

秦野盆地の地層係数と透水係数

荻野喜作, 大木靖衛, 小鷹滋郎

小沢 清, 広田 茂

神奈川県温泉研究所*

(昭和46年2月3日受理)

Relation between Formation Factors and Permeability

Coefficients of Gravel Beds of Hadano Basin

by

Kisaku OGINO, Yasue ŌKI, Shigeo ODAKA, Kiyoshi OZAWA and Shigeru HIROTA

Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

(Abstract)

Electric resistivity logs were carried out in 21 newly opened drill holes in the Hadano basin. Permeability coefficients were measured by means of pumping test. A correlation between formation factors obtained by resistivity logs and permeability coefficients was made with the result of figure 5. Formations having relatively high resistivity ranging from 100 to 250 Ω -m and having formation factors from 3 to 7 show relatively high permeability coefficient ranging from 10^{-3} to 10^{-1} cm/sec. The permeability coefficient can be approximately estimated by the correlation method between the formation factor and the resistivity of bed.

*神奈川県箱根町湯本 〒250-03

神奈川県温泉研究所報告 第2巻, 第2号, 71—82, 1971

まえがき

秦野盆地内の地下水調査のために 最近掘さくされた数本の調査孔について 電気検層を行なった。電気検層は、もちろん、地質調査の補助として地層の厚さや境界の決定にも有効であるが、水井戸の検層ではその結果を地下水産出量の推定に役立てることであろう。

地質調査孔は口径が小さく、揚水試験を正確に行なうために孔内を十分に洗滌すると崩壊が起きやすい。揚水試験を実施してみたが洗滌不足のために 予想以上に透水係数が低く測定された。電気検層によってこの欠陥を補うために地層係数と透水係数の相関を求める必要にせまられた。

本報告書では、秦野盆地内で帯水層の地層係数と透水係数を検討し、地層係数から透水係数を推定することを試みた。

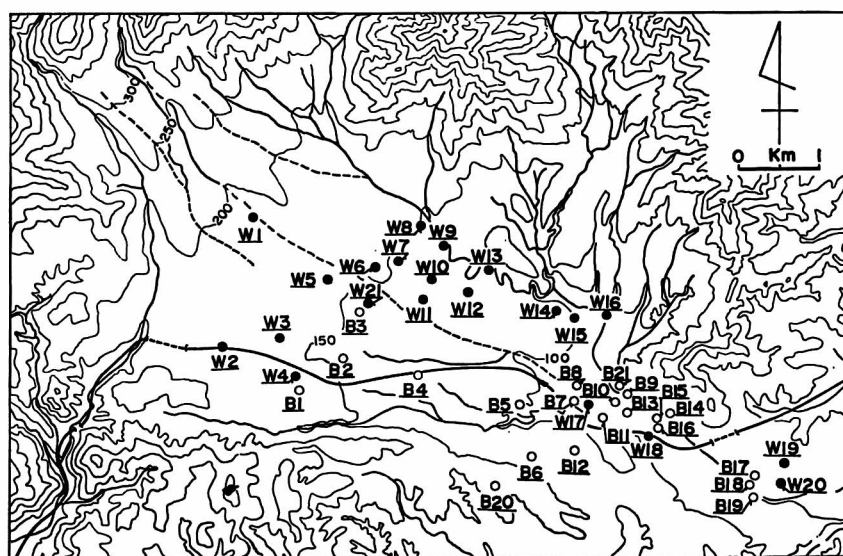


図1 秦野盆地付近の孔井分布図

B : 地質調査孔

W : 揚水井

地層比抵抗の算出について

比抵抗検層法は地層の比抵抗と地質特性との対応関係を見出すために考案された。地層の見掛け比抵抗だけでも、礫層とか粘土層などの定性的な地質の判定が出来る。例えば、礫層は良好な地下水で満たされていると高い比抵抗値を示す。一方粘土層は比抵抗値が小さい。しかしながら、地質特性を明確にするためには電気検層の結果から地層の真の比抵抗を算出する必要がある。

表1 孔井の電気検層解析結果

孔井名	深 度	地層比抵抗	泥水比抵抗	地層係数	地層比抵抗	地下水比抵抗	地層係数	備 考
	<i>m</i>	Rt	Rm	F	Rt	Rw	F	
B-1	20.6 ~ 21.6	87	21.8	4.0	93	25.7	3.6	逸 水
	24.8 ~ 30.5	70	21.8	3.2	87	25.7	3.4	
	34.5 ~ 37.8	87	21.8	4.0	85	25.7	3.3	
	39.7 ~ 48.4	105	21.8	4.8	116	25.7	4.5	
	49.5 ~ 57.5	107	21.8	4.9	108	25.7	4.2	
B-2	5.8 ~ 8.3	147	13.4	11	186	33.8	5.5	逸 水
	30.0 ~ 36.0	134	13.4	10	152	33.8	4.5	
	41.5 ~ 47.4	188	13.4	14	186	33.8	5.5	
	55.2 ~ 58.7	201	13.4	16	230	33.8	6.8	
	66.0 ~ 69.5	188	13.4	14	183	33.8	5.4	
	78.8 ~ 85.5	147	13.4	11	159	33.8	4.7	
B-3	20.0 ~ 23.0	—	—	—	98	36.2	2.7	逸 水
	28.0 ~ 31.0	—	—	—	131	36.2	3.2	
	33.0 ~ 45.0	—	—	—	112	36.2	3.1	
	47.0 ~ 53.0	—	—	—	108	36.2	3.0	
	55.0 ~ 64.0	—	—	—	91	36.2	2.5	
B-4	8.5 ~ 14.5	—	—	—	106	46.1	2.3	
	40.0 ~ 60.0	—	—	—	166	46.1	3.6	
B-5	—	—	—	—	—	—	—	
B-6	12.5 ~ 20.5	—	—	—	62	45.4	1.6	逸 水
	20.5 ~ 41.5	—	—	—	68	45.4	1.7	
	41.5 ~ 48.0	—	—	—	64	45.4	1.6	
	48.0 ~ 49.0	—	—	—	68	45.4	1.7	
	58.0 ~ 63.0	—	—	—	104	45.4	2.7	
	64.0 ~ 68.0	—	—	—	114	45.4	2.9	
	75.3 ~ 78.7	—	—	—	95	45.4	2.4	
	81.5 ~ 89.0	—	—	—	77	45.4	2.0	
	89.0 ~ 95.0	—	—	—	91	45.4	2.3	
B-7	1.6 ~ 6.5	320	20	16.0	286	68	4.2	逸 水
	9.6 ~ 10.6	210	20	10.5	190	68	2.8	
	14.5 ~ 16.4	200	20	10.0	190	68	2.8	
	20.6 ~ 23.8	148	20	7.4	170	68	2.5	
	25.5 ~ 28.8	140	20	7.0	156	68	2.3	
	38.3 ~ 46.0	130	20	6.5	136	68	2.0	
	49.4 ~ 52.2	136	20	6.8	136	68	2.0	
	59.5 ~ 64.2	136	20	6.8	136	68	2.0	
	70.5 ~ 73.0	126	20	6.3	122	68	1.8	
	79.8 ~ 83.8	176	20	8.8	204	68	3.0	
	84.8 ~ 87.4	194	20	9.7	238	68	3.5	

孔 井 名	深 度	地層比抵抗	泥水比抵抗	地層係數	地層比抵抗	地 下 水 比 抵 抗	地層係數	備 考
	<i>m</i>	Rt	Rm	F	Rt	Rw	F	
B—8	3.0 ~ 6.0	79	46	1.7	—	—	—	
	18.0 ~ 24.0	131	46	2.8	—	—	—	
	26.0 ~ 34.0	98	46	2.1	—	—	—	
B—9	2.0 ~ 9.5	240	12	20	256	46.5	5.5	逸 水
	9.5 ~ 14.5	180	12	15	186	46.5	4.0	逸 水
	14.5 ~ 18.5	240	12	20	232	46.5	5.0	
B—10	5.0 ~ 12.0	199	58.5	3.4	—	—	—	湧 出 湧 出
	12.0 ~ 19.5	146	58.5	2.5	—	—	—	
	19.8 ~ 23.7	193	58.5	3.3	—	—	—	
	23.7 ~ 27.0	240	58.5	4.1	—	—	—	
	29.0 ~ 31.5	170	58.5	2.9	—	—	—	
B—11	7.0 ~ 28.0	241	48.1	5.0	—	—	—	逸 水 逸 水 逸 水 逸 水 逸 水 逸 水 逸 水 逸 水
B—12	12.5 ~ 14.0	130	27.6	4.7	—	—	—	
	20.0 ~ 27.0	248	27.6	9.0	—	—	—	
	27.0 ~ 35.0	166	27.6	6.0	—	—	—	
	35.0 ~ 39.5	193	27.6	7.0	—	—	—	
	45.4 ~ 50.4	221	27.6	8.0	—	—	—	
	52.0 ~ 66.0	97	27.6	3.5	—	—	—	
	67.0 ~ 70.6	44	27.6	1.6	—	—	—	
	71.5 ~ 81.0	83	27.6	3.0	—	—	—	
B—13	4.0 ~ 26.0	158	14.4	11.0	180	35.8	5.2	逸 水
	26.0 ~ 33.0	144	14.4	10.0	154	35.8	4.3	
B—14	3.0 ~ 12.0	170	22.0	7.7	157	39.2	4.0	逸 水
B—15	13.5 ~ 18.0	—	—	—	137	47.2	2.9	
	20.0 ~ 22.5	—	—	—	165	47.2	3.5	
B—16	9.5 ~ 25.5	—	—	—	105	28.4	3.7	逸 水
B—17	17.5 ~ 21.5	—	—	—	79	26.3	3.0	
	26.0 ~ 28.5	—	—	—	95	26.3	3.0	
B—18	11.7 ~ 15.6	—	—	—	58	46.0	1.3	
	25.9 ~ 28.8	—	—	—	51	46.0	1.1	
B—19	21.2 ~ 23.3	—	—	—	179	46.0	3.9	
B—20	16.5 ~ 18.5	—	—	—	127	63.3	2.0	逸 水 逸 水 逸 水 逸 水 逸 水 逸 水 逸 水 逸 水
	34.5 ~ 48.0	—	—	—	158	63.3	2.5	
	48.0 ~ 63.5	—	—	—	133	63.3	2.1	
	63.5 ~ 74.8	—	—	—	95	63.3	1.5	
	84.0 ~ 94.5	—	—	—	70	63.3	1.1	
	98.3 ~ 102	—	—	—	222	63.3	3.5	
	102 ~ 112	—	—	—	101	63.3	1.6	
	112 ~ 14.0	—	—	—	133	46.0	2.9	
B—21	7.0 ~ 14.0	—	—	—	133	46.0	2.9	

孔 井 名	深 度	地層比抵抗	泥水比抵抗	地層係数	地層比抵抗	地下 比抵抗	水抗	地層係数	備 考
	<i>m</i>	Rt	Rm	F	Rt	Rw		F	
W-1	—	—	—	—	—	—	—	—	
W-2	19.0 ~ 44.0	152	(34)	(4.5)	—	—	—	—	
	44.0 ~ 50.0	186	(34)	(5.5)	—	—	—	—	
W-3	18.0 ~ 21.0	130	(72)	(1.8)	—	—	—	—	
	30.5 ~ 35.0	220	(72)	(3.0)	—	—	—	—	
	40.5 ~ 50.5	170	(72)	(2.4)	—	—	—	—	
	53.5 ~ 58.0	180	(72)	(2.5)	—	—	—	—	
	65.0 ~ 70.5	230	(72)	(3.2)	—	—	—	—	
W-4	—	—	—	—	—	—	—	—	
W-5	6.0 ~ 13.0	100	(30)	(3.3)	—	—	—	—	
	25.0 ~ 33.0	93	(30)	(3.1)	—	—	—	—	
	33.0 ~ 69.0	90	(30)	(3.0)	—	—	—	—	
W-6	—	—	—	—	—	—	—	—	
W-7	—	—	—	—	—	—	—	—	
W-8	—	—	—	—	—	—	—	—	
W-9	11.0 ~ 23.0	115	(36)	(3.2)	—	—	—	—	
	34.0 ~ 43.0	112	(36)	(3.1)	—	—	—	—	
	46.0 ~ 64.0	108	(36)	(3.0)	—	—	—	—	
	67.0 ~ 76.0	91	(36)	(2.5)	—	—	—	—	
W-10	32.0 ~ 44.0	98	(36)	(2.7)	—	—	—	—	
	50.0 ~ 57.0	115	(36)	(3.2)	—	—	—	—	
	57.0 ~ 64.0	112	(36)	(3.1)	—	—	—	—	
	64.0 ~ 76.0	108	(36)	(3.0)	—	—	—	—	
	76.0 ~ 84.0	91	(36)	(2.5)	—	—	—	—	
W-11	18.0 ~ 80.0	82	(20)	(4.1)	—	—	—	—	
W-12	18.0 ~ 28.0	194	(72)	(2.7)	—	—	—	—	
	32.0 ~ 39.0	137	(72)	(1.9)	—	—	—	—	
	41.0 ~ 51.0	137	(72)	(1.9)	—	—	—	—	
	53.0 ~ 73.0	137	(72)	(1.9)	—	—	—	—	
W-13	9.0 ~ 15.0	147	(30)	(4.9)	—	—	—	—	
	25.0 ~ 28.0	195	(30)	(6.5)	—	—	—	—	
	32.0 ~ 39.0	180	(30)	(6.0)	—	—	—	—	
	43.0 ~ 56.0	135	(30)	(4.5)	—	—	—	—	
	62.0 ~ 73.0	105	(30)	(3.5)	—	—	—	—	
W-14	—	—	—	—	—	—	—	—	
W-15	26.0 ~ 55.0	240	(30)	(8.0)	—	—	—	—	
W-16	—	—	—	—	—	—	—	—	
W-17	—	—	—	—	—	—	—	—	
W-18	—	—	—	—	—	—	—	—	
W-19	22.0 ~ 32.0	54	(20)	(2.7)	—	—	—	—	
W-21	—	—	—	—	—	—	—	—	

() は推定値

検層に用いた電極間隔は 16cm, 32cm, 64cm の三種である。それぞれの見掛比抵抗値を電極による形状補正および温度補正 (20°C) を行ない、孔井の口径 (150 ~ 75mm)・解析層厚・孔内泥水比抵抗値などにもとづき偏差曲線表 (Schlumberger Doc. No. 3 1947) により真の地層比抵抗値を算出した。あまりにも低い見掛比抵抗値部分は、粘土質の多い部分で、良好な帯水層とならないので解析しなかった。

解析資料は主として図 1 の B 1 ~ 21 の地質調査孔の電気検層図であるが、一部秦野市水源井の検層記録を利用した。検層図を掲載する煩をさけ測定結果だけを表 1 にまとめた。

地層係数の意義

地層の比抵抗 R は地層の間隙を満たしている電解質溶液 (地下水) の比抵抗 R_w によって定められる。Archie (1942) は溶液の比抵抗を色々に変えて、その水を含む地層の比抵抗を求めたところ、同一試料では、

$$R/R_w = F \text{ (一定)}$$

という関係を認め、 F を地層係数と定義した。 F は地層の孔隙率や地下水の湧水能・透水係数と結びつけられなければならない。地層係数と水理定数との関係は 山口久之助 (1963) によって詳しく検討されている。その概要は次の通りである。

孔井掘さくでは、孔内のスライムを排除し孔壁の崩壊を防ぐために泥水を使用する。泥水はベントナイトを主材とする場合が多い。粘土や砂の層を通して泥水が地層中に完全に侵入することは少なく、泥質物は孔壁に泥ケーキを形成する。しかし、一般に良好な透水層では泥ケーキが出来ず泥水は地層内部まで侵入するので、狭い電極間隔で測定された比抵抗は孔内泥水の侵入した地層の比抵抗と見なし得る。

この場合には、孔内泥水比抵抗 R_m と泥水侵入帯比抵抗 R_o から地層係数は次のように求められる。

$$F = R_o / R_m$$

一方、 F の定義より

$$F = R_t / R_w$$

F を消去して

$$R_t / R_o = R_w / R_m$$

帯水層では地下水の R_w の方が泥水の R_m より必ず高いので、 $R_w / R_m > 1$ の関係が得られる。泥水侵入帯の泥水比抵抗は常に地下水の影響を受け易い。実際に泥水を採水して R_m を測定した値は、必ずしも地下の泥水侵入帯内の泥水比抵抗になっていない場合もある。それ故、解析に用いる R_m の値には注意が必要である。

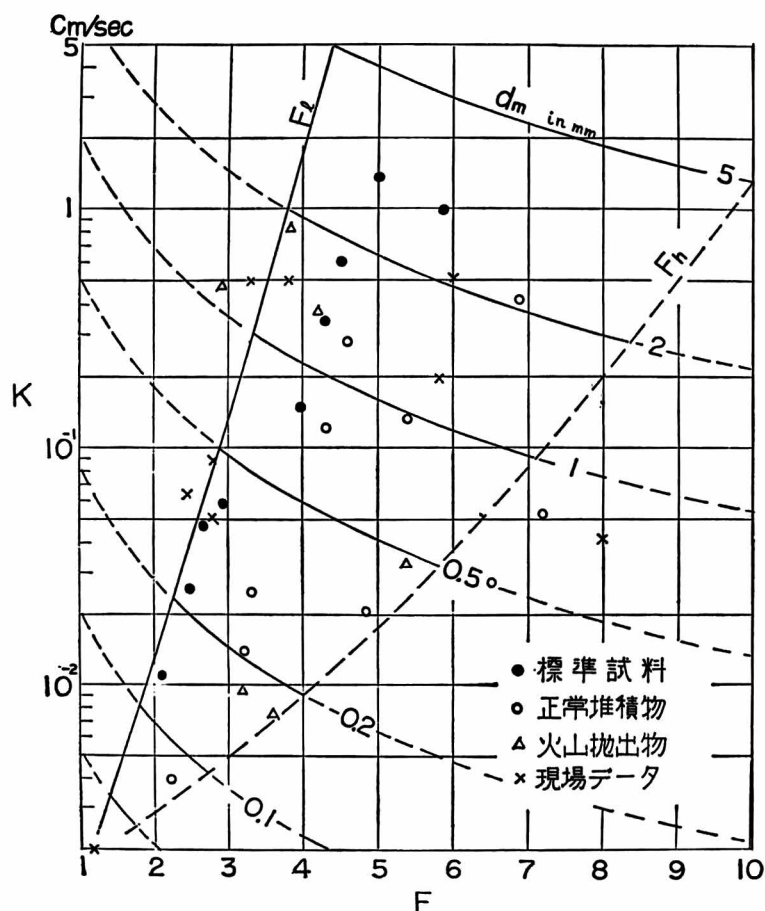


図2 帯水層の地層係数と透水係数の関係, 18°C
(山口: 1963)

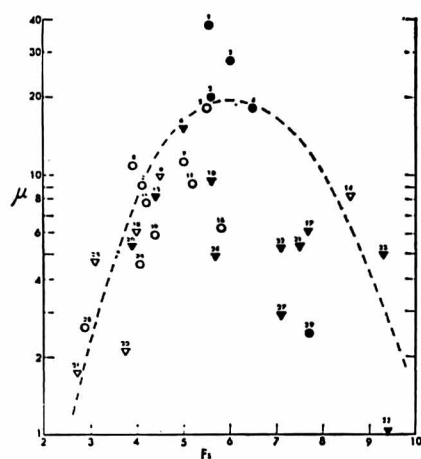


図3 地層係数と湧水能との関係

白丸 砂層・孔径 250mm 以上
黒丸 礫層・孔径 250mm 以上
白三角 砂層・孔径 250mm 以下
黒三角 礫層・孔径 250mm 以下
(山口: 1970)

表2 透水係数と地層係数

孔井名	透水係数 cm/sec	地層係数				
B-2	2.9×10^{-4}	4.5	5.5	6.8	5.4	
B-7	4.4×10^{-2}	4.2	2.8	2.8		
B-8	3.0×10^{-2}	2.8				
B-9	2.5×10^{-2}	5.5	4.0	5.0		
B-10	2.4×10^{-2}					
B-11	3.5×10^{-2}					
B-13	6.2×10^{-2}	5.2				
B-14	5.4×10^{-3}	4.0				
B-15	4.9×10^{-5}	2.9	3.5			
B-17	5.6×10^{-3}	3.0				
B-18	1.5×10^{-4}	1.3	1.1			
B-19	1.0×10^{-3}	3.9				
W-2	1.2×10^{-3}	4.5	5.5			
W-5	4.9×10^{-2}	3.1	3.0			
W-9	3.4×10^{-2}	3.2	3.1	3.0	3.0	2.5
W-10	4.6×10^{-2}	3.1	3.0			
W-11	1.1×10^{-2}	4.1				
W-12	2.0×10^{-2}	2.7	1.9	1.9	1.9	
W-13	1.0×10^{-1}	4.9	6.5	6.0	4.5	3.5
W-15	5.7×10^{-2}	8.0				

一般に帯水層ではFは2～8の値をとる。図2は山口(1962)によって求められた地層係数と透水係数との相関関係図であり、良好な帯水層ではFが4～6の値を持つ事がしめされている。図3は同じく山口(1970)によって求められた比湧出量と地層係数の関係である。ここでも、Fの値が5.5付近で比湧出量が極大になっている。

秦野盆地の地層係数と透水係数

地層係数が10より大きなものは固結した岩相に現われ、Fが1に近いものは粘土層と見られる。秦野の場合は良好な帯水層でもFが10より大きく算出された場合がしばしばある。測定結果に問題がないとすればFを評価するために用いた泥水のRmに問題があり、孔内水が完全に地層内に侵入しているとした仮定が正しくないことを意味する。

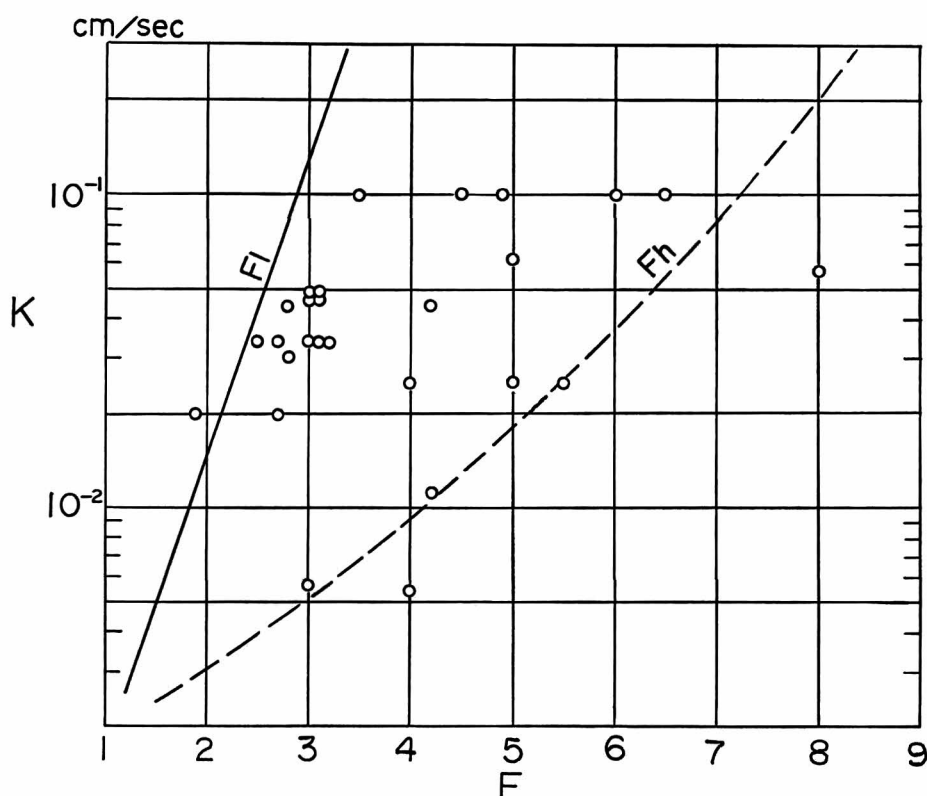


図4 秦野盆地の帯水層の地層係数と透水係数の関係, 20℃

盆地砂礫層には多量の火山灰や軽石が含まれているために、孔内水の電解質は火山灰や軽石を成する粘土鉱物や火山ガラスに吸着されるか、又は地層内に充分侵入することが許されなかったのと考えられる。

そこで、あまりにも高いF値のものはRmの代りに揚水によって得られた地下水の比抵抗Rwを用いて再びFを解析した(表1)。

表2は、各孔井で揚水テストによって求められた透水係数値と信頼のおける帯水層のF値を示したものである。良好な帯水層のFは2～8の範囲にある。

表2の地層係数と透水係数の関係を図4に示した。山口に倣ってFh, Flの境界を表わすと大部分の点はこの境界内におさまる。資料が少なかったので粒径dmは記入していないが、図2と本図とは良く一致した傾向をしめしている。

地層係数と透水係数とを関係づけるには、地層の孔隙率の他に帯水層を構成する砂礫の形状や、その均等度が主要な因子となるとされている。しかしながら、狭い地域では砂礫の形状および均等度はあまり変らないものとして差支えない。そこで、秦野盆地内で電気検層の解析結果から透水係数を求める方法を試みた。

砂礫層の部分は一般に比抵抗が高く、ボーリング中で逸水または湧水した部分は高比抵抗部分と

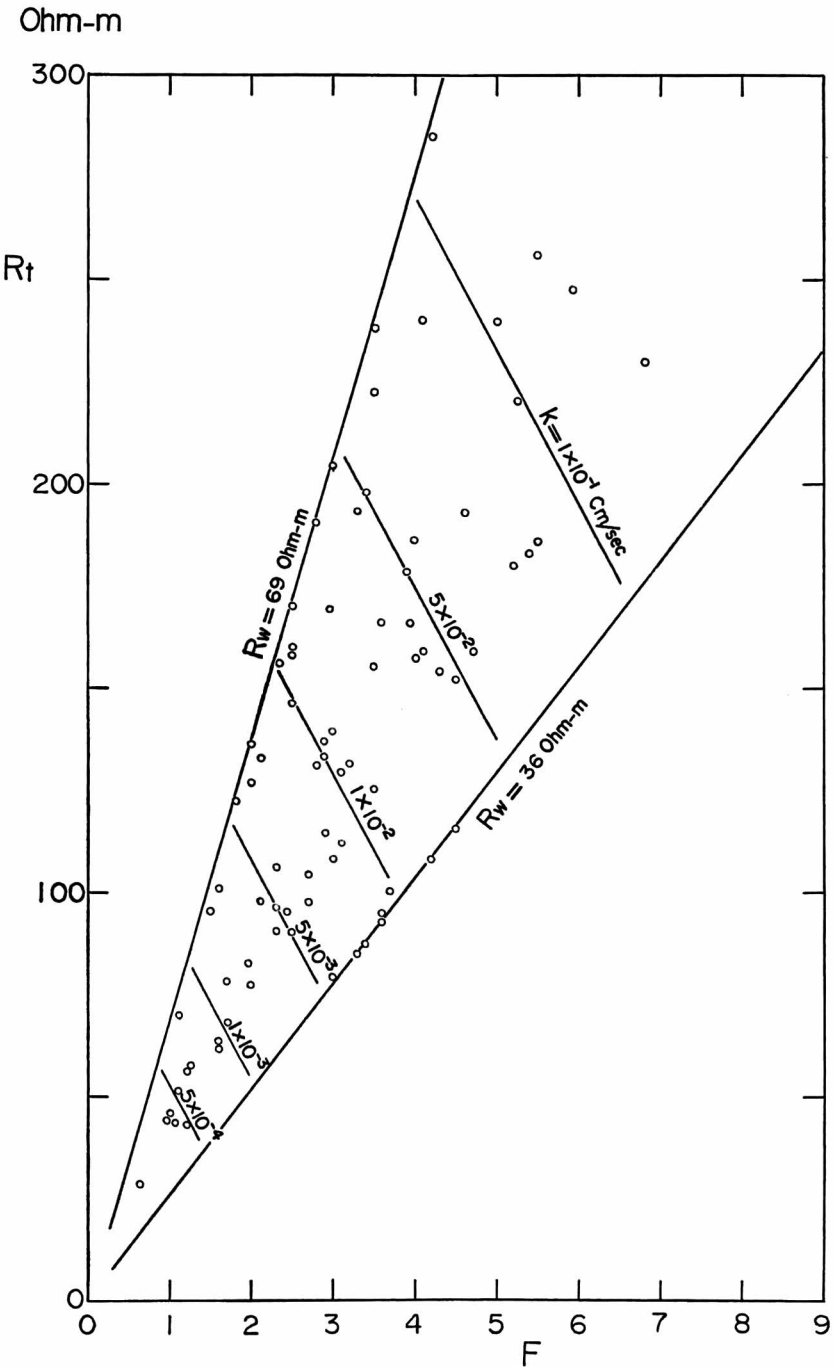


図5 秦野盆地の地層比抵抗・地層係数と透水係数の関係

良く対応している。また、高比抵抗部分は比較的地層係数も高い傾向がある。

図5に秦野盆地で得られた地層の真の比抵抗 R_t と地層係数の相関を示した。図の等透水係数線は表2の透水係数値を用いて描いたものである。電気検層によって砂礫層の R_t と F を求めておけば大略の K の値を図5によって求めることが出来る。

あ と が き

地層係数と地層の浸透率との関係は、古くは Archie (1942) によって試みられたが 良い相関を示さなかった。その後、Wyllie & Rose (1950) の研究があり、地層係数から浸透率を求めることが出来ることを示唆した。

山口 (1960, 1963, 1970) は、水井戸の電気検層の結果は帯水層の水利定数の算出に利用すべきであると提唱し、地層係数と湧水能、あるいは透水係数との関係など直接地下水の利用可能量と結びついた多くの研究を行なっている。

自然状態にある帯水層の水利的性質は、その帯水層を構成する砂礫粒子の形状・大きさ および配列状態などにも関係しているので、電気検層から一義的に水利定数を求めることは容易でない。しかしながら、特定の地域に限れば帯水層の構成状態は同じとみなすことが出来る。秦野盆地におけるように地層係数と透水係数との関係を図5のように求められる場合もある。

謝 辞

栗原藤次秦野市長をはじめ熊沢武雄水道局長、高橋宏光工務課長他秦野市職員の方々には調査や資料の収集に大変お世話になった。県内広域水道企業団金子康二部長、小幡康雄課長、穂積忠夫係長上田哲夫技師らには調査資料を参照する機会を与えて下さった。調査孔掘さく工事を請負ったダイヤコンサルタント荒木春視課長、小野僖夫係長他には現場の測定に際して特別な御配慮をいただいた。神奈川県衛生部清水利貞環境衛生課長、岩田義徳主任技師（現在小田原保健所温泉課長）、温泉研究所 久保田博管理課長、平賀士郎研究科長らには調査の計画および推進に御配慮をいただいた。温泉研究所 守矢正則氏には現場での測定に協力していただいた。上記の方々に厚く御礼申し上げます。この調査の費用は神奈川県衛生部温泉等調査費によった。関係者の皆様に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- G. E. Archie (1942), The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining some Reservoir Characteristics, Trans., AIME, 146, 54.
- M. R. J. Wyllie & W. D. Rose (1950), Some Theoretical Considerations Related to the Quantitative Evaluation of Physical Characteristics of Reservoir Rock, Trans., AIME, 189, 105.

大木靖衛, 小鷹滋郎, 小沢清, 横山尚秀, 長瀬和雄 (1971), 秦野盆地の水文地質, 神奈川温研報告, Vol. 2, No. 2, 31—55.

高橋宏光, 大木靖衛, 小鷹滋郎, 小沢清, 横山尚秀 (1970), 秦野水源井の地質柱状図と揚水資料, 神奈川温研報告, No. 12, 53—62.

山口久之助 (1960), 帯水層の地層比抵抗係数と水理定数との関係について, 物理探鉱, Vol. 13, No. 4, 194—206.

山口久之助 (1963), 鑿泉の電気検層法, 昭晃堂.

山口久之助 (1970), 帯水層の地層係数と湧水能との関係, 現代日本の地下水研究, 酒井軍治郎教授退官記念事業会.

横山尚秀, 平野富雄, 栗屋徹, 鈴木孝雄 (1971), 秦野盆地の地下水の水質について, 神奈川温研報告, Vol. 2, No. 2, 57—70.