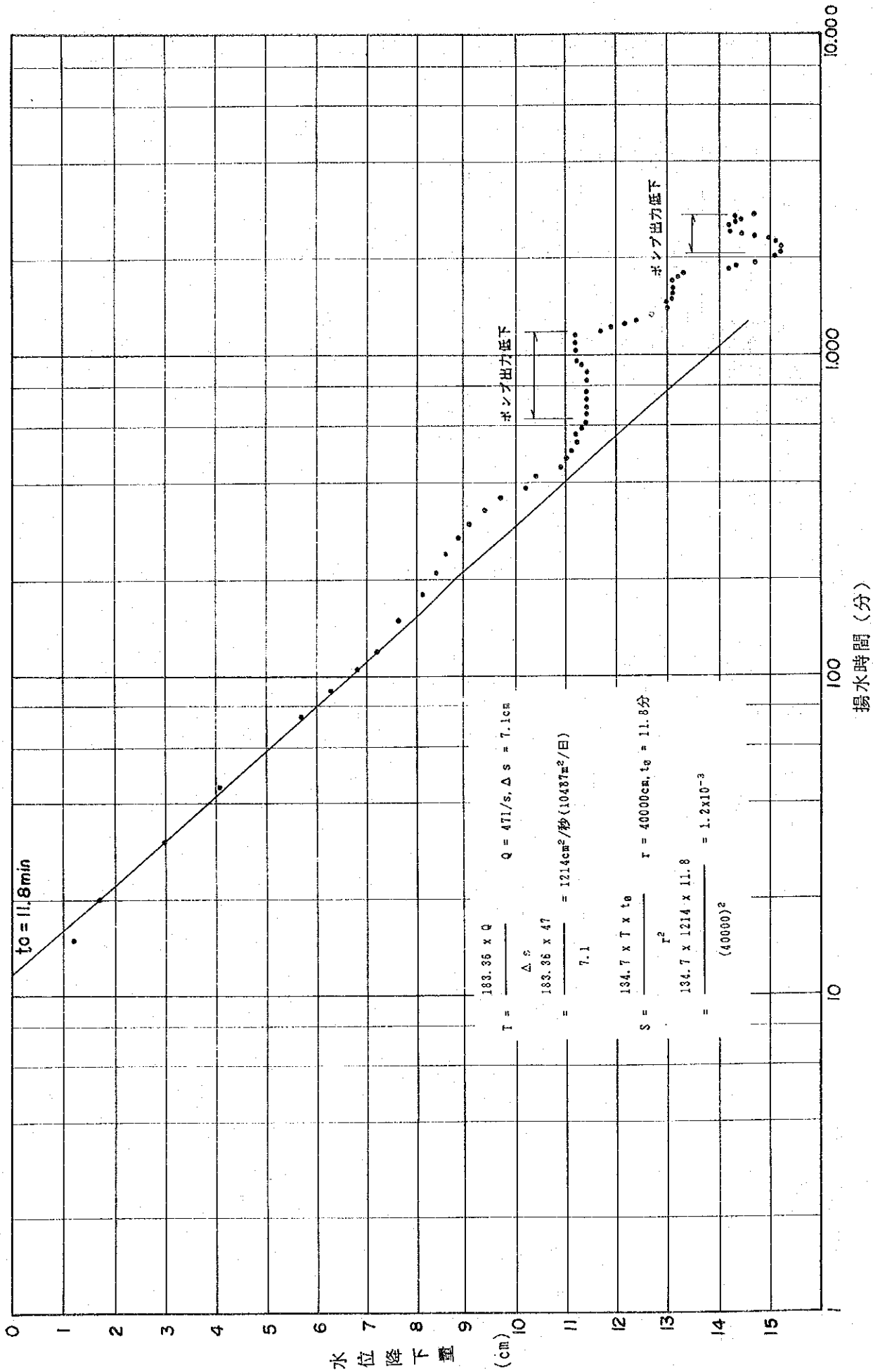
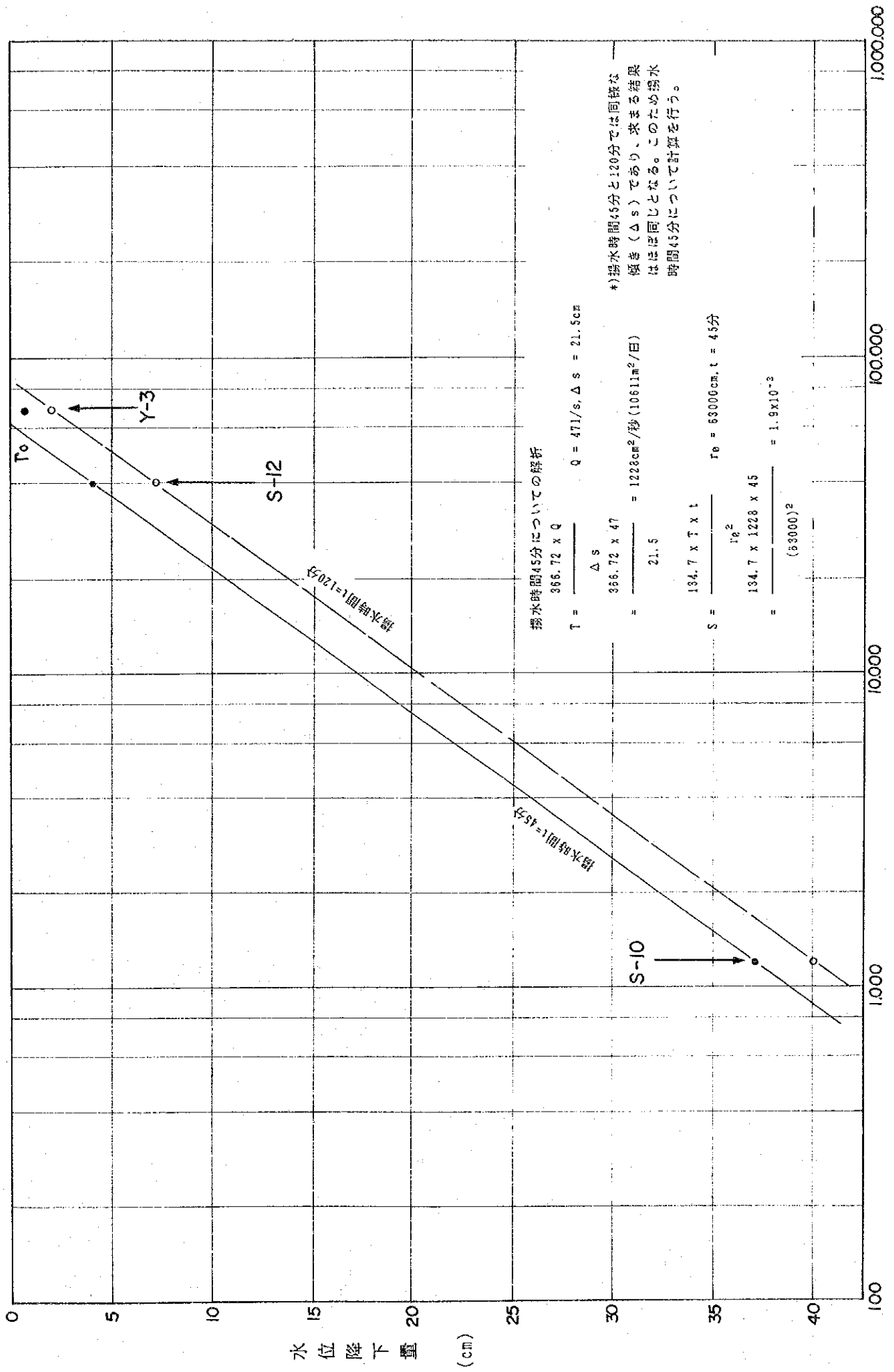


図-4.2.12 ヤコブ法によるY-5井揚水試験解析図(S-1 2水位観測井)



揚水時間45分についての解析

$$T = \frac{366.72 \times Q}{\Delta s} \quad Q = 471 \text{ l/s}, \Delta s = 21.5 \text{ cm}$$

$$= \frac{366.72 \times 47}{21.5} = 1228 \text{ cm}^2/\text{秒} (10611 \text{ m}^2/\text{日})$$

$$S = \frac{134.7 \times T \times t}{r_0^2} \quad r_0 = 63000 \text{ cm}, t = 45 \text{ 分}$$

$$= \frac{134.7 \times 1228 \times 45}{(63000)^2} = 1.9 \times 10^{-5}$$

*)揚水時間45分と120分では同様な傾き(Δs)であり、求める結果はほぼ同じとなる。このため揚水時間45分について計算を行う。

水位降下量 (cm)

G-41

揚水井から観測井までの距離 (cm)

図-4.2.13 距離-水位降下曲線によるY-5井揚水試験解析図

(4) 解析結果の検討

① Y-2 井揚水試験

Y-2 井揚水試験の解析図を図-4.2.1から図-4.2.4に示す。

Y-2 での揚水井試験結果は、表-4.2.1に示すように近傍のW-9 水位観測井と遠方のS-12 水位観測井とは求めた水理定数、特に透水量係数および透水係数に大きな差がある。つまり透水量係数でいうと、W-9 では650-700 m³/日、S-12 では4000-7000 m³/日とおよそ10倍もの開きがある。

この理由としてはY-2 およびW-9 付近の地質の特異性が考えられる。Y-2 井の地質柱状図に示すように(資料集A ボーリング柱状図参照)、砂礫主体層(主力帯水層)において地下水面付近以深で急激に比抵抗値が下がると共に自然電位の上昇が顕著に認められ、抵抗値の減少もまた認められる。このことは地下水面以下の砂礫主体層(主力帯水層)にかなりの量の細粒分つまり粘土分が含まれていることを示唆するものである。このようにY-2 およびW-9 付近の帯水層は局部的に粘土分を多量に含んでいるため、W-9 の水位観測結果からこの様な小さな透水量係数が得られたものと考えられる。

以上のことからS-12 の水位観測結果からもとめられた透水量係数4000-7000 m³/日がより平均的な値であると言える。

貯留係数についてはW-9 水位観測井およびS-12 水位観測井ともに 1×10^{-3} から 7×10^{-3} 程度の値を示し、オーダー的にはほぼ一致していると言える。

② Y-3 井揚水試験

Y-3 井揚水試験では、S-12 観測井を水位観測井として揚水試験を実施している。この試験結果の解析図を図-4.2.5、図-4.2.6に示す。

これらの図に示されるように、Y-3 井揚水時のS-12 水位観測井の水位降下量は非常に僅かであり、最終水位降下量は3cm程度である(Y-2 揚水井およびY-5 揚水井揚水時のS-12 水位観測井の最終水位降下量は14-15cmである)。後述するY-4 井揚水試験でも、S-12 水位観測井でこれと同様な小さな水位降下量(約3cm程度)が観測されている。これはY-2 揚水井およびY-5 揚水井に比べY-3 揚水井およびY-4 揚水井の揚水量が少ないことやスクリーン長が短いことにも

よと思われるが、表-4.2.1に示すようにY-3揚水井、Y-4揚水井の帯水層の透水量係数がY-2揚水井、Y-5揚水井のそれに較べ幾らか低い傾向を示すことにも起因すると考えられる。

揚水試験解析図に示されるようにY-3井揚水試験では揚水時間-水位降下曲線に階段状の乱れが認められる。つまり、揚水開始後600分を過ぎたあたりで水位降下が停止し、800分前後で再び水位が降下し始め1000分でまた水位降下が停止しその後変化が認められない。このような揚水時間-水位降下曲線の階段状の乱れはY-4井揚水試験でも認められる。

揚水井近傍に何らかの地下水涵養源が存在する場合、水位降下影響範囲がこれに達した時点でこの様な水位降下の減少あるいは停止が発生するが、これよりはむしろ水位降下が極めて微小であるため（ミリ刻み）、比較的精度の高い水圧式自記水位計であってもこの微小変化に追従できず、測定誤差が生じたと考えるのがより自然かと思われる。

上に述べたように、揚水時間-水位降下曲線が2段に分かれた階段状を呈することから、第一段目の曲線（ケース1）と第二段目の曲線（ケース2）の2ケースについて、タイス法およびヤコブ法にて解析を行った。この結果を以下に示す。

Y-3井揚水試験解析結果 (S-12水位観測井)

	<u>透水量係数 (m²/日)</u>	<u>貯留係数</u>
<u>ケース1</u>		
タイス法	57 (6.6cm ² /秒)	2.8X10 ⁻³
ヤコブ法	3954 (458cm ² /秒)	2.2X10 ⁻²
<u>ケース2</u>		
タイス法	2998 (347cm ² /秒)	4.7X10 ⁻²
ヤコブ法	6031 (698cm ² /秒)	3.6X10 ⁻²

Y-3井揚水試験結果としてケース1およびケース2の何れを採用するかについては、先に述べたように、ケース2の曲線は一旦水位低下が停止した後の曲線であり測定誤差が含まれていると考えられるので、ケース1の解析結果を採用するべきであると判断される。

ケース1の解析結果には上に示したように、タイス法とヤコブ法とで極めて大き

な差がある。他の揚水試験結果（表-4.2.1参照）と比較した場合、タイス法による解析結果が異常に小さな値を示していることが判る。この理由としては図-4.2.5に示すようにケース1の揚水時間-水位降下曲線の傾きが著しく急であるため、 $1/u-W(u)$ 曲線との間に誤差が生じたためと考えられる。

以上述べたことにより、Y-3井揚水試験の結果としてケース1のヤコブ法による解析結果を採用するべきであると考えられ、その値は透水量係数：約4000 m^2 /日（約450 cm^2 /秒）、貯留係数： 2.2×10^{-2} である。

③ Y-4井揚水試験

Y-4井揚水試験では、S-12観測井を水位観測井として揚水試験を実施している。この試験結果の解析図を図-4.2.7、図-4.2.8に示す。

これらの図に示されるように、Y-4井揚水時のS-12水位観測井の水位降下量はY-3井の場合と同様に非常に僅かであり、最終水位降下量は3 cm 程度である。これはY-3井揚水試験で述べたような原因に起因すると考えられる。

またこれらの図に示されるように、Y-4井揚水試験においてもY-3井揚水試験と同様な揚水時間-水位降下曲線に階段状の乱れが認められる。これはY-3井揚水試験の項で述べたように測定誤差に起因するものと考えられる。

このように、揚水時間-水位降下曲線が2段に分かれた階段状を呈することから、Y-3井の場合と同じに第一段目の曲線（ケース1）と第二段目の曲線（ケース2）の2ケースについて、タイス法およびヤコブ法にて解析を行った。この結果を以下に示す。

Y-4井揚水試験解析結果（S-12水位観測井）

	<u>透水量係数（m^2/日）</u>		<u>貯留係数</u>
<u>ケース1</u>			
タイス法	2468	(286 cm^2 /秒)	1.4×10^{-3}
ヤコブ法	7819	(905 cm^2 /秒)	1.2×10^{-3}
<u>ケース2</u>			
タイス法	4941	(572 cm^2 /秒)	3.9×10^{-3}
ヤコブ法	7691	(890 cm^2 /秒)	2.8×10^{-3}

Y-3井揚水試験で述べたように、ケース2の曲線は一旦水位低下が停止した後
の曲線であるため測定誤差が含まれていると考えられるので、ケース1の解析結果
を採用するべきであると判断される。

このことからY-3井揚水試験の結果として、ケース1のタイス法とヤコブ法の
解析結果の平均をとって、透水量係数：約4000 m³/日（約450 c m³/秒）、貯留係数：
2.2x10⁻²の値が得られる。

④ Y-5井揚水試験

Y-5井の揚水試験では各水位観測井での解析結果および距離-水位降下曲線の
解析結果ともほぼ同様な透水量係数が得られている。その値は8000-12000 m³/日であ
り10000 m³/日から12000 m³/日の数値を示すものが多い。この透水量係数は、他の揚
水試験結果よりも多少大きめの値であるが、オーダー的にはほぼ一致していると言
えよう。

貯留係数についてはS-10水位観測井での解析結果が1x10⁻⁵から6x10⁻⁶とかな
り小さい値を示す他は、おおむね1x10⁻³から2x10⁻³程度の値が得られている。S-
10水位観測井でこの様な小さな貯留係数が得られた原因としては、図-4.2.9およ
び図-4.2.10に示すように水位降下-揚水時間曲線の傾きが非常に緩やかであるため、
解析上の誤差が生じたものと判断される。このため貯留係数としては1x10⁻³から
2x10⁻³の値がより現実に近いと判断され、この値は他の揚水試験結果から得られた
値とも一致する。

4. 3 段階揚水試験

段階揚水試験は5本の揚水井で実施され、揚水量段階は2段階から5段階としている。段階揚水試験は井戸1本あたりの適正揚水量の決定には欠かせないものである。井戸の適正揚水量については4. 5. 1章で詳述するとして、本章では段階揚水試験の結果について述べる。

(1) 揚水量と水位降下量の関係

図-4. 3. 1に各揚水井での揚水量と水位降下量の関係を示す。この図に示されるように各井戸での揚水量と水位降下の関係は両対数グラフ上ではほぼ直線的に表され特に変曲点は見いだせない。

単位揚水量に対する水位降下量はY-3井が最も小さく、Y-2井が最も大きい。これはさく井地点の水文地質状況によるものと考えられ、水位降下量の最も小さいY-3井では帯水層の厚さが94mと最も厚く、その上主力帯水層である高透水性の砂礫主体層がその内の40mを占める。最も水位降下量の大きいY-2井では揚水試験結果の検討の項で述べたように、68mとY-5井とほぼ同じであるものの(Y-5井の帯水層の厚さは71m) そのほぼ全層が粘土層を挟在あるいは粘土分を多量に含む、比較的透水性の低い砂礫層からなる。Y-1井の帯水層が薄いにもかかわらず(実質36m)、単位揚水量あたりの水位降下量がそれほど大きくないのは、帯水層の全てが主力帯水層である砂礫主体層から成るためである。(砂礫主体層の下位には厚い粘土層が分布する)。

(2) 比湧出量

比湧出量は揚水量を水位降下量で除したものであり、基本的に図-4. 3. 1に示した揚水量と水位降下の関係と同じものである。Y-1井からY-5井で実施された段階揚水試験結果から求めた比湧水量を表-4. 3. 1に示す。

この表に示されるように揚水量が大きくなるに連れ比湧出量は減少する傾向が認められる。これは一般的な傾向と一致する。また、Y-3井の比湧出量が $5000\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ 程度と最も大きく、Y-2井のそれが $1300\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ 程度と最も小さいのは(1)で述べたように水文地質状況によるものと考えられる。

この様に比湧出量は揚水井の位置によって変動があり、その値はおおよそ1500-

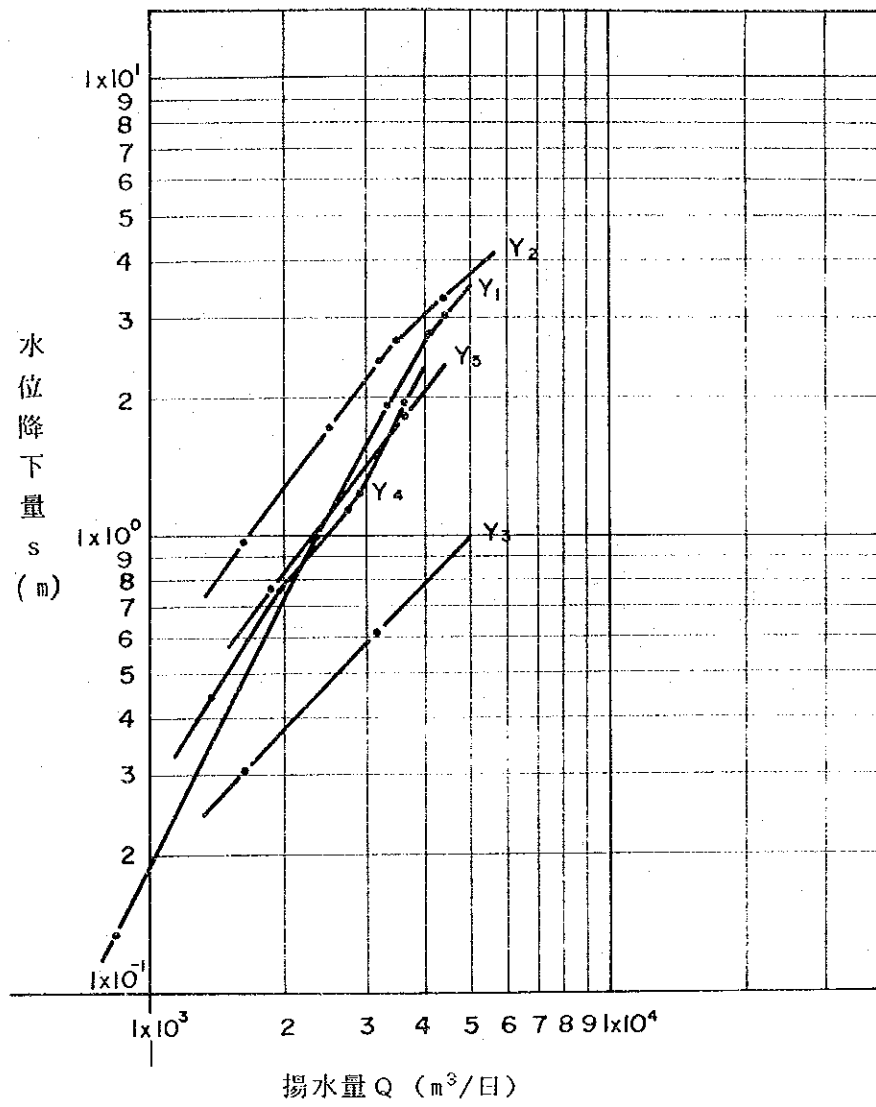


図 - 4.3.1 揚水井での揚水量 - 水位降下量曲線

2500m³/日/mの範囲にあり平均1800-2000m³/日/m前後と考えても良いと思われる。

表-4.3.1 揚水井の比湧出量

井戸番号	段階	揚水量(Q) (m ³ /日)	水位低下量(h) (m)	比湧出量(Sc) (m ³ /日/m)
Y-1	1	888	0.13	6831
	2	4443	3.10	1433
	3	3364	1.99	1690
	4	4120	2.80	1471
Y-2	1	4046	3.34	1211
	2	3470	2.74	1266
	3	3254	2.47	1317
	4	2549	1.77	1440
	5	1663	0.99	1679
Y-3	1	3197	0.62	5156
	2	1663	0.31	5364
	3	3052	0.61	5000
Y-4	1	2897	1.27	2281
	2	1382	0.45	3070
	3	2793	1.18	2364
	4	3628	1.83	1982
	5	1886	0.76	2480
Y-5	1	3628	1.83	1982
	2	1886	0.76	2480

比湧出量の単位は $m^3/日/m=m^2/日$ であり、これは透水量係数の単位とおなじである。このため一般に両者の間には相関関係があるとされている。各揚水井での透水量係数と比湧出量の関係を以下に示す。

表-4.3.2 透水量係数と比湧出量の関係

井戸番号	透水量係数、T ($m^2/日$)	比湧出量、Sc* ($m^3/日/m$)	両者の関係
Y-2	4000-7000	1200	$T=3.3-5.8XSc$
Y-3	4000	5200	$T=0.8XSc$
Y-4	2500-8000	2400	$T=1.0-3.3XSc$
Y-5	8000-12000	2000	$T=4.0-6.0XSc$

*比湧出量は透水量係数を求めた揚水試験時の揚水量に近い揚水量における値を採用した。

上表に示すように比湧出量と透水量係数の関係は大きく2つに分けられる。つまり、揚水井さく井地域の北側に位置するY-2井揚水およびY-5揚水井では、透水量係数は比湧出量の約3倍から6倍であるのに対し、南側に位置するY-3揚水井およびY-4揚水井では、その関係は約1倍から3倍である。

4. 4 群井揚水試験

群井揚水試験は1989年9月27日から10月9日まで揚水が行われ、その後約1週間ほど水位の回復測定がなされた。

(1) 試験方法

揚水はY-2, Y-3, Y-4, Y-5の4本の揚水井で行われ、周辺の観測井および既設農業用井戸で水位降下および試験後の水位回復が測定された。井戸の位置については図-2.1.1に示した井戸位置図を参照されたい。

①揚水井

Y-2およびY-5揚水井には75Kwの水中ポンプが設置され、Y-4およびY-5揚水井には55Kwの水中ポンプが設置された。水中ポンプの正確な設置位置は地質柱状図に示してあるが、おおむね地下水面下20mから25mのところに設置された。

ポンプの動力源は、Y-3, Y-4, Y-5については3本の井戸の中心に設置された250Kwの発電機2台から新規に敷設された仮設電線を通じ供給され、Y-2については付近を通る10000Vの既設電線から変圧器を通じ供給された。

揚水量はY-2で約47lit/秒、Y-3で約37lit/秒、Y-4で約33lit/秒、Y-5で約47lit/秒であった。

揚水された地下水は近傍の農業用用水路に排出された。

②観測井

観測井での水位観測は次のような方法で行われた。

- すべての揚水井およびS-8, S-15, S-13, W-9の水位観測位では水位が安定するまで密に観測を行い、水位安定後は24時間2時間ごとに観測をおこなう。
- S-5, S-12, Y-1, S-17, S-1の水位観測井には自記水位計を設置し連続した水位変動記録を得る。
- S-16, S-17, S-18, S-19, S-11, S-4, S-7, S-9の水位観測井では水位安定後24時間まで観測を続行し、以後12時間おきに観測を行う。
- S-2, W-8, S-3の水位観測井および既設農業用井戸(大東溝)では1日に2回水位測定を行い、他の井戸については1日に1回水位測定を行う。これらの観測

は水位回復まで行う。

③水質調査

群井揚水試験中の水質試料は、次の時期にすべての揚水井から採取する。

揚水開始直前 — — — 簡易分析用

揚水開始6日後 — — — 簡易分析用

揚水終了直前 — — — 全分析用

水位回復後、全ての観測井および揚水井で地下水水質の垂直変化を測定する。

測定項目は水温と電気伝導度である。

(2) 簡易解析結果

群井揚水試験の簡易解析が井戸の干渉式を用いて中国側によりなされているので、その結果を以下に示す。

①適用式

簡易解析には次に示す井戸の干渉式が適用されている。

$$h_0^2 - h^2 = \sum_i^n \frac{Q_i}{\pi K} \ln \frac{R_i}{r_i}$$

ここに h_0 : 与えられた地点の揚水前帯水層厚

h : 与えられた地点の揚水後帯水層厚

Q_i : i 番目の井戸の揚水量

R_i : i 番目の井戸から水位降下が無視できうる地点までの距離

(群井揚水による影響限界までの距離)

r_i : 与えられた地点から i 番目の井戸までの距離

この式では R_i が不明であるが、中国側は圧力伝播係数: a と揚水時間: t を導入して R_i を定めている。 a と t を導入した式は以下の通りである。

$$h_0^2 - h^2 = \sum_i^n \frac{Q_i}{2\pi K} \ln \frac{2.25at}{r_i^2}$$

② 計算結果

計算条件は以下の通りである。

水位降下計算地点を4本の揚水井の中心に位置するS-12水位観測井とする。

Y-2 揚水井	$r_1=650\text{m}$	$Q_1=4040.93\text{m}^3/\text{d}$
Y-3 揚水井	$r_2=350\text{m}$	$Q_2=3192.62\text{m}^3/\text{d}$
Y-4 揚水井	$r_3=700\text{m}$	$Q_3=2831.33\text{m}^3/\text{d}$
Y-5 揚水井	$r_4=360\text{m}$	$Q_4=4040.93\text{m}^3/\text{d}$

以上の条件を与えてやると未知の項は透水係数Kと圧力伝播係数aの2項となり、2ケースの時間-水位降下条件を与えることでKとaは連立2元方程式で求まることになる。計算に用いた時間-水位降下データを以下に示す。

ケース1) 揚水時間t=6days	揚水前帯水層厚h=71.75m	揚水後帯水層厚h=71.21m
ケース2) 揚水時間t=11.71days	揚水前帯水層厚h=71.75m	揚水後帯水層厚h=71.14m

以上の様にして求められた透水係数Kと圧力伝播係数aは以下の通りである。この値はS-12水位観測井付近の帯水層の水理定数と考えられる。

$$K=149.32\text{m}/\text{日}=1.7 \times 10^{-1}\text{cm}/\text{秒}$$

$$a=2.95\text{E}6\text{m}^2/\text{日}$$

ここで求められた透水係数Kは挟在粘土薄層を除いた帯水部の値であるので、帯水部全層の平均透水係数に換算すると以下のようなになる。また、その場合の透水量係数Tも合わせて示す。

$$K=115.20\text{m/日}=1.3\times 10^{-1}\text{cm/秒}$$

$$T=10668\text{m}^3/\text{日}$$

以上に示した簡易解析法による群井揚水試験解析結果は、4.2章で述べたY-2井およびY-5井での揚水試験結果とよく一致している。

4. 5 考察

4. 5. 1 適正揚水量の検討

(1) 適正揚水量の考え方

適正揚水量はその井戸の限界揚水量および経済限界揚水量以内の揚水量であり、揚水の際砂等の混入が無く、しかも他に影響を及ぼさない揚水量でなければならない。

経済揚水量とは、図-4.3.1に示したような段階揚水試験による水位を縦軸に揚水量を横軸にとった直角座標における揚水量と揚水水位との関係が、直線または直線に近い曲線で一様に变化する揚水量である。

揚水量が多くなり、ある揚水量を超過すると水位の降下率はその点以前の水位降下率よりも大きくなる。この変換点は地下水の流れが層流から乱流に変わる変換点であり、揚水量に対する一つの目安の点であることには間違い無いが、それが適正揚水量の限界を示すものとはならない。この変換点は経済揚水量の限界点であり、この時の揚水量を経済限界揚水量と呼ぶのが妥当である。

揚水量の増減に対する揚水水位の増減が一様に变化している内は、それに要する動力の増減率も一様である。経済揚水量を超過して揚水を行うと、揚水量に対する水位の降下率が多くなるから、動力の増加率も多くなり単位揚水量に対する動力率が多くなる。

増加揚水量を Δq 、それに対する水位降下を Δh 、動力を ps とすると、経済揚水中の任意の点での $\Delta h/\Delta q$ および ps はほぼ一定の値を示すが、変換点を過ぎると $\Delta h'/\Delta q$ となり

$\Delta h/\Delta q < \Delta h'/\Delta q$ 、すなわち $ps < ps'$ となる。

(2) 適正揚水量の検討

今回のY-1からY-5揚水井の段階揚水試験結果は図-4.3.1に示したとおりで、この図からは変換点は見いだせないが本地区における帯水層の地質の性状、使用ポンプの吐出能力および揚程性能、自然水位、動水位等総合的な観点から考察すると、1孔当たりの平均経済(安定、適正)揚水量は3000 $\text{t}/\text{日}$ 前後と見るのが適当と考えられる。

(3) 影響半径の検討

揚水井の水位降下影響半径は簡易揚水試験で約20lit/秒の揚水量においておよそ1000mから1500mという結果が得られている。観測井を設けた揚水試験では、井戸の影響半径を求めるため図-4.2.13に示した距離-水位降下曲線で推定する方法が一般に採用される。この場合一定揚水量で各観測井の水位がほぼ一定になるまで試験が行われなければならないが、図-4.2.13に示した試験では（Y-5井揚水試験）水位観測井の水位が一定になるまで試験は行われていない。この図から判明することは、揚水量47lit/秒で揚水時間120分における影響限界 r_0 が1000m程度であり、定常状態に達した場合の影響限界 r_0 はこれよりもかなり大きな値となるであろうということである。

井戸間の距離は理論的な水位降下影響半径とする必要はなく、どれだけの水位降下が許容されるかによる。今回実施された群井揚水試験によると、4本の揚水井のほぼ中心に位置するS-12水位観測井の、揚水開始後12日あとの水位降下量は約60cmであった。群井揚水試験での揚水井1本あたりの揚水量が約3000 m^3 /日から4000 m^3 /日と大量であることを考えると、この水位降下量は決して大きなものではなく、700m程度の揚水井間距離は妥当であると考えられ、状況により井戸間をこれよりも短くすることも可能と思われる。

4. 5. 2 帯水層の水理定数

調査対象地域の帯水層は基本的に第四紀の砂礫主体層（主力帯水層）と粘土/砂礫互層（帯水層）である。今回実施された一連の揚水試験では両層を貫いた井戸で試験が行われているため、求められた水理定数は両帯水層の平均値である。

揚水中に孔内流速測定を行うことになり、ある程度正確に各層の水理定数を推定できたと思われるが、井戸の構造上測定機を設置することが出来なかったため、孔内流速測定は実施されていない。このため、ここでは求められた平均水理定数から、いくつかの手法を用いて各帯水層の水理定数をおおまかに推定する。

(1) 透水係数

砂礫主体層（主力帯水層）と粘土/砂礫互層（帯水層）の透水係数を推定する方法として、2本の揚水試験井の地質構成と求められた透水量係数から各層の透水係数を推定する方法、透水量係数と比湧水量の関係から推定する方法、帯水層がほぼ同じ地層からなると考えられる井戸の揚水試験結果から推定する方法の3種類が考えられる。

① 2つの揚水試験結果から推定する方法

透水量係数は透水係数と帯水層厚の積の和であるから、砂礫主体層の透水係数を K_1 、粘土/砂礫互層の透水係数を K_2 とし、その層厚を H_1 および H_2 とすると透水量係数 T は次のように表される。

$$T = K_1 H_1 + K_2 H_2$$

上式を解くには、2ケースの揚水試験結果があれば、これらを組み合わせた簡単な連立方程式を解くことにより、きわめておおまかではあるが砂礫主体層と粘土/砂礫互層の透水係数を推定することができる。

試験結果の組合せとしては、同じ様な透水量係数が得られたケース、つまり帯水層の透水係数がほぼ同じと考えられるケースを組合せるものとする。

この考えに基づき、次に示す2組の組合せについて透水係数の推定を行った。

組合せ a Y-5 井揚水試験結果、S-10 水位観測井
 群井揚水試験結果、S-12 水位観測井

組合せ b Y - 3 井揚水試験結果、S - 1 2 水位観測井

Y - 4 井揚水試験結果、S - 1 2 水位観測井

なお Y - 2 井揚水試験結果は、Y - 2 揚水井の帯水層のほとんどが粘土/砂礫互層よりなる特殊な地質構成であるため、組合せの対象から除外した。

i. 組合せ a

揚水試験結果として Y - 5 揚水井と S - 1 0 水位観測井で行われた試験と、S - 1 2 観測井付近の帯水層の水理定数を示していると考えられる郡井揚水試験の結果を用いる。

Y - 5 揚水井と S - 1 0 水位観測井の各層の平均層厚と、揚水試験より求められた透水量係数は次のとおりである。

$$H_1 = 13\text{m}, \quad H_2 = 59\text{m}, \quad T=12000\text{m}^2/\text{日}$$

群井揚水試験で得られた水理定数は4本の揚水井の水理定数の平均と考えられ、4本の揚水井の中央に位置する S - 1 2 水位観測井の地質柱状が4本の揚水井の平均的地質を代表しているものと考えられる。このため、各層の層厚として S - 1 2 観測井の H_1 、 H_2 を与えるものとする。S - 1 2 水位観測井の各層の層厚と、群井揚水試験の簡易解析により求められた透水量係数は次のとおりである。

$$H_1 = 29\text{m}, \quad H_2 = 64\text{m}, \quad T=11000\text{m}^2/\text{日}$$

以上の条件から導かれる解を以下に示す。

$$\text{砂礫主体層の透水系数 } K_1 = 360\text{m}/\text{日} = 4.2 \times 10^{-1} \text{cm}/\text{秒}$$

$$\text{粘土/砂礫互層の透水系数 } K_2 = 124\text{m}/\text{日} = 1.4 \times 10^{-1} \text{cm}/\text{秒}$$

i i. 組合せ b

地質条件（各層の層厚）は Y - 3 揚水井と Y - 4 揚水井の H_1 、 H_2 と水位観測井である S - 1 2 観測井の H_1 、 H_2 の平均とする。この場合 H_1 については、地下水面下より粘土層上面まではほぼ全面にわたりスクリーンが設けられているため、地質柱状図に示される砂礫主体層層厚をもってして H_1 とすることに問題はないが、 H_2 については Y - 3 揚水井および Y - 4 揚水井ともに他の揚水井と異なり、粘土/砂礫互層中のスクリーンは部分的にしか設置されていない。このため揚水井の H_2 については多少検討

を加える必要がある。

以上のことをふまえ、Y-3揚水井の H_2 としては上部の粘土層を除く155.0-184.2mの間の粘土混じり砂礫層層厚、29.2mとする（資料集Aボーリング柱状図参照）。

Y-4揚水井の H_2 としては、上部の粘土層を除く129.0-183.5mの間の粘土/砂礫互層層厚、54.5mとする（資料集Aボーリング柱状図参照）。

Y-3揚水井とS-12水位観測井の平均 H_1 および H_2 と、揚水試験で求められた透水量係数は次の通りである。

$$H_1 = 32\text{m}, \quad H_2 = 49\text{m}, \quad T = 3900\text{m}^2/\text{日}$$

Y-4揚水井とS-12水位観測井の平均 H_1 および H_2 と、揚水試験で求められた透水量係数は次の通りである。

$$H_1 = 26\text{m}, \quad H_2 = 62\text{m}, \quad T = 5200\text{m}^2/\text{日}$$

以上の条件から導かれる解を以下に示す。

$$\text{砂礫主体層の透水系数 } K_1 = 104\text{m}/\text{日} = 1.2 \times 10^{-1}\text{cm}/\text{秒}$$

$$\text{粘土/砂礫互層の透水系数 } K_2 = 14\text{m}/\text{日} = 1.6 \times 10^{-2}\text{cm}/\text{秒}$$

②透水量係数と比湧出量の関係から推定する方法

Y-1揚水井の帯水層は地質柱状図に示されるように砂礫主体層（主力帯水層）のみから構成されている。Y-1揚水井の透水量係数が推定されれば、これを既知の帯水層厚で除すことにより砂礫主体層（主力帯水層）の透水系数を推定することが可能となる。Y-1揚水井では単井による段階揚水試験が実施され比湧出量が求められている。

段階揚水試験の章で述べたように、透水量係数と比湧出量の関係は揚水井さく井地域の北側と南側とでは異なった傾向を示す。つまり、北側に位置するY-2揚水井およびY-5揚水井での透水量係数は比湧出量のおよそ3倍から6倍程度と推定され、南側に位置するY-3揚水井およびY-4揚水井での透水量係数は比湧出量のおよそ1倍から3倍程度と推定される。Y-1揚水井は揚水井さく井地域の北側に位置することから、その透水量係数は比湧出量の約3倍から6倍程度と推定される。

Y-1井の比湧出量が約 $1600\text{m}^3/\text{日}/\text{m}$ であり、主力帯水層の層厚が約35mであるこ

とから砂礫主体層の透水係数 K_1 は次のように推定される。

$$\begin{aligned} \text{砂礫主体層の透水係数 } K_1 &= 1600\text{m}^3/\text{日}/\text{m} \times 3 \text{ to } 6 / 35\text{m} \\ &= 137\text{m}/\text{日} \text{ to } 274\text{m}/\text{日} \\ &= 1.6 \times 10^{-1} \text{cm}/\text{秒} \text{ to } 3.2 \times 10^{-1} \text{cm}/\text{秒} \end{aligned}$$

③ 帯水層が単一層からなる井戸の揚水試験結果から推定する方法

Y-2 井揚水試験の項で述べたように、Y-2 揚水井とW-9 水位観測井付近の帯水層は、孔内検層結果から大半が粘土/砂礫互層から構成されている可能性が高い。このため、Y-3 井を揚水井としW-9 観測井を水位観測井とした揚水試験の結果はおおむね粘土/砂礫互層（帯水層）の水理定数に近い値ではないかと考えられる。その透水係数は表-4.2.1に示したが、以下に再びその値を示す。

$$\begin{aligned} \text{Y-2 井揚水試験より推定される粘土/砂礫互層の透水係数 } K_2 &= 10\text{m}/\text{日} \\ &= 1.1 \times 10^{-2} \text{cm}/\text{秒} \end{aligned}$$

④ 透水係数の検討

推定された砂礫主体層（主力帯水層）と粘土/砂礫互層の透水係数を次の表にまとめる。

表-4.5.1 帯水層の推定透水係数

推定方法	推定透水係数 (m/日)	
	砂礫主体層 (主力帯水層)	粘土/砂礫互層 (帯水層)
Y-5 井揚水試験 群井揚水試験組合せ	360 (4.2×10 ⁻¹ cm/秒)	124 (1.4×10 ⁻¹ cm/秒)
Y-3 井揚水試験 Y-4 井揚水試験組合せ	104 (1.2×10 ⁻¹ cm/秒)	14 (1.6×10 ⁻² cm/秒)
Y-1 揚水井比湧出量	137 - 274 (1.6×10 ⁻¹ -3.2×10 ⁻¹ cm/秒)	----
Y-2 井揚水試験結果	----	10 (1.1×10 ⁻² cm/秒)

表-4.5.1に示されるように今回の一連の揚水試験結果から、砂礫主体層（主力帯水層）の透水係数として約100m/日（約1.2×10⁻¹cm/秒）から約400m/日（約4.6×10⁻¹cm/秒）、粘土/砂礫互層（帯水層）の透水係数として約10m/日（約1.1×10⁻²cm/秒）から120m/日（約1.4×10⁻¹cm/秒）の値が想定される。

以上示した各層の透水係数は、おおまかな推定に基づくものであり、また今回揚水試験を実施した揚水井間の距離が700m程度と短いものにも拘らず、試験結果に大きなばらつきが認められることから（特に粘土/砂礫互層(帯水層)に大きなばらつきがある）、調査対象地域全体を考えた場合、これ以上のばらつきが予想される。

(2) 貯留係数

貯留係数は当初予想していたものよりはるかに小さな値が得られた。当初調査対象地域の帯水層は砂礫層を主体とする不圧地下水を考え、一般的な粗い砂礫層の有効間隙率(10-30%)を貯留係数として考えていた。しかし、今回の一連の揚水試験結果からはその平均貯留係数としておおむね 1×10^{-3} から 2×10^{-2} の値が得られている(表-4.2.1参照)。

不圧帯水層を考えた場合、本地域に分布するような高透水性帯水層(透水係数が10m/日から400m/日)が、このような小さな貯留係数を示すことは不合理である。一方被圧帯水層の貯留係数は不圧帯水層のそれとは基本的に異なり、帯水層の圧縮により貯留から解放される率と定義され、これは比貯留量と呼ばれ、不圧帯水層の貯留係数よりもはるかに小さな値をしめす。不圧帯水層の貯留係数が 5×10^{-1} から 1×10^{-2} であるのに対し、被圧帯水層の比貯留量は 1×10^{-2} から 1×10^{-5} の値を示す。

今回の一連の揚水試験から得られた 1×10^{-3} から 2×10^{-2} の貯留係数は、ほぼ不圧帯水層と被圧帯水層の中間の値であるといえ、帯水層のなかに被圧性の帯水層を含む不圧、被圧混合型の帯水層の存在が予想される。

上位の砂礫主体層(主力帯水層)中には加圧層(粘土層)が存在しないことから、少なくとも本層中には被圧帯水層は存在しないと判断され、その貯留係数はやはり砂礫層の一般的な有効間隙率にほぼ等しいものと判断される。

下位の粘土/砂礫互層部(帯水層)には、その名が示すように幾枚もの粘土層が挟在されていて被圧帯水層を含んでいる可能性は大きい。しかし、現在までの調査では明かな被圧帯水層は見つかっておらず、地下水水頭は上位の砂礫主体層中の地下水水頭とほとんど変わらない。このため、極端に被圧された帯水層は存在しないものと考えられる。

以上の事から、おおまかではあるが、砂礫主体層の貯留係数としては従来どうり 1×10^{-1} から 3×10^{-1} 程度の値が想定され、粘土/砂礫互層の比貯留量としては 1×10^{-2} から 1×10^{-4} の値が予想される。なお、被圧帯水層の貯留係数は比貯留量×被圧帯水層層厚で与えられる。

