

説明をしたが、本工法の長短を列記すれば次のとおりである。

長 所

- (1) 従以杭打として行われてきたハンマー打ちでは錐落高をとることができない場所でも応用することができる。
- (2) コンクリートパイルの径の大きいものも圧入できる。
- (3) 工事中騒音を発しない。
- (4) 今までの工法より杭を垂直に圧入できる。
- (5) ハンマー打のように杭に急激なしよう撃を与えないから杭を痛めることはない。
- (6) 水中杭打ができる。従つて仮締切の必要がない。
- (7) 工事中危険性が少ない。

短 所

(1) 水が豊富かつ自由に使用できる場所でなければならない。

(2) 廉出水の捨場を考慮せねばならない。
要するに本法の最大欠点は水を大量に使用せねばならぬことであり、このために利用範囲を著しく限定されている状態にあるが、もし将来何らかの方法によりこの欠点が除去されるならば、その利用は広範囲にわたり需要もまた大きいものと思われる。

V. 本工法適用の将来の見透し

上記のとおり杭打ちの特殊工法として試験並びに実施の結果から判断して、本工法を将来いかなる工事に応用し、その特長を發揮しうるかと言うことは面白い問題であると考えるので、ここにわれわれの見透しを述べて各位の御批判と御教示を仰ぎたいと思う。本工法の特長のおもなところは、土砂を含んだ水が sand pump 等の機械の内部や可動部を通過しないで吸い揚

げられ、しかも同時に切削等の他の作業を行なながら連続してその作業を行なうと言う点である。この特長を生かす仕事としてまず念頭に浮ぶのは水中作業で土砂を排出する仕事である。その代表的なものとしては井筒沈下にこれを利用することである。対象となる地質が粒度の大きな砂礫の場合には従来から利用されているガットミルやオレンヂピール等が有効に働きうるが細砂、粒土、またはシルト等の場合はその効率が低下して工法としての適性に疑いがある。しかしながら、この場合本工法によれば井筒内の土砂の排出は容易に効率よく行なうとした前述の経験から、相当締つた粘土層をも water jet の併用によつて切り崩しつつ排出しうることが明らかになつたので、その利用範囲が拡大されるものと考える。またこれと同様の意味でダム前面に沈殿した土砂等の取除きに本工法を利用することを水力発電関係技術者によつて御研究を願いたいと考える。

防潮堤等の建設工事で海岸の締切工内で広範囲にわたつてその内側の土砂を排出して根据を行う等の場合には、water injection の装置を一体とし手軽に移動しうるような装置とすることを考察してその根据に利用すれば、相当経済的かつ能率的な効果を挙げうるものと思われる。その他上記に類する工事に応用すれば面白い結果がえられるのではないか。

本工法は未完成でありますのでその実施の経験も至つて貧弱なもので、報告として各位の御高覧に供することは恥かしい次第であるが、将以本工法が研究と経験をへて、より広いより経済的な工事方法となりうることを期待し、今後もその研究をつづけたいと考えるのであえて此處に拙文を綴つて大方の御批判と御教示を御願いする次第である。

(昭 28.6.14)

電気的類似法の被圧地下水への応用

准員 石原 安雄*
准員 湯浅 博明**

APPLICATION OF ELECTRICAL ANALOG METHOD TO CONFINED FLOW OF GROUND WATER

(JSCE Oct. 1954)

Yasuo Ishihara, C.E. Assoc. Member and Hiroaki Yuasa, C.E. Assoc. Member

Syopsis The electrical or electronic analog methods have been actively utilized to analyse many complex and important phenomena. In this paper, a procedure to apply this method to the confined flow of ground water was discussed. Both results obtained electrically and theoretically were compared with each other, referring to the records of field tests, and it was found that the accuracy of computation by this analog circuit was sufficiently high. Some application of this circuit were discussed.

* 京都大学講師 工学部土木教室

** 京都大学助手 工学部土木教室

要旨 多くの複雑かつ重要な現象を解明するためには、電気的類似法が盛んに利用されている。本論文においては、これを被圧地下水へ応用する方法について述べた後、模擬電気回路を試作し、それによつて得られた結果と理論結果とを実測値を参照して比較検討した。その結果、模擬回路による計算の精度が充分高いものであることがわかつた。さらに、この電気回路を他の被圧地下水へ応用する方法について述べたものである。

1. 緒 言

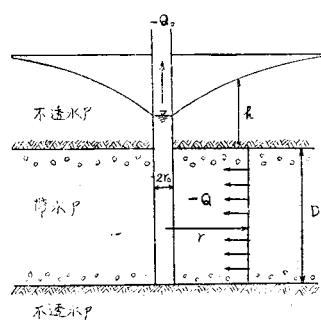
水理学的問題において、数学的解決が困難な場合、あるいは数学的には解決できても数値計算に多大の労力と時間を要する場合が少なくない。したがつて何等かの方法によつて問題が正確でかつ容易に解決できるならば、研究上、実用上きわめて有意義であろう。その一つの方法として、ある物理系を電気系に対応させ、物理系の問題を電気系の問題として、物理現象を解明しようとするいわゆる電気的類似法がある。最近この方法を水理学上の問題に利用しようとする研究が盛んに行われているが^{1), 2), 3)}、本論文はこのような電気的類似法を被压地下水へ応用したものである。

さて、一般の被圧地下水に関する理論では、帶水層の厚さが一定で、かつ、ほぼ均一な砂礫からできていると仮定しいるが、自然の帶水層はこのように単純なものではなく、非常に複雑な形状をしているものと考えられる。したがつて、これを厳密に取り扱うことがきわめて困難な場合が多い。また比較的単純な場合でも、境界条件によつては数学的解明が困難な場合もある。しかし、このような場合でも上述の電気的類似法によれば、比較的容易に解明することができると考えられるが、ここではまず第一段階として、一様な帶水層でその圧縮を考慮した場合の普通の被圧地下水の問題を取り扱うこととする。

2. 被压地下水の理論

図-1 のように水平な帶水層があるて、その厚さを D 、空隙率を n 、滲透係数を k 、水及び砂粒層の圧縮率をそれぞれ ϵ_1 及び ϵ_2 、また上下の不透水層が帶水層内の水圧の変化によつて変形し、そのための帶水層 D

1



の圧縮率を κ とし、これらのすべての値は井戸の軸のまわりに対称であると仮定する。さらに、井戸の中心より距離 r における水頭を、帶水層の上面から測つて h 、半径 r なる円筒面を通つて半径方向に向う流量を Q とすると、周知のようにつぎの 2 式が成立する¹⁾。

運動の方程式

$$Q = -2\pi r D \cdot k \frac{\partial h}{\partial r} \dots \dots \dots \quad (1)$$

連続の方程式；

ここに、 ρ は水の密度、 g は重力の加速度、 t は時間であつて、 $K = \rho g \{n \kappa_1 + (1-n) \kappa_2 + \kappa_3\}$ である。なお一般に $KD = S$ は貯水係数と呼ばれている。

つぎにこれらの方程式を解く条件として、ある時刻 $t=0$ から急に一定量 Q_0 の揚水または注水を行う場合を考え（注水の場合を正とする），任意時刻 t における井戸の水位を h_t として，

初期条件 ; $t = 0$ のとき、

境界条件 ; $r=r_0$, $t>0$ で,

$r=1$, あるいは $r \rightarrow \infty$ で

を用いることとする。ここに、 r_0 は井戸の半径である。

が得られる。(6) 式は円筒内における熱伝導の問題の場合と全く同形の偏微分方程式である。熱伝導の問題として、(6) 式の電気的模擬についてはいろいろ研究されている⁵⁾。

流体量と電気量との対応をつぎのように仮定する。

$$\left. \begin{array}{l} \text{流体量} = \text{電氣量} \\ \text{t (水頭)} = \alpha v \text{ (電圧)} \\ \text{(時間)} = \beta z \text{ (時間)} \\ r \text{ (距離)} = \gamma x \text{ (距離)} \\ Q \text{ (流量)} = \delta i \text{ (電流)} \end{array} \right\} \quad (7)$$

ここに、 α, β, x および δ は交換係数である。

(7) 式を (1) および (2) 式に用いると、

$$\delta i = -2\pi D \cdot k \cdot r x \cdot \frac{\alpha}{r} \frac{\partial v}{\partial x}$$

$$\frac{\delta}{r} \frac{\partial i}{\partial x} = -2\pi D \cdot K \cdot r x \cdot \frac{\alpha}{\beta} \frac{\partial v}{\partial r}$$

が得られる、さらに、

$$R = \frac{1}{2\pi D k} \cdot \frac{\delta}{\alpha} \cdot \frac{1}{x}, C = 2\pi D K \frac{\alpha r^2}{\beta \delta} \cdot x \quad \dots \dots \dots (8)$$

とおき、上式を書きなおすとつぎの 2 式が得られる。

$$-\frac{\partial v}{\partial x} = R i \quad \dots \dots \dots (9)$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = C \frac{\partial v}{\partial r} \quad \dots \dots \dots (10)$$

(9) および (10) 式は、単位長当たりの抵抗が R 、静電容量が C であるようないわゆる CR ケーブルに対する偏微分方程式を表わしている。

つぎに、(7) 式を (3), (4) および (5) 式に代入すると、電気系における条件としてつぎの関係が得られる。

初期条件 : $r=0$ のとき、

$$v=v_c \equiv \text{const.} \quad \dots \dots \dots (11)$$

境界条件 : $x=x_0$, $r>0$ で、

$$i_0 = (i)_{x=x_0} + \pi x_0^2 \frac{\alpha r^2}{\beta \delta} \frac{dv_0}{dr} \quad \dots \dots \dots (12)$$

$x=X$ 、あるいは $x \rightarrow \infty$ で、

$$v=v_c \equiv \text{const.} \quad \dots \dots \dots (13)$$

ここに、 $x_0=r_c/r$, $i_0=Q_0/\delta$, $v_0=h_0/\alpha$, $X=l/r$ である。

これらの条件のうちで (11) および (13) 式で示されるものは問題はないが、(12) 式で示される条件については、

$$C_0 = \pi x_0^2 \frac{\alpha r^2}{\beta \delta} \quad \dots \dots \dots (14)$$

とおくと次のように書きあらためられる。

$$i_0 = (i)_{x=x_0} + C_0 \frac{dv_0}{dr} \quad \dots \dots \dots (15)$$

これは図-2 に示されているように、ケーブルの一端 ($x=x_0$) に静電容量 C_0 のコンデンサーを挿入することによつて満足できる。

図-2

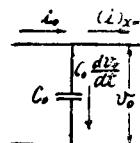
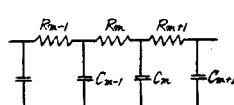


図-3



4. 模擬回路の設計

電気回路を設計する基礎となる (9) および (10) 式は、 i および v についての偏微分方程式であり、このままで回路を実現することが困難である。そこで i

についてはそのままとし、 x についてのみ適当な距離で区切つて多くのブロックに分け*、図-3 で示したような回路を採用した。したがつて R_m , C_m の値は各ブロックが代表する区間全体の値を採用しなければならない。

いま、 R_m が代表する区間を x_{m-1} から x_m までとする、(8) 式より。

$$R_m = \frac{1}{2\pi D k} \cdot \frac{\delta}{\alpha} \int_{x_{m-1}}^{x_m} \frac{dx}{x} \\ = \frac{1}{2\pi D k} \cdot \frac{\delta}{\alpha} \ln \frac{x_m}{x_{m-1}} \quad \dots \dots \dots (16)$$

流体量で表わすと、

$$R_m = \frac{1}{2\pi D k} \cdot \frac{\delta}{\alpha} \ln \frac{r_m}{r_{m-1}} \quad \dots \dots \dots (16)'$$

同様に、 C_m についてはその代表する区間を x_m' から x_{m+1}' までとすると、

$$C_m = \pi D K \frac{\alpha r^2}{\beta \delta} (x_{m'}'^2 - x_{m-1}'^2) \quad \dots \dots \dots (17)$$

さらに流体量で表わすと、

$$C_m = \pi D K \frac{\alpha}{\beta \delta} (r_{m'}'^2 - r_{m-1}'^2) \quad \dots \dots \dots (17)'$$

また、(14) 式を流体量で書くとつぎのようになる。

$$C_0 = \pi r_0^2 \frac{\alpha}{\beta \delta} \quad \dots \dots \dots (14)'$$

以上で回路の設計に必要な諸関係が求められた。すなわち、まず流体系におけるいくらの距離を電気系の単位長に当てるかによつて r が決定される。この場合、(14)', (16)' および (17)' 式を用いるときには、これらの式には r が入つていないから、電気系の各ブロックが代表する流体系の距離を仮定してもよい。つぎに模擬回路における演算を Slow type にするか Fast type にするか、また入力装置、記録装置等を考慮して t と r の対応を定め β を決定する。 α および δ については、(14), (16) および (17) 式には α/δ という形で入つているので、まず α/δ の値を適当に仮定して、これらの式から計算される C_0 , R_m および C_m が電気的に容易に実現できる値となるようにし、かかる後、 α または δ のいずれか一方を測定に都合がよいように定めればよい。

このようにして、流体系の k, K, D および r が与えられれば、模擬回路を設計することができるが、 R_m, C_m を回路のいかなる位置に挿入するかという問題がある。このことについては、 R_m および C_m をいろいろの位置に挿入して実験を行い、その結果と理論値を比較して最も精度のよいものを見出すべきであ

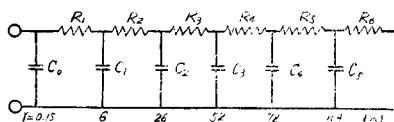
* 各ブロックが代表する距離は必ずしも等しくする必要はない。

るが、ここでは円筒内の熱伝導に関する Paschkis and Heisler⁵⁾ の研究に従い、抵抗をその代表する区間の中間に、コンデンサーを区間の中央におくこととした。

つぎに上述の方法によつて模擬回路を試作した一例について述べる。京都大学速水教授等が大阪市十三において行つた揚水試験⁶⁾ の結果を用いたが、以下に所要の数値を列挙する。

井戸の半径 : $r_0 = 15 \text{ cm}$, 水位観測地点 : $r = 52.2 \text{ m}$, 揚水量 : $Q_0 = -1.87 \times 10^4 \text{ cm}^3/\text{s}$, 帯水層の厚さ : $D = 12.1 \text{ m}$, 渗透係数 : $k = 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$, $K = S/D = 2.025 \times 10^{-6}$ (C.G.S.)

図-4



抵抗およびコンデンサーを図-4に示す位置に挿入することとし、 $\beta = 10^\circ$ に選ぶと、表-1のよう抵抗およびコンデンサーの値が求められる。なお、この場合は $a/\delta = 9.6 \times 10^{-6}$ である。表-1に示されている抵抗およびコンデンサーは容易に実現することができる。

表-1 模擬回路の抵抗およびコンデンサー

井戸直径[m]	水深[m]	帯水層厚さ[m]	コンデンサー	コンデンサーの値[μF]
0.15~6	100.97	0.45~1.3	0.00125	6
6~26	49.17	13~39	0.01	26
26~52	13.39	39~65	0.02	52
52~78	3.95	65~91	0.03	78
78~104	0.91	91~117	0.04	104
104~130	0.23	117~143	0.05	130
130~156	0.05	143~169	0.06	156
156~182	0.01	169~195	0.07	182
182~208	0.002	195~221	0.08	208
208~234	0.001	221~247	0.09	234
234~260	0.0005	247~273	0.1	260
260~286	0.0001	273~298	1.0	286
286~312	0.00005	298~324	5.58	312
312~338	0.00001	324~358	20	338
338~364	0.000005	358~384	55.8	364
364~390	0.000001	384~406	40	390
406~432	0.0000005	406~432	80	432
432~458	0.0000001	432~458	162	458
458~484	0.00000005	458~484	320	484
484~510	0.00000001	484~510	640	510
510~536	0.000000005	510~536	1280	536
536~562	0.000000001	536~562	2560	562
562~588	0.0000000005	562~588	5120	588
588~614	0.0000000001	588~614	10240	614
614~640	0.00000000005	614~640	20480	640
640~666	0.00000000001	640~666	40960	666
666~692	0.000000000005	666~692	81920	692
692~718	0.000000000001	692~718	163840	718
718~744	0.0000000000005	718~744	327680	744
744~770	0.0000000000001	744~770	655360	770
770~796	0.00000000000005	770~796	1310720	796
796~822	0.00000000000001	796~822	2621440	822
822~848	0.000000000000005	822~848	5242880	848
848~874	0.000000000000001	848~874	10485760	874
874~900	0.0000000000000005	874~900	20971520	900
900~926	0.0000000000000001	900~926	41943040	926
926~952	0.00000000000000005	926~952	83886080	952
952~978	0.0000000000000001	952~978	167772160	978
978~994	0.00000000000000005	978~994	335544320	994
994~1010	0.0000000000000001	994~1010	671088640	1010
1010~1026	0.00000000000000005	1010~1026	1342177280	1026
1026~1042	0.0000000000000001	1026~1042	2684354560	1042
1042~1058	0.00000000000000005	1042~1058	5368709120	1058
1058~1074	0.0000000000000001	1058~1074	10737418240	1074
1074~1090	0.00000000000000005	1074~1090	21474836480	1090
1090~1106	0.0000000000000001	1090~1106	42949672960	1106
1106~1122	0.00000000000000005	1106~1122	85899345920	1122
1122~1138	0.0000000000000001	1122~1138	171798691840	1138
1138~1154	0.00000000000000005	1138~1154	343597383680	1154
1154~1170	0.0000000000000001	1154~1170	687194767360	1170
1170~1186	0.00000000000000005	1170~1186	1374389534720	1186
1186~1202	0.0000000000000001	1186~1202	2748779069440	1202
1202~1218	0.00000000000000005	1202~1218	5497558138880	1218
1218~1234	0.0000000000000001	1218~1234	10995116277760	1234
1234~1250	0.00000000000000005	1234~1250	21990232555520	1250
1250~1266	0.0000000000000001	1250~1266	43980465111040	1266
1266~1282	0.00000000000000005	1266~1282	87960930222080	1282
1282~1298	0.0000000000000001	1282~1298	175921860444160	1298
1298~1314	0.00000000000000005	1298~1314	351843720888320	1314
1314~1330	0.0000000000000001	1314~1330	703687441776640	1330
1330~1346	0.00000000000000005	1330~1346	1407374883553280	1346
1346~1362	0.0000000000000001	1346~1362	2814749767106560	1362
1362~1378	0.00000000000000005	1362~1378	5629499534213120	1378
1378~1394	0.0000000000000001	1378~1394	11258999068426240	1394
1394~1410	0.00000000000000005	1394~1410	22517998136852480	1410
1410~1426	0.0000000000000001	1410~1426	45035996273704960	1426
1426~1442	0.00000000000000005	1426~1442	90071992547409920	1442
1442~1458	0.0000000000000001	1442~1458	180143985094819840	1458
1458~1474	0.00000000000000005	1458~1474	360287970189639680	1474
1474~1490	0.0000000000000001	1474~1490	720575940379279360	1490
1490~1506	0.00000000000000005	1490~1506	1441151880758558720	1506
1506~1522	0.0000000000000001	1506~1522	2882303761517117440	1522
1522~1538	0.00000000000000005	1522~1538	5764607523034234880	1538
1538~1554	0.0000000000000001	1538~1554	1152921504606846960	1554
1554~1570	0.00000000000000005	1554~1570	2305843009213693920	1570
1570~1586	0.0000000000000001	1570~1586	4611686018427387840	1586
1586~1602	0.00000000000000005	1586~1602	9223372036854775680	1602
1602~1618	0.0000000000000001	1602~1618	18446744073709551360	1618
1618~1634	0.00000000000000005	1618~1634	36893488147419102720	1634
1634~1650	0.0000000000000001	1634~1650	73786976294838205440	1650
1650~1666	0.00000000000000005	1650~1666	147573952589676410880	1666
1666~1682	0.0000000000000001	1666~1682	295147905179352821760	1682
1682~1698	0.00000000000000005	1682~1698	590295810358705643520	1698
1698~1714	0.0000000000000001	1698~1714	1180591620717411287040	1714
1714~1730	0.00000000000000005	1714~1730	2361183241434822574080	1730
1730~1746	0.0000000000000001	1730~1746	4722366482869645148160	1746
1746~1762	0.00000000000000005	1746~1762	9444732965739290296320	1762
1762~1778	0.0000000000000001	1762~1778	18889465931478580592640	1778
1778~1794	0.00000000000000005	1778~1794	37778931862957161185280	1794
1794~1810	0.0000000000000001	1794~1810	75557863725914322370560	1810
1810~1826	0.00000000000000005	1810~1826	151115727451828644741120	1826
1826~1842	0.0000000000000001	1826~1842	302231454903657289482240	1842
1842~1858	0.00000000000000005	1842~1858	604462909807314578964480	1858
1858~1874	0.0000000000000001	1858~1874	1208925819614629157928960	1874
1874~1890	0.00000000000000005	1874~1890	2417851639229258315857920	1890
1890~1906	0.0000000000000001	1890~1906	4835703278458516631715840	1906
1906~1922	0.00000000000000005	1906~1922	9671406556917033263431680	1922
1922~1938	0.0000000000000001	1922~1938	19342813113834066526863360	1938
1938~1954	0.00000000000000005	1938~1954	38685626227668133053726720	1954
1954~1970	0.0000000000000001	1954~1970	77371252455336266107453440	1970
1970~1986	0.00000000000000005	1970~1986	15474250491067253221490680	1986
1986~2002	0.0000000000000001	1986~2002	30948500982134506442981360	2002
2002~2018	0.00000000000000005	2002~2018	61897001964269012885962720	2018
2018~2034	0.0000000000000001	2018~2034	123794003928538025771925440	2034
2034~2050	0.00000000000000005	2034~2050	247588007857076051543850880	2050
2050~2066	0.0000000000000001	2050~2066	495176015714152103087701760	2066
2066~2082	0.00000000000000005	2066~2082	990352031428304206175403520	2082
2082~2098	0.0000000000000001	2082~2098	1980704062856608412350807040	2098
2098~2114	0.00000000000000005	2098~2114	3961408125713216824701614080	2114
2114~2130	0.0000000000000001	2114~2130	7922816251426433649403228160	2130
2130~2146	0.00000000000000005	2130~2146	15845632528852867298806456320	2146
2146~2162	0.0000000000000001	2146~2162	31691265057705734597612912640	2162
2162~2178	0.00000000000000005	2162~2178	63382530115411469195225825280	2178
2178~2194	0.0000000000000001	2178~2194	12676506023082293838445650560	2194
2194~2210	0.00000000000000005	2194~2210	25353012046164587676891301120	2210
2210~2226	0.0000000000000001	2210~2226	50706024092329175353782602240	2226
2226~2242	0.00000000000000005	2226~2242	101412048184658350707565204480	2242
2242~2258	0.0000000000000001	2242~2258	202824096369316701415130408960	2258
2258~2274	0.00000000000000005	2258~2274	405648192738633402830260817920	2274
2274~2290	0.0000000000000001	2274~2290	811296385477266805660521635840	2290
2290~2306	0.00000000000000005	2290~2306	1622592770954534011321043271680	2306
2306~2322	0.0000000000000001	2306~2322	3245185541909068022642086543360	2322
2322~2338	0.00000000000000005	2322~2338	6490371083818136045284173086720	2338
2338~2354	0.0000000000000001	2338~2354	12980742167636272090563546173440	2354
2354~2370	0.00000000000000005	2354~2370	25961484335272544181127092346880	2370
2370~2386	0.0000000000000001	2370~2386	51922968670545088362254184693760	2386
2386~2402	0.00000000000000005	2386~2402	103845937341090176724503689387360	2402
2402~2418	0.0000000000000001	2402~2418	207691874682180353449007378774720	2418
2418~2434	0.00000000000000005	2418~2434	415383749364360706898014755549440	2434
2434~2450	0.0000000000000001	2434~2450	830767498728721413796029511098880	2450
2450~2466	0.00000000000000005	2450~2466	1661534997457442827592059022197760	2466
2466~2482	0.0000000000000001	2466~2482	3323069994914885655184118044395520	2482
2482~2498	0.00000000000000005	2482~2498	6646139989829771310368236088791040	2498
2498~2514	0.0000000000000001	2498~2514	13292279979659542620736472177822080	2514
2514~2530	0.00000000000000005	2514~2530	26	

が v_1 を与える), 急に電源を切ることによつて(このときの電圧変化が v_2 を与える), 容易に実現することができる。なおこの場合に正の電圧を加えたならば, 電圧および電流の極性を普通の場合とは逆に考えればよい。つぎに, 電圧と水頭の変換は前述したように, 変換係数 α を用いればよい。

以上述べた方法によつて、表-1に示した回路について演算を行つた一例を図-5の白丸で示した。図中実線は速水教授の示された理論値^①で、黒丸は実測値であり、三者は全くよく一致している。なお記録装置としては 100 c/s まで一様な振動特性をもつ電磁オシログラフを用いた。

6. 模擬回路の応用

このような模擬回路を用いて実測値から K の値を推定する方法について述べる。

(1) K が時間とともに変化する場合 井戸による貯溜の効果が大きい場合には解析しにくいが、その効果が無視できる場合には、ある一定値 K_1 に対して、上述の方法によつて計算された水頭を H_1 、時間の変数を θ とする。この解と実測値を比較し、時刻 t における実測値 H と一致する H_1 に対応する時刻 θ を各時刻について求めると t と θ の関係が得られる。しかるときは、

なる関係から K と t の関係が求められる⁽⁶⁾。

(2) K が一定の場合 井戸による貯溜の効果を無視すると、(1) の場合と同様にして、 K の値が求められる。もちろんこの場合には t と θ の関係は直線となる。

つぎに3.で述べた模擬回路を用いて、速水教授等の尾崎における揚水試験の結果¹⁾より K の値を推定した例について述べよう。報告によると、 $k = 1.04 \times 10^{-3}$ m/s、 $\gamma = 10$ m、水位観測地点 $r = 90$ m である。したがつて前例の場合とはすべての流体量の値が異なつてゐる。そこで、井戸による貯溜の効果が無視できるものと仮定し、 K の値がわかつたとして模擬回路が設計できたとする。この仮想された回路が5.で述べた回路と全く同じ結果を与えるためには、(16)および(17)式より、次の関係を満足しなければならない。

$$\frac{1}{kD} \cdot \frac{\delta}{\alpha} = \frac{1}{k'D'} \cdot \frac{\delta'}{\alpha'}, \quad KD \frac{\alpha r^2}{\beta \delta} = K'D' \frac{\alpha' r'^2}{\beta' \delta'}$$

ここに、 λ を付した量は假想した回路に対するものである。この 2 式より次の関係式が得られる。

$$K' = K \cdot \frac{k'}{k} \cdot \frac{\beta'}{\beta} \left(\frac{r}{r'} \right)^2 \dots \dots \dots \quad (23)$$

すなわち、 r' および β' がわかれば K' の値が計算

できる。なお、前述の t と θ が直線的関係にあるということは時間の変換係数 β の値が変わったことに対応している。

さて、図-4の c_3 の点で記録をとつて、いまの場合の K' を推定することとすると $r'/r = 1.731$ となる。この記録と実測記録が全く一致するような時間の交換係数を求めた結果 $\beta' = 9.1 \times 10^4$ を得た。よつて(23)式より K' を計算すると $K' = 1.28 \times 10^{-6}$ (C.G.S)をうる。この値は同報告書に記されている $K' = 1.28 \times 10^{-6}$ (C.G.S)と全く一致している。

7. 結 語

以上被圧地下水の問題を電気的模擬法によつて解析する方法および模擬回路を用いて K の値を推定する方法について述べた。得られた結果を列記すると、

1. 有限な領域内の被圧地下水の現象は完全に電気的に模擬することができる。

2. 無限の領域の場合には影響圏の概念を導入することによって実用的範囲において、充分な精度を有する模擬電気回路を試作した。

3. 試作した電気回路を用いて、揚水試験の結果より K の値を推定することができた。

地下水の問題において、本例のように線型の場合でも電気的摸擬法が有効であることがわかつたが、さらに非線型の場合について目下研究中である。

終りに、本研究に際して始終御指導を頂いた京都大学教授石原藤次郎博士に厚く謝意を表する。

参考文献

- 1) R.E. Glycer, D.J. Hebert and C.R. Daum : Solution of an hydraulic problem by analog-computer, Proc. A.S.C.E., Vol.78, June, 1952, Separate No.134.
 - 2) M.A. Kohler : Application of electronic flow routing analog, Proc. A.S.C.E., Vol.78, June, 1952, Separate No.135
 - 3) M.S. McIlroy : Nonlinear electrical analogy for pipe network, Proc. A.S.C.E., Vol.78, July, 1952, Separate No.187
 - 4) 野満隆治・山下 翳：井戸理論の一進展（第2報），地球物理，第7巻第1号，昭和18年6月，pp. 21～40
 - 5) V. Paschkis and M.P. Heisler : The accuracy of lumping in an electric circuit representing heat flow in cylindrical and spherical bodies, Journal of Applied Physics, Vol.17, April, 1946, p.p. 246～254.
 - 6) 速水頌一郎・国司秀明：大阪市及び尼崎市の地下水変動と地盤沈下の研究（II），大阪湾港湾技術調査会第1部会，昭和28年6月
 - 7) 速水頌一郎・足立昭平：同上(III)，昭和28年6月

(昭.29.6.15)