

水井戸の密度検層に関する研究

(1) 静岡県中遠地域

小 鯛 桂 一*

Study on Density Logging of Water Wells, Chūen Region, Shizuoka Prefecture

Keiichi KODAI

Abstract

In order to study the density logging using a decentralized side-colimated tool, the seven iron-cased water-wells were selected from many existing water-wells distributed in Chūen region, Shizuoka Prefecture.

The obtained data by testing in these iron-cased water-wells were interpreted using assistantly geological columns and the resistivity logs and essentially based on the followings; (1) bulk densities of granular aquifers are composed of generally range from 2.0 to 2.3 in grams per cubic centimeter, (2) checking the short- and long-spacing of probe with a changeable holesize, and (3) calibration curves for the density logging equipment.

In consequence, it was able to correlate stratigraphic intervals in the left zone of Ota river basin and to become clear approximate permeabilities and the density range (from 2.0 to 2.3 in grams per cubic centimeter) of aquifers in Chūen region.

1. はじめに

充分な地下水の保全・管理のもとで、地下水の有効利用が一層強く叫ばれている現今、帯水層の構造を詳細かつ正確に把握することは、最終目的である地下水賦存量の認知に最も必要なことである。

本稿の末頁に記載する参考文献が示すように、静岡県中遠地域は、近隣の浜松地域と相関連して、これまでに地質および地下水の調査が比較的良好に行われてきた地域である。その意味で、中遠地域を試験地域として選んだことは、密度検層により帯水層の構造を調査するのに、過去の研究資料との比較、密度検層解釈のチェックなどが詳細にできる点で好都合であったからである。

2. 検層範囲

密度検層を実施するために、一時的に借用した既存のケーシング挿入井は、かつて東京通商産業局ならびに静岡県が、地下水調査のための水井戸を掘さくし、調査終了後は、いずれも水位観測井として管理し、利用している

ところの合計7井である。これらの各位置は、第1図に示す通りであり、各井の諸元は、第1表に示す通りで、井戸のケーシング口径は30 cmと20 cmの2種であり、井戸深度は40~180mで150mのものが最も多い。

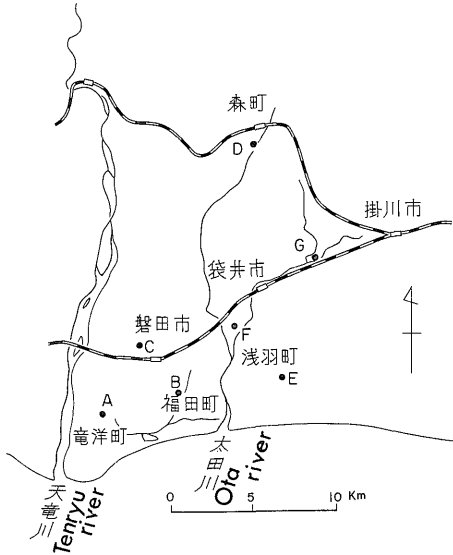
3. 検層図解釈の基準

静岡県中遠地域に分布する既存の水井戸（ケーシング挿入井）中における密度検層による帯水層の調査は、筆者による既報の3文献（小鯛, 1974a; b; c）を基準にしている。すなわち、その要旨を記すと、

1) BREDEHOEFT, J. D. (1964), WENZEL, L. K. (1962) および JONES, P. H. (1951) による帯水層の物理的性質の研究資料を結合させて検討した結果、未固結堆積物の帯水層の間隙率は、24~34%の範囲におさまる。そして、砂の粒子比重を2.65と仮定して、間隙率から容積密度を換算すると、2.09~2.25 g/ccになる。したがって、礫・砂の層が帯水層の対象になりうる密度検層による容積密度の範囲は、坑内壁の乱れ、粒子比重および測定誤差などを考慮して、普通2.0~2.3 g/ccの範囲であろうと結論した（小鯛, 1974a）。

* 応用地質部

2) 筆者が試作し使用している圧着型の密度検層機により、ケーシング挿入井中において得られた試験データ



第1図 検層実施地点位置図
Location map of logging spots.

をもとにして、口径、密度、プローブの線源・検出部間距離の3者間相互の関係を検討し、口径および線源・検出部間距離を変えても、容積密度の換算が可能な較正曲線図(第2図)を作成した(小鍋, 1974b).

3) 掘さく工事において、坑(裸孔)径は、井戸周辺の地質的条件(圧密とセメンテーションの度合、粘土の水和・膨潤の度合など)と掘さく状態の相違により変化する。そして、この坑径変化は、検層応答に影響を及ぼす。したがって、密度検層を定量的に解釈するためには、坑径変化により生じる検層応答を認知し、補正しなければならない。これらは一般にキャリブ検層の併用により可能であるが、本稿の場合のように、既存のケーシング挿入井を利用して密度検層を実施しようとする際には、キャリブ検層は不能であるので、密度検層だけで認知し補正する方法を検討した結果、下記事項が判明した。

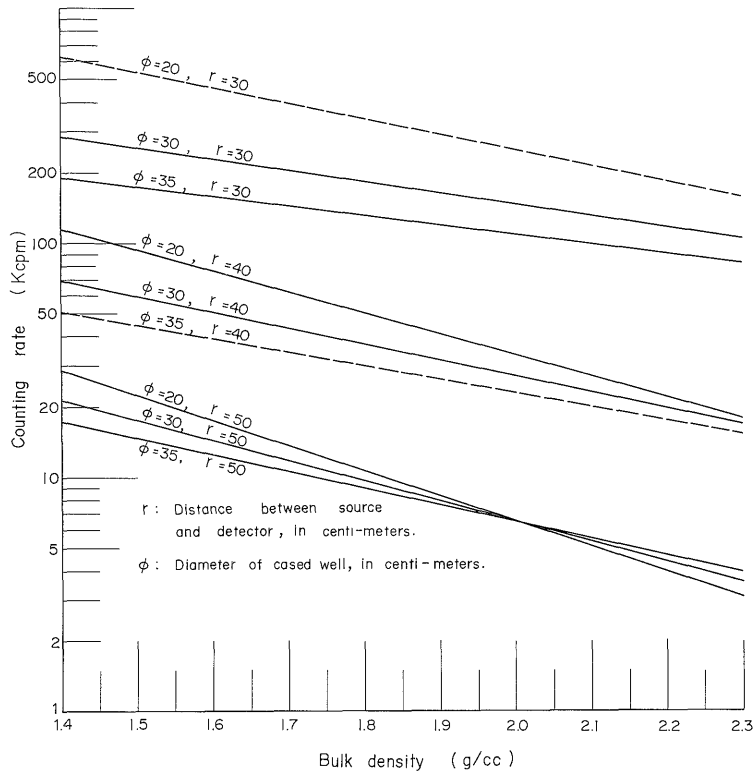
- a) 坑径が拡大するほど、検層応答(計数率)は増大する。
- b) しかし、坑径変化には、坑内壁の局部的変化以外に、ビット径の変化によって生じるケーシング口径

第1表 密度検層を実施したケーシング挿入井の諸元

地点記号	地点名	所属	井戸深度(m)	口径(cm)	ゲグの厚さ(mm)	ストレナーの位置(m) (スクリーン形式)	パッキング	既存資料の利用		備考
								柱状図	電検図	
A	磐田郡竜洋町飛平松	*	150	30	6.9	89.0~100.5 (巻線型, 間隔1mm) 孔明率14.5%	坑底からストレナー上方10mまで6~9mmの均等円礫, その上はセメントミルク	○	○	A地点は、天竜川扇状地にある唯一のもので、天竜川河口部の左岸の旧河道上に位置している。
B	磐田郡福田町元於保小学校跡	*	"	"	"	110.5~128.0 (")	"	○	○	太田川の下流右岸にB地点, 中流部にC地点, そして、かなり上流の河川敷にD地点がある。B地点は、点くから海水の侵入地帯として知られているところである。また、C地点は磐田礫層の分布する磐田原台地の南端部にあたる。
C	磐田市中泉磐田西小学校	*	"	"	"	117.0~133.5 (")	"	○	○	
D	周知郡森町上河原	**	40	20				○		
E	磐田郡浅羽町東山・浅羽公民館	*	150	30	6.9	117.0~133.5 (巻線型, 間隔1mm) 孔明率14.5%	坑底からストレナー上方10mまで6~9mmの均等円礫, その上はセメントミルク	○	○	太田川の下流左岸にE地点, そして、中流あたりで原野谷川と合するところにF地点, さらにこの原野谷川をさかのぼり北原川と逆川の合流するところにG地点が位置する。
F	袋井市松袋井熊	**	180	20				○		
G	掛川市徳泉六所神社	**	120	20				○		

* 東京通商産業局

** 静岡県



第2図 ケーシング挿入井の較正曲線図
Calibration curves for cased well.

の大・小も含んでいる。この口径差による検層応答は、先の坑内壁の局部的変化による検層応答と比べて逆の特性になる。

- c) プロープの線源・検出部間距離は、70 cm の範囲で長いほど口径差による検層応答の変化率が小さくなる。

したがって、坑径変動箇所の認知は、大小両方の線源・検出部間距離で密度検層を実施し、この2つの検層応答の計数差を検討することにより可能である。そして認知した変動箇所の補正は、大間隔の線源・検出部間距離で得た検層応答を基準にすることである程度可能である(小鯛, 1974c)。

4. 検層図について

4.1 図示方法

第1図に示した7地点の水井戸で、試験して得た自然ガンマと密度検層図、ならびにさく井業者による(管理者は東京通商産業局)さく井時の地質柱状図と比抵抗検層図(L=1.6, S=0.4m)の既存資料(東京通産局, 1971)を一緒にして、各井単位に作図したものを第3~

9図に示している。

注) 定量的地層評価は、電気検層図からも、ハンブルやアーチェの改良式などを利用してできるものと考えられるが、本稿では補助的資料という意味で、単に、比抵抗値の基準による地層区分法を参考にした程度である。

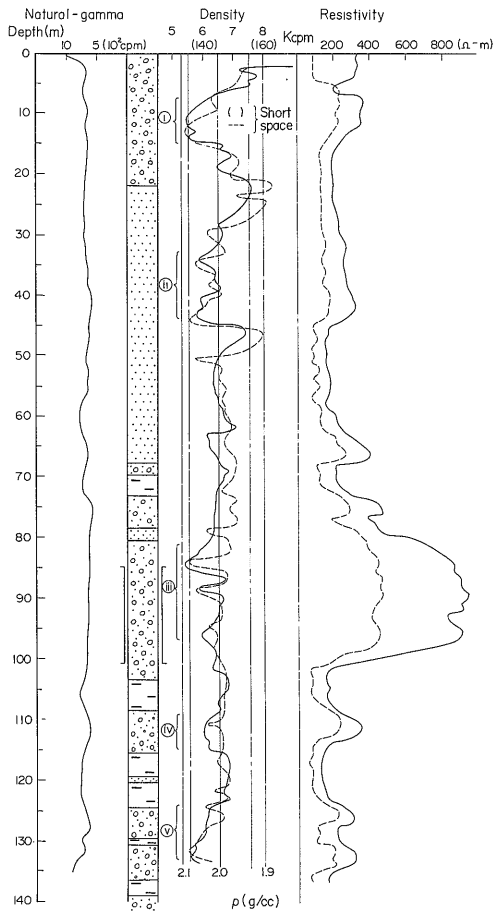
密度検層は、大小2通りのプロープ間隔(線源・検出部間距離)で実施した。大間隔(各図中の実線部分)は50 cm ですべての井戸に、そして小間隔(各図中の破線部分)は、A井が30 cmであるほかはすべて40 cmで実施した。なお、容積密度(ρ 値)を示す細い補助線は、実線の密度曲線の相当値であり、破線の密度曲線相当値は図が複雑になるので省略した。

4.2 測定誤差について

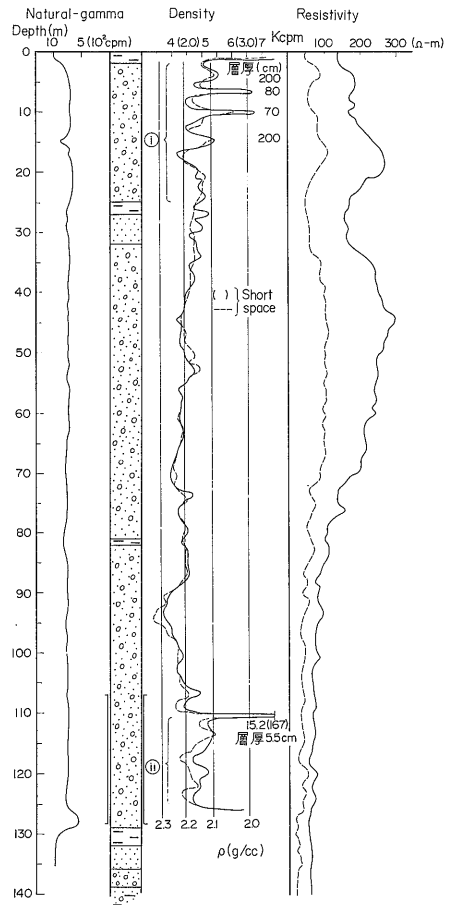
a) 統計的誤差: 自然ガンマならびに密度検層の各測定条件は次のようである。

シンチレーター: NaI (1"φ×2"), 弁別エネルギーレベル 150 KeV, 昇降速度: 2 m/min, 線源: ^{137}Cs (10mC)。

この測定条件で実施した今回の検層に影響すると考えられる統計的誤差には、次のようなものがある。すなわち、昇降速度の分解能に起因する理論的誤差は、概算で、地層厚1 mの場合に約25%であり、層厚がさらに薄



第3図 A井 (口径30cmケーシング) の検層図
Water well A (30 cm dia.), Ryōyō-chō.



第4図 B井 (口径30cmケーシング) の検層図
Water well B (30 cm dia.), Fukude-chō.

くなると誤差も比例的に増大し、0.5mの層厚では、約11%の誤差になる。したがって、薄層に対しては十分な注意を払って検討を加えている。しかし、計数自体の相対誤差は、比較的小さいので、今回の精度範囲(密度値のコンマ1桁まで)ではあまり問題にならないはずである。

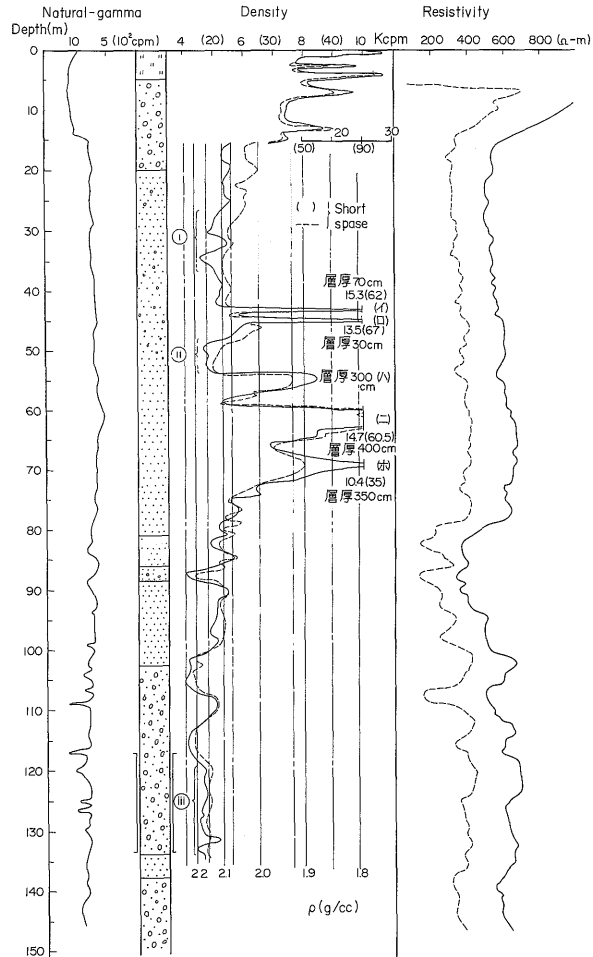
b) 坑井条件による誤差について: 筆者はまだ密度検層図解釈にあたって、スクリーン部およびパッキングの材質と厚さ変化に対処する具体的な補正方法をみだしていない。しかし、使用したプローブは圧着型であり、一定の幾何学的示準をもたせるための指向角を与えてあるために、照・入射されるガンマ線は地層を貫通したものが多く計測されるようにしてあるので、スクリーン部ならびにパッキングが一様な標準施工であれば誤差率は小さいものと思われる。しかし具体的な検討は今後に残

されている。

c) 坑径変化 (坑壁の荒れ) による誤差: 崩壊等により、坑壁が著しく拡大している箇所は、前述の第3節・3を基準にある程度チェックして、慎重に検討したが、なお精度的に疑わしい箇所については解釈から除外している。

以上のa), b), c)各誤差を加算した総合誤差は、あるときは相殺し小さくなり、またこれとは逆に大きくなる場合もある。しかし自然ガンマおよび密度の各検層図曲線(第3~9図)は、昇降操作で反復して得られる合計2回の検層値の平均を示しているため誤差率は半減しているはずである。本稿ではさらに、なるべく誤差率を縮小させる意味で、各深度間の平均的な読みにより論じている。

水井戸の密度検層に関する研究 (小鯛桂一)



第5図 C井 (口径 30 cm ケーシング) の検層図
Water well C (30 cm dia.), Iwata-shi.

5. 検層結果の解釈

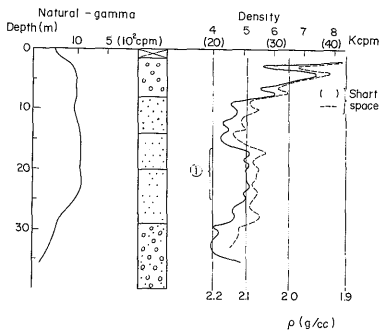
5.1 A (竜洋) 井

A井は、地表直下から礫層で、深度 100m 余りまでは連続する。これ以深は、泥層とやや風化した礫・砂が互層する。全体的な容積密度は、1.93~2.09 g/cc と非常に狭い範囲の垂直分布を示している。しかも、密度の大部分を欠く中位の容積密度であるので、密集した砂礫層ならびに水和された軟弱な粘土層はないものといえる。

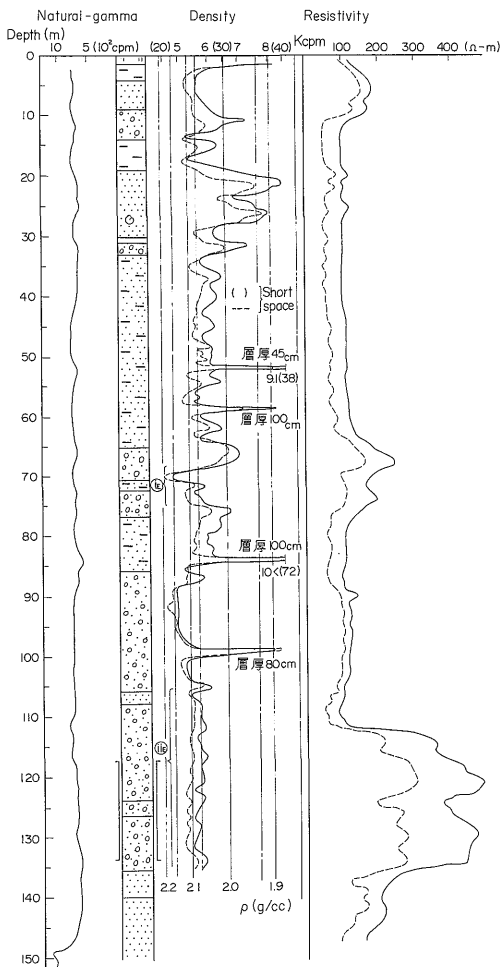
電気検層資料から、深度80~100mの範囲は層厚・透水性ともに優れているが、これを密度でみると、2.0~2.1 g/cc の礫・砂の部分の透水性が良好であると考えられる。

5.2 C (磐田) 井およびB (福田) 井

C井は、磐田原台地上に位置することと、市街の中心



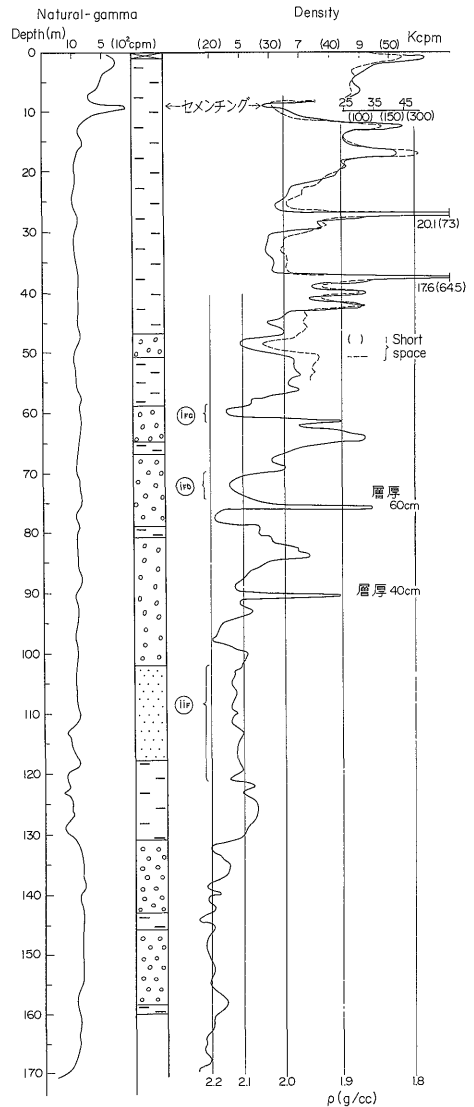
第6図 D井 (口径 20 cm ケーシング) の検層図
Water well D (20 cm dia.), Mori-machi.



第7図 E井 (口径30cmケーシング)の検層図
Water well E (30 cm dia.), Asaba-chō.

部にもあたるためか、水位は地表面下15m前後とわりあいに深い。この間の砂礫層には、数枚の粘土・シルト層が介在し、以深には、礫・砂を主とする地層が連続する。密度検層では、深度43~72m間に、(i)から(iv)までの5箇所大きなピークがみられ、容積密度が小さいことを示している。したがって、地質柱状資料には示されていないが、深度45m前後に層厚0.7m(i)と0.3m(ii)の粘土層が介在するものとみられる。(v)、(vi)、(vii)も同様に、粘土・シルト層、あるいは粘土・シルトの含有率が大きい砂層であるといえる。

本井を密度的にみて、透水性の良好な箇所は、おもに2.15~2.20 g/ccの狭い範囲にある砂礫層とみられる。すなわち、(i)、(ii)、(iii)の部分がこれに相当する。C井に近接して存在する揚水井は、粘土層で区分された(i)と(ii)

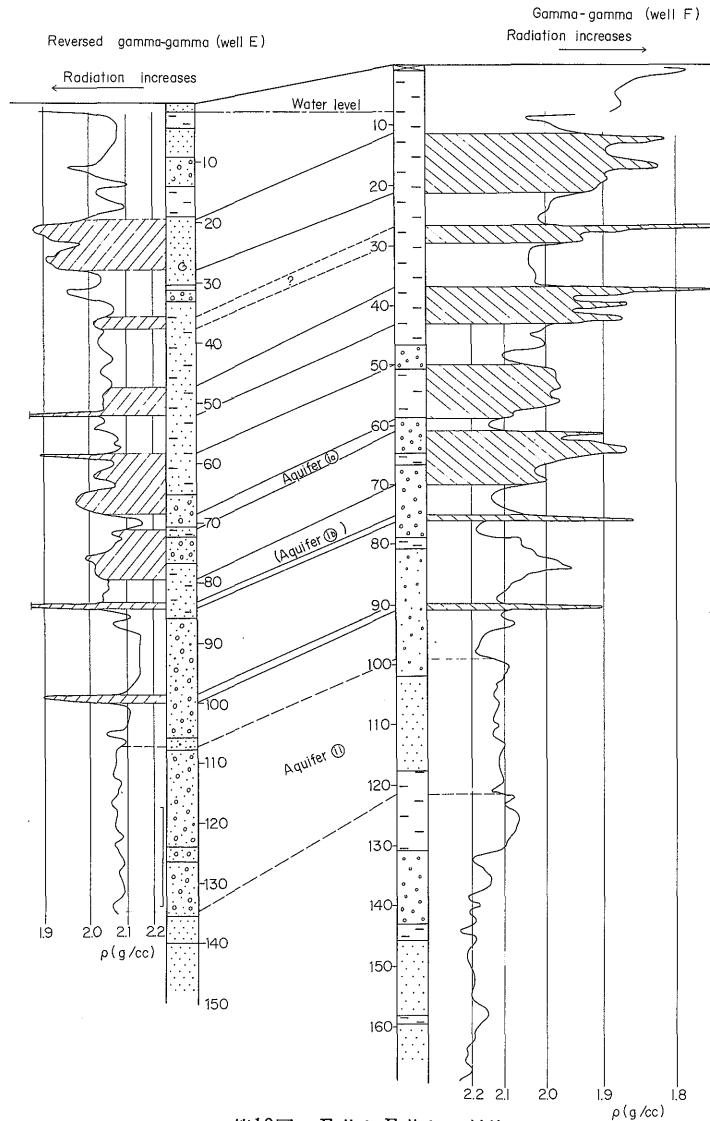


第8図 F井 (口径30cmケーシング)の検層図
Water well F (20 cm dia.), Fukuroishi.

の上部および下部の帯水層として採水の対象にしている。

なお、自然ガンマ計数は、深度100~130m間で幾つかのピークを示すことから、この部分の礫・砂に、自然放射能が比較的大きい花崗岩類や黒色頁岩起原のものが混入していることが推測される。

次に、B井は、地表から深度30m位の間の砂礫層中に、層厚0.7~2.0mの粘土層を4枚挟み、そのほかは深度110mのところ、薄い粘土層を1枚挟むだけで、深度



第10図 E井とF井との対比

Correlation between log in E well and log in F well.

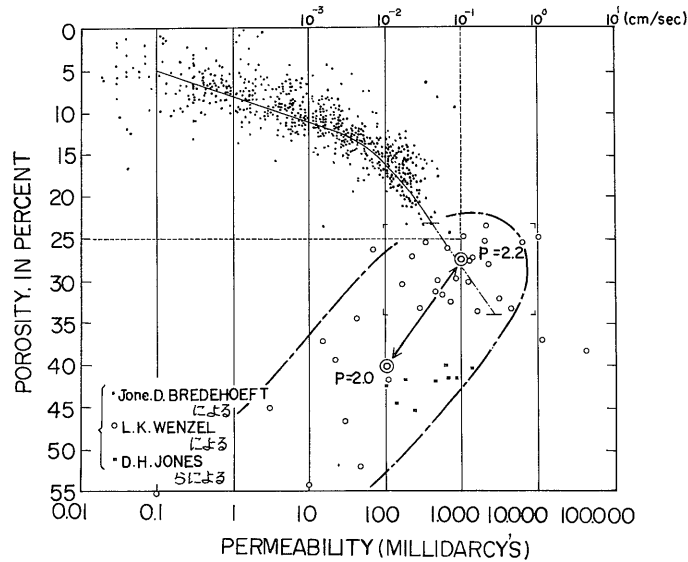
はかなり異なるので、密度検層だけでは地層対比が困難である。この透水性が良好であるとみられる箇所は、密度が2.1 g/cc前後の部分で、28~38mと59~64mの礫層であり、層厚が比較的に小さい。

6. 考察 (本地域における帯水層の密度範囲とおおまかな透水性について)

第3節の1)で述べたように、礫・砂の層が、帯水層の対象となりうる場所の密度検層による容積密度の範囲は、粒子比重一定等の仮定にもとづく誤差を含めて、普

第2表 中遠地域における帯水層の容積密度範囲

地点記号	水系	井戸深度 (m)	帯水層の容積密度範囲 (g/cc)	帯水層の累計厚 (m)
A	天竜川	150	2.0 ~ 2.1	40
B	(磐田原)	150	2.1 ~ 2.2	33
C	太田川(右岸)	150	2.15 ~ 2.2	39
D		40	2.1前後	9
E		150	2.05 ~ 2.1	35
F	太田川(左岸)	180	2.1 ~ 2.15	24
G		120	2.1前後	15



第11図 間隙率と透水性の関係
Relation between porosity and permeability.

通 2.0~2.3 g/cc の範囲であろうと結論した。本調査の結果は、もちろんこの範囲内にあるけれども、第2表に示す通り、ここでは 2.1 g/cc を中心に 2.0~2.2 g/cc の間に分布してその範囲を小密度側に縮小している。しかも全体的にみて、各地点別で幾つかに分かれている帯水層の容積密度はすべて一定している。

上述の容積密度の範囲から逆算して、後述のように、おおまかな透水性を知ることができる。しかし、密度検層からは粒度組成、とくに粘土含有率が不明であるし、これに関する他の正確な情報が得られなかったので、正確な透水性は求めることができなかった。

第3節の1)で概説した文献における「間隙率と透水性の関係図」を引用し、砂層(砂比重を2.65と仮定)における 2.0~2.2 g/cc の容積密度からの換算間隙率を、礫層・砂礫層を含む一般的、統計的な未固結堆積物の帯水層の間隙率中央値にプロット(◎印)すると第11図中のようになる。したがって、容積密度 2.0~2.2 g/cc の一般的な透水係数は、おおよそ $1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^{-1}$ cm/sec の範囲およびその前後であろうと推測される。

7. おわりに

密度検層を主体とし、加えてその他の検層図ならびに地質柱状図を補助資料にすることにより、比較的詳細な礫・砂・粘土の成層の状態の把握ができ、これから導びき出せる帯水層の厚さとその容積密度範囲、さらにこ

の容積密度範囲から逆に導出したおおまかな透水性、といったところが明らかになった。

しかしながら、密度値は、第4.2節でも述べたように、起こりうる誤差の全ての範囲を確証していない(坑井状態に関するもの)ので、深度的に個々の地点について論じるとなると精度的な疑問が残る。今後は、キャリパ検層の併用による実証および裸坑とケーシング坑の比較テストなどにより、この面のつめを行う予定である。

また、本稿で記載したおおまかな透水性の算定法は、技術的な目安としては有効であるけれども、正規の研究手法からは逸脱するものであるといわざるを得ない。とはいえ、本稿で利用した程度の補助資料の扱い方では、実際に地層を構成する粒度組成データが得られない限り複数の検層図がたとえあっても透水性の算定は無理であることがわかったので、今後は、2種以上の検層図を並列的に深く探究するとともに、クロスプロットング技法を駆使して正確な係数算出に努力するつもりである。

なお、本調査の実施にあたり、東京通商産業局、静岡県の関係各位、ならびに磐田市をはじめ、袋井市、掛川市、森町、浅羽町、福田町および竜洋町の各関係各位の御協力を頂いたことに対し深謝する。

参考文献

- 郷原保真, 外1名(1951): 三方原台地の地質と他
下水. 資源研彙報, no. 24.

- 加藤芳郎 (1952) : 東海地方東部の洪積台地形成の問題—磐田原の場合. 地学雑誌, 58.
- 蔵田延男 (1954) : 西遠地域工業用水源地域調査報告. 地質調査所月報, vol. 5, no. 6.
- 森 和男 (1955) : 磐田市およびその周辺地区工業用水源地点調査報告—東海第4報. 地質調査所月報, vol. 6, no. 4.
- 静岡県 (1956) : 静岡県の地質 (県地質図の解説).
- 槇山次郎・坂本 亨 (1957) : 5万分の1地質図幅「見付・掛塚」および同説明書, 43 p., 地質調査所.
- 静岡県 (1961) : 静岡県水理地質図(2).
- 村下敏夫, 外3名 (1962) : 浜松市および周辺の被圧地下水. 地質調査所月報, vol. 13, no. 2.
- 小林国夫 (1963) : 浜松市および周辺の地質図. 浜松市.
- (1964) : 地質調査報告書. 浜松市.
- 広川 治, 外1名 (1965) : 表層地質図 (5万) —見付 (磐田). 経済企画庁.
- 東京通商産業局 (1971) : 静岡県中遠地域・地下水利用適正化調査報告書 (水理解析).
- 小鯛桂一 (1974a) : 地下水調査のための密度検層 (測定上の問題点と機器の試作について). 地質調査所月報, vol. 25, no. 4.
- (1974b) : ケーシング挿入井中の密度検層 I. (各種口径とその応答). 物理探鉱, vol. 27, no. 4.
- (1974c) : ケーシング挿入井中の密度検層 II. (坑径変動の推測法について). 物理探鉱, vol. 27, no. 4.