

小樽市銭函地域工業用地下水調査報告

Underground-Water for Industrial Use Reserch in Zenibako, Otaru, Hokkaidō.

岡田 広*・早川福利*・小原常弘

Hiroshi Okada・Fukutoshi Hayakawa・Tsunehiro Ohara.

Abstract

Determined the geological structure by electrical resistivity method, seismic method, and the resistivity distribution of the driven well water in this area. Applying hydro-geoloical obsevation, we have realized the existence of the suitable water-bearing horizone, and as a result of our survey, we have made the investigation of the permeability of this water-bearing horizone and the depth of the test boring in this area.

目次

まえがき	3 地震探査
1 水理地質概況	4 帯水層
2 電気探査	あとがき

まえがき

銭函市街地東方一帯の工業用地下水の調査を行なつたので、その結果について報告する。

この地域では、現在常時数 1,000 m³/日以上の用水をまかなうにたる地表水系は無く、また自由面地下水を貯える沖積堆積物の粒度や地下水水質などにも若干の問題あるので、将来、主たる工業用水を地下水に仰ぐとすれば深層地下水が対象となるに至るであろう。

ところがこの地域では、深井戸の開鑿は全く行なわれていないので、深層地下水の存在はもとより、第四紀層の地質をうかがいする資料は皆無の状態である。そこで今回の調査では、まず地質を解明することを最重点にとりあげることとし、比較的浅部の地質を電気探査法で、比較的深部の地質を地震探査法で調査することとした。前者は小原常弘および早川福利が担当し、後者は岡田広が担当した。

地震探査にともなう爆薬の使用については、小樽市水道部新井勇夫氏の手をわずらわした。ここに記して謝意をあらわす。

1 水理地質概況¹⁾

調査地域の選定には、小樽市当局の要請と探査対象の規模とを考慮して、銭函町市街の東隅以東、手稲町星置、山口方面にまで広げた。この範囲は海拔 5~20 m で殆ど平坦な沖積地であるが、地域の西北方には比高数 m の砂丘が海岸線に並行して幾列もならび、天然の潮受堤防をなしている。また地域の南側は手稲連峰の山脚で限られ、山麓には段丘が形成されている。

地域内には深井戸が皆無のため、一帯の地下構造や堆積物の分布状態を予知することは困難であるが、手稲町方面での 2, 3 の深井戸の記録と常識的な地形発達史に基いて推論すると次のごとくである。

* 北海道大学理学部地球物理学教室

南面の山地を構成している集塊岩・安山岩など第四紀よりも以前の岩類は、地下水の循環を許さない基盤岩である。そしてこれは沖積低平地の地下にも伏在している。その上限深度は少なくとも地下70m以下と予想される。

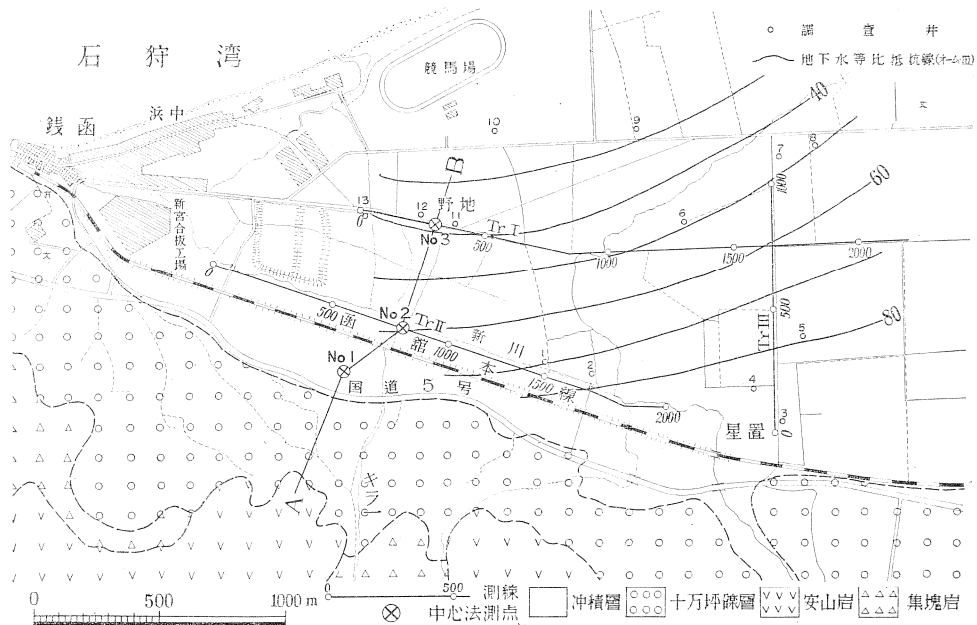
第三紀基盤岩に直接乗ってくる地層は、札幌以東方面でいう野幌層、石狩油田方面でいう獅子内層に対応するものと予想される。本層が銭函方面にも分布しているとすれば、これに帯水層が夾有されている可能性がある。

山麓一帯の崖に露出ししている段丘層は十万坪礫層と称され、手稲国東部方面では、これが有力な地下水を提供しているが、本層は場所によつて崖錐もしくは扇状地性の堆積相を呈しているところから考えると、地域一帯に広く分布しているかどうか疑問である。層序では、本層はさきの野幌相当層の上に重なる。

沖積層は、現在の海岸にみられる砂丘の覆瓦層もしくは砂丘の破壊物と沖積氾濫原の泥質堆積物との互層、あるいは砂泥混交層が主体をなしている。しかし山麓寄りでは、十万坪礫層の破壊堆積物や旧星置川の河床砂礫層が介在しよう。また海面の昇降に伴われる汀線の移動によつて、海浜砂礫層の介在も考えられる。これらの砂礫層は良好な帯水層となろう。沖積層の全体の厚さは20~40m程度と考えられる。

調査地域は低平地であり、地表水面と地下水面との高低差は僅少である。そして地質と地下水系とは西部石狩平野の一員であり、浅層・深層を通じ、地下水涵養地域の面積は広大である。したがつて利用可能な地下水の存否は、礫層ないし砂層など透水性の地層の分布状態にかかってくる。

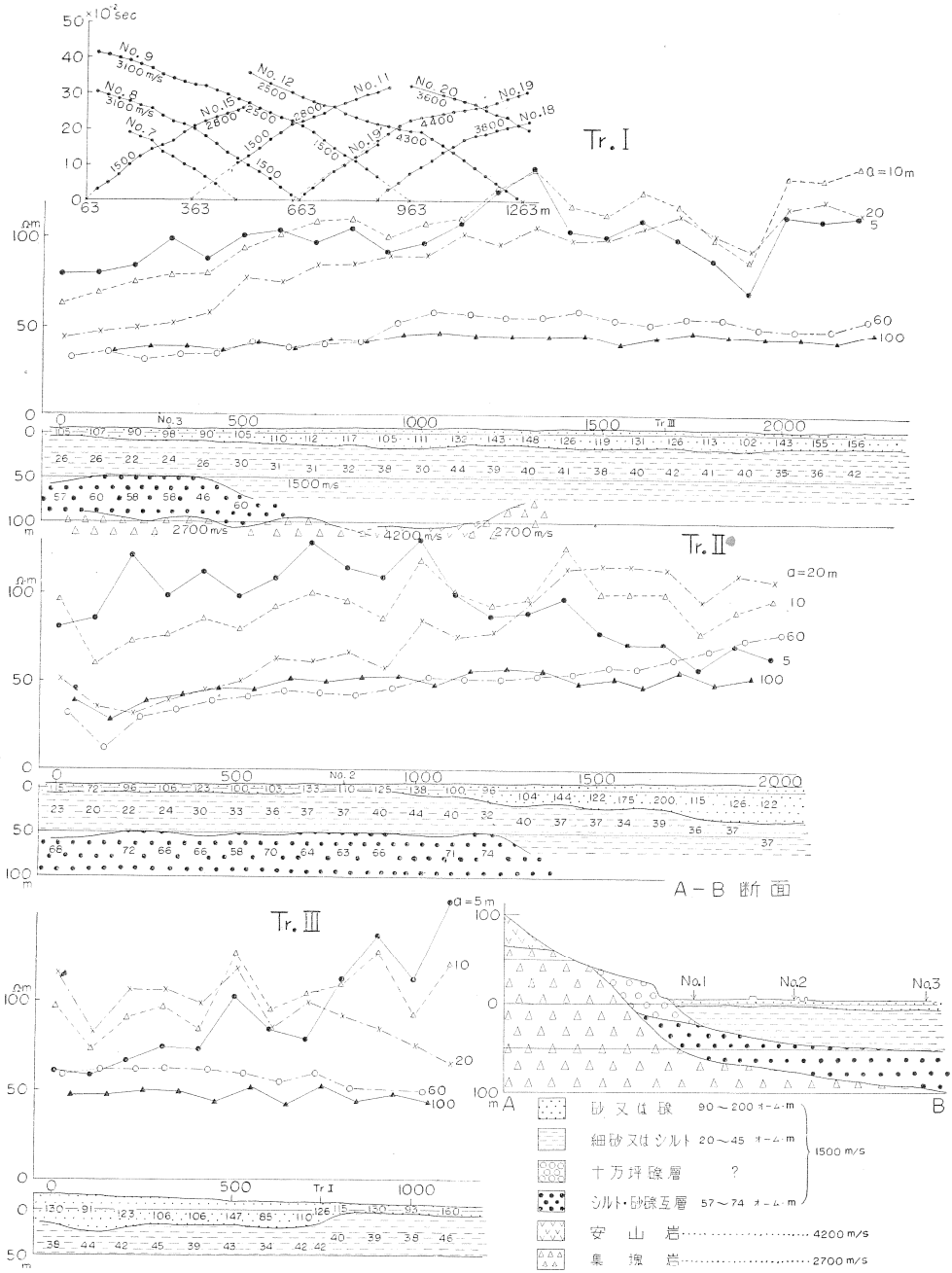
浅層地下水の水質については、学芸大学香山教授がさきに調査されているので今回はこれを省略したが、後述の電気探査結果の解析に資するため、民家の浅井戸について地下水比抵抗分布を調査した。れを一覧表に掲げると共に、井戸の位置および比抵抗分布を第1図に示す。図によれば、地域内の浅層地下水の水質は星置川の伏流で大きく影響されているようである。換言すると、星置川の伏流浸透はかなり旺盛であること、したがつて、この河川の氾濫原積堆物は比較的高い透水性をもっていることが推理される。しかし星置川の開放部には扇状地が形成されているので、地下水の動水勾配が大きくなっているということも一理由にあげられる。



第1図 小樽工業用地下水

深層地下水の水質については全く不明であるが、手稲町北部および茨戸方面の掘抜井戸の例では、良質の地下水は得られていない。鉄分の多いのが一般的特徴である。

地域西北辺の砂丘地に降つた雨水の大半は地下に滲透して、地下における淡水とかん水との界面位置の平衡を



第2図 地下構造断面図

浅層地下水の比抵抗値

No.	所 有 者	深度 (m)	水温 (°C)	比抵抗 (オーム・m)	摘 要	No.	所 有 者	深度 (m)	水温 (°C)	比抵抗 (オーム・m)	摘 要
1	向 平	2.4	10.0	69		8	佐 藤	—	8.5	50	
2	佐 藤	4.5	10.0	79		9	須 藤	—	10.0	29	有機臭あり メタンガス を含む
3	水 谷	—	12.0	52	金気多し	10	野 辺 地	15.0	11.0	59	
4	大 能	—	12.5	82	金気多し	11	黒 木	—	10.3	35	
5	藤 山	—	10.7	79		12	秦	—	10.0	35	
6	国 本	—	9.5	47		13	中 田	—	10.0	44	
7	都 城	4.5	11.0	27	金気あり	14	星置川流水	—	11.0	146	

司どつている。すなわち砂丘の浅層地下水は、ヘルツベルグの法則にしたがつて、海水侵入に対する止水壁の役目を果たしている。そのため砂丘内陸側の浅層地下水は殆ど停滞状態にあり、その水質は概して不良である。しかし内港もしくは運河などを開鑿して砂丘の地下水面を低下させると、地域全体の地下水水質の保全に好ましくない影響を来たすおそれがある。

2 電気探査

工業用地下水の存否を知るために、微細な地下構造を追求するということは大して意味はないし、また水理地質学的には、水平方向の地質構造の異常は顕著でないと予想されるので、探査測線は第1図に示す測線3本に止めた。

測定には直流式水平探査と垂直探査とを併用し、水平探査では、測点間隔は100m、電極配置は4電極系、電極間隔は2m、5m、10m、20m、40m、60m、80m、100mの8種とした。また垂直探査では、常法によつて電極間隔120~200mまで測定した。測点数は3点である。

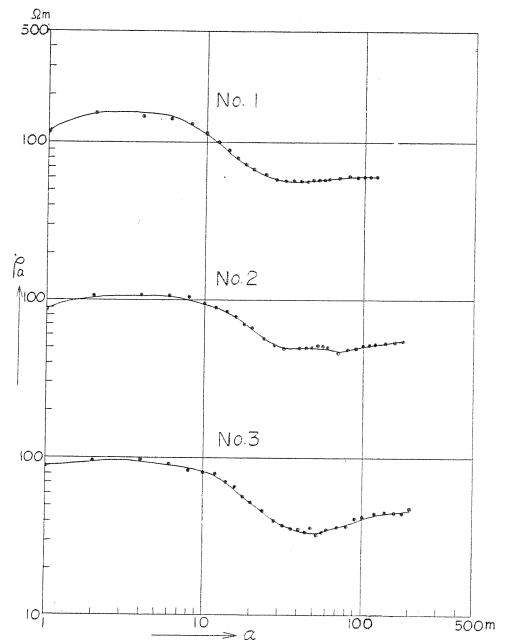
これらの測定データを第2図および第3図に掲げ、解析結果を第2図に断面で示す。第2図でTr. Iの左半には、地震探査データとその解析結果とを重畳して示している。

電気探査によれば、この地域で地下100mまでの垂直方向の比抵抗分布は2乃至3層に分けられる。

第1層は90~200オーム・mの層で、地域の東南部の星置方面では最大40mの厚さを有し、西部から北部方面では10数mの厚さに減じている。

第2層は20~45オーム・mの層で、その下限は、Tr. Iの0~500m間およびTr. IIの0~1,200mの間では地表下50~60mにあるが、両側線とも上記以東では不明となる。

第3層は57~74オーム・mの層で、Tr. Iの500m以西と、Tr. IIの1,200m以西に限つてみられる。したがつて第3層は、野地と星置部落を結ぶ線の西側に分布していると考えられる。電気探査では、本層の下限は検出されていない。



第3図 比抵抗垂直探査曲線

3 地震探査

今回弾性波によつて調査した地域は、電気探査測線Tr. Iの測点63を基点とし、それより東方1,200m迄で

ある。この探査には E. T. L 製 PRA 2-12 型地震探鉱器を使用し、上下動のみを観測した。

まず最初に観測条件及びそれらについて気づいた点を項目別に述べてみる。

1) 器械使用時の Gain その他

Gain —4 または 3

Filter—1

Out Put—60~90 %

観測に使用した受震器はやはり E. T. L 製 7.5 c/s pick up で、これを 30 m 間隔に配列した。1 回の測線が少なくとも 480 m 以上に及ぶわけであるから、受震器の設置場所の条件もすべて一様ではない。noise の状態によつて Gain を 4 にしたり 3 にしたりした。しかし後に述べる発破孔の状態から考えて、Gain-4 の状態で記録がとれることを望んでいた。

Filter-1 はほぼ 10 c/s 辺に peak をもつ特性である。今回のように風が強く high frequency の自然的 noise が大きい場合には、filter はこの状態で使用するのが適當である。

2) 発破孔

口径 約 5 cm

深さ 1~3 m

孔の個数 1~4 個

測線が長くなつてくると、発破孔の条件が、良い記録を得るのに大きな意義をもつてくる。dynamite の爆発による energy が、弾性波の energy に有効に変つてくれるように工夫せねばならない。爆発 energy が無駄な破壊の energy や音の energy に変るのを防ぐためには、発破孔をもうける場所の地質状態を加味し、適當な深さ迄孔を掘ることである。しかし今回は、地下水面が極めて浅く、水で飽和されたくずれやすい砂の層が厚くて、この条件を満足させる発破孔を掘ることはできなかつた。少なくとも 4 m 以上の深さをもつ発破孔がなければならぬと考えていたが、測点 960 付近で 3 m 位掘り得た外は、すべて 2 m 以下であつた。そこでこの記録を得るのに不利な条件を打開するために、2~4 個の孔を約 2 m 間隔で直線状、三角形状或は四角形状にもうけ、いわゆる多孔爆破の方法をとつた。

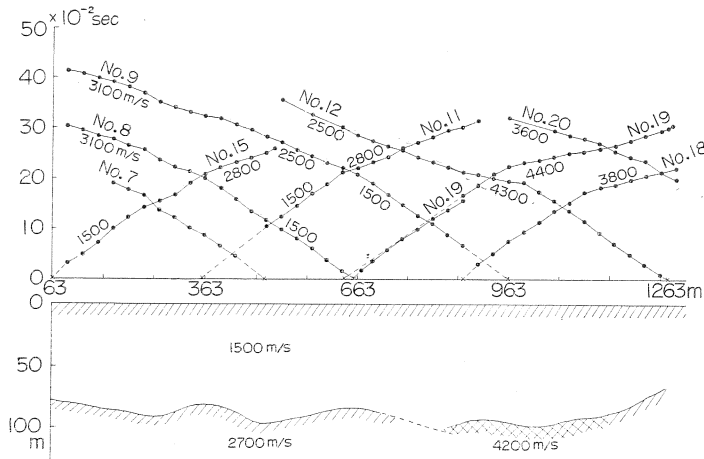
3) 薬量

dynamite 225 g~1 kg (1 本 112.5 g 単位)

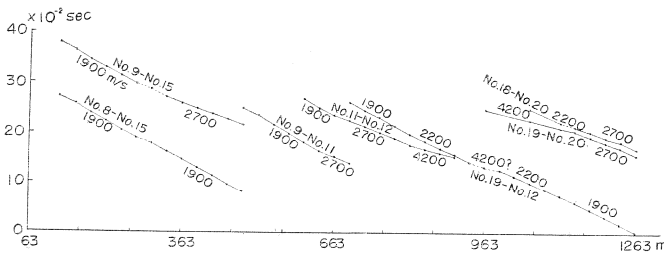
薬量は発破孔の状態によつて適當に加減するという方法をとつた。測線距離によつてまず必要と思われる薬量を予想し、深さ 1 m 程度の孔には 2 本、2 m 程度の孔には 3~4 本の dynamite を埋め、とにかく上方に土が吹き上がつたり、音が出たりするのを極力防ぐことに注意した。今回はこの孔の深さと薬量の見積りはだいたい適切であつたと思う。しかし薬量が多くなればなるほど発破孔を増せばよいという性質のものでないことは、No. 9, No. 12, No. 20 (第 4 図) の震央距離の大きいところが良い記録でなかつたことから実証される。薬量の効き方を効果的にするという一方法、即ち dynamite 装填後ベントナイトで孔の空隙を埋めること、これも今回採用してみた。発破孔の破壊を抑えるには、この方法も割合有効であつた。しかし以上のべたような発破孔の条件では、装填し得る薬量にも限度があるわけで、この状態で更に良い記録、すなわち、より Sharp な初動の切れをうるには、あと増幅器の gain を上げるより方法がない。しかし強風が連日続いたので、gain を上げるわけにもゆかなかつた。今回の調査で最も困難を感じたのはこの点、すなわち発破孔を深くしえなかつたことと、強風のために noise が大きかつたことである。

次に、解析についてのべることにする。

全測線にわたつてえられた初動走時 plot を第 4 図に示す。この図をみると、いずれの測線においても速度 1,500 m/s の走時が最初に現われていることがわかる。したがつて、これを第 1 層の速度と考えても差支えない。次にこの速度 1,500 m/s に続く走時は、各測線においてまちまちであり、これらから直ちに第 2 層の速度を求めることは困難である。(参考までに第 4 図に各走時の示す速度を記入しておいた。)このような場合、第 2 層の速度を求めるには、はぎとりの方法があるが、今回のようにどの測線を組み合わせても、同一屈折面同志の屈折波の重なる部分が短い場合は、この方法によつては正確な速度は定め難いと考えられる。そこで今回は、この方法の拡張を適用し



第4図 地震探査解析図



第5図

てみることにした。その結果が第5図である。(はぎとり直線又はT'直線と呼ぶ。)ここで注意すべき点は、組合せる測線がいずれも短かくて完全でない。したがってTABを正確に定めることができないのであるが、今回のように速度だけを求めるには、この値は直接関係してこないので、組合せるべき測線の走時をそれぞれ適当に延長し、TABの値を仮定することにした。第5図中の番号は、T'直線を求める際組合せに使用した測線を表わす。また各T'直線より求められた速度もそれぞれ対応する走時のところに記入しておいた。このT'直線からえられる速度は、

- VA=1,900 m/s
- VB=2,200 m/s
- VC=2,700 m/s
- VD=4,200 m/s

の4種類である。ところで、第4図においてVC=2,700 m/s及びVD=4,200 m/sを与える部分は第2図と

対照してみると、あきらかに同一屈折面をもつ屈折波同志の組合せからでたものと考えられる。しかしまだ、VC、VDのいずれが第2層の速度であるか判定しにくい、第2図における record number 12, 19をみると、屈折波の走時が示す速度は4,300 m/s以上で、かなり大きい値を示していることがわかる。ところがこの速度の大なる走時が現われているのは、測点900付近だけであつて、他の地域ではいずれの測線も屈折波の走時が示す速度は2,500 m/sから高々3,100 m/sである。しかし第5図を参照するならば、測点900付近を除いては、第2層の速度がVC=2,700 m/sとして差支えないようである。次にVA=1,900 m/sであるが、これはあきらかに第1層の速度V1=1,500 m/sなる直接波と屈折波V2との組合せから出た見かけの速度2V1,2である。これらV1、V2およびV1,2との間には次の関係

$$1/V_{1,2} = 1/V_1 + 1/V_2$$

があるので、いまV1=1,500 m/s、2V1,2=1,900 m/sとしてV2を求めてみると、V2=2,700 m/sとなる。したがつて第2層の速度としてV2=2,700 m/sを採用してよいことがわかる。

全く同じような理由で、測点900付近を調べてみると、この辺における第2層の速度はV2'=4,200 m/sである。

以上のことから、第2層は2,700 m/sと4,200 m/sとの2種類の物質が存在し、後者は測点800付近及び測点1,100付近で前者と境されていると考えられる。このことは第5図におけるNo.11—No.12のT'直線と、No.19—No.20のT'直線とのくい違いからいえることである。

次に第2層屈折面迄の深さを正確に求めなければならない。もしTABの値が正確に判つているならば、はぎとりの方法で簡単にこの深さは計算し得るわけであるが、今回の様にTABの値を仮定せねばならぬ場合には、この方法の適用は無理である。しかし仮定したTABを用いて求められる屈折面の形状即ち起伏に関しては、実際に知られたTABの値を用いて求められるそれとは同一のはずである。

このことからT'直線を求めた範囲内で、屈折面の概略を描いてみることにした。この屈折面の模様があれば、

各層の速度が与えられていることから、弾性波の path 計算を行ないながら、実際にえられた data に合致するように、屈折面を上げ下げしていけばよいわけである。このような操作によつてえられた結果が第4図下の断面である。

この地下構造を求めるにあつて、第2層の2,700 m/sの層と4,200 m/sの層との境界の形状が定められなかつたところから、この境界付近で構造の不明確な部分がでてきた。第4図中破線で記した部分がそれである。このような境界面の形状並びにこの付近の地下構造を正確に求めるには更にくわしい調査が必要である。

なおこの解析にあつて最も難解であつた点は、No.7, No.8, No.9, No.15のいずれの走時にも矛盾しない地下構造を求めることであつた。現在なおNo.7の走時については未解決のままである。測点63から200付近まで電探で得られている50~60 mぐらいの深さに境界を仮定してみても説明がつかないし、そのような仮定はNo.15又はNo.8の走時から考えて不合理である。

しかし第5図のNo.8—No.15及びNo.9—No.15のT'直線を見ると、いま疑問をいだいている測点付近に、くい違いのあることがわかる。この原因の一つとして第2層に断層をもうけるのも一案であるが、今回の調査ではそれと断定するに至らなかつた。

4 帯水層

これまでのべたように、地震探査によつて検出された第2層は地表下90~110 m以深に伏在し、速度分布から基盤岩であることはほぼ確実とみられるように至つた。そしてこの上の第1層は比較的軟弱な含水層であることもわかつた。ところが地震探査による第1層は、電気探査では2~3層にわけられる。そこで電気探査と地震探査の結果を総合して、地域西部における南北方向の地下構造を判断すると、第2図中で右下部のA—B断面のようになる。この図で基盤の集塊岩および安山岩をおおう地層は第四紀層で、地震探査でわけた第2層に相当している。帯水層の存在はこの第四紀層中に期待されるということになる。

次に、電気探査で分けた第1層から第3層までの水理地質を解析しよう。

第1層の地層比抵抗は、Tr. Iの西部では90~105 オーム・m、Tr. Iの東部では120~150 オーム・m、Tr. IIの東部では100~200 オーム・mである。また第1層中の地下水比抵抗は、Tr. Iの西部では35~40 オーム・m、東部では55~70 オーム・m、Tr. IIの東部では60~80 オーム・mである。そこでこの地層比抵抗値と地下水比抵抗値とから、両者の比、すなわち地層係数を算出すると、それぞれ対応位置において、2.6, 2.2 および1.7~2.5となる。このような地層係数をもつ第1層は中粒ないし細粒の砂を主体とする地層であり、その透水係数は 10^{-2} cm/secの位にあると判定される。帯水層として優れているとはいえないが、ビット型式の井戸によれば、1,000 m³/day程度の地下水をうることは可能と判断される。層厚と地下水涵養の面とを考慮すると、本層は地域の西部よりも東南部方面において卓越している。

第2層は全般に低比抵抗層であり、しかも地域内には、本層中の帯水層から採水していることが確実にわかつている井戸は存在しない。第2層中の地下水比抵抗は第1層中のそれとほぼ同等か、もしくはそれ以下と予想されるが、いちおう同等と仮定すると、第2層の見掛の地層係数は全般に1以下となる。このように小さい地層係数をもつ地層は、微細な砂もしくはシルト層が主体であつて、これに優れた帯水層が介在してくる可能性はきわめて乏しい。

第3層は、地質層序では十万坪礫層の下に位する洪積層と考えられる。この層が果たして野幌層相当層かどうかはわからないが、比抵抗値のうへでは、帯水層を夾有する可能性は大きい。本層中に含まれる地下水の比抵抗値を手稲町方面での水温13~14°C、30~45 オーム・mにならうと、第3層の見掛の地層係数は、最小1.3で最大2.5をうる。もちろん本層は上下に一樣な地層ではなく、砂礫と粘土の互層であるということは、石狩平野下の第四紀層の単層の厚さの産出頻度が約3 mで最大を示すことから推理される。したがつて本層中には、地層係数が1以下の泥質層もあり、地層係数が3以上の砂礫層もあつて、これらが合成されて見掛の地層係数は1.3~2.5を与えているとみなされる。見掛の地層係数 F_a 、第3層の厚さを T 、第3層中の単層の厚さを $t_1 \cdots t_n$ 、単層の地層係数を $F_1 \cdots F_n$ とすると、

$$F_a = \sum_i F_i / T$$

であるから、すぐれた帯水層としての条件、 $F > 3$ の単層が何枚あつて、どれほどの厚さをもっているかは、現

在のところ判定できない。

さきへのべたように、第3層は地域内西半部で地下50~100mの間に分布している。したがって本層は、上位はもとより、東部方面とも不連続的に境されているか、もしくは急激に劣悪化していると推定され、この方面からの地下水の供給ルートを断たれているという状態にある。しかし集水区域として、南面に広い山地をもっているため、揚水によつて、きよくたんな水位の降下を招くおそれはなさそうである。いずれにしても、第3層中の帯水層の厚さ、揚水量と水位降下、水質などを確かめるために調査井戸を試掘することが望ましい。

あ と が き

銭函地域において工業用水を地下水に仰ぐには、地下10数m以浅の自由面地下水と、地下深所の被圧地下水とが対象とされる。自由面地下水は、地域の全般に分布する砂層中に豊富に貯えられているので、筒井1本あたり1,000m³/dayでいどの用水をまかなうことは可能と判断される。また被圧地下水を貯える帯水層は、地域の西半で地下50~100mの範囲に夾在されていると推定される。これの湧出能力と水質とを知るには、テストボーリングと採水にまたなければならない。