

徳島大学工学部 正員 〇小田英一

〃 〃 瀬川浩司

1. まえがき

地下水面の低下は、(1)取水によって表流水面が低下しないとしたときの低下と、(2)取水によっておこる表流水面の低下にともなう低下と、を重ねたものとし、ここでは(1)についてみる。実験を可能とするために、つぎの条件を仮定した。(1)地下水面と表流水面は一致している。(2)水面勾配(1.2/1000)は零とみなす。(3)透水層の厚さ、および透水係数は堤内、堤外ともに同じである。実験は、二つにわかれている。(1)表流水から取水するとし、予定量の取水に必要な水頭差(水面下の河床と集水管との間の)を求める実験と(2)地下水位低下の分布を求める実験とである。

2. 取水に必要な水頭差を求める実験

i) 電気相似法(三次元)

ii) 浸透流場において、つぎの記号を用いると、

i ; 流入面における水頭勾配, k ; 透水係数
 S ; 流入面積, h' ; 流入面・流出面間の水頭差

$$\frac{Q}{kA'} = - \frac{\int_S i \cdot ds}{h'} \quad (1)$$

Q は流量である。

iii) 電流場において、つぎの記号を用いると

E ; 流入電極面上の電場の強さ
 S ; 流入電極面積, ρ ; 電導体の比抵抗
 φ ; 流入電極・流出電極間の電位差
 r ; 〃 〃 の抵抗

$$\frac{\rho}{r} = - \frac{\int_S E \cdot ds}{\varphi} \quad (2)$$

iv) 相似性

透水体と、これの流入面・流出面に相似形であり、大きさを等しくする二電極間の相似形電導体との間には、式(1)(2)の右辺において、つぎの対応がある。

$$i \longleftrightarrow E, \quad k' \longleftrightarrow \rho$$

したがって、 $k' = n \rho$ (n は定数) とすれば、 $i = n E$ となり、式(1)(2)の右辺は等しくなり、

$$\frac{Q}{kA'} = \frac{\rho}{r} \quad (3)$$

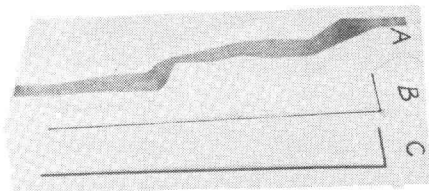
となる。式(3)は長さの元をもつから、透水体と相似形の縮尺 δ の電導体模型において求めた ρ/r を用いるときには、次式が成立つ。

$$\frac{Q}{kA'} = \frac{\rho}{r} \cdot \frac{1}{\delta} \quad (4)$$

2) 模型

表流水から取水するとし、水面下の河床と集水管との間の水頭差を求めるための模型を作った。縮尺は 1/1300 とし、電導体としては寒天を用いた。写真の A は〔表流水面下の河床形をした〕電極である。河床の形は放物線に近いが、これを L 形とみなし、また水深は一定ではないが平均水深を求めて一定とみなし、銅板を用いて電極を作った。B は集水管用電極(銅線)である。C は集水管よりのフィルターに対応する寒天を流しこむための型枠である。

写真



集水管周りのフィルターは図-1の(a)のようであるが、これを(b)のように同心円でありとみなして放射状透水に対する平均透水係数を次式より求め、フィルターの平均透水係数とした。

$$k_v = \log(k_n/k_0) / \sum_{i=1}^n \{ \log(k_n/k_{ni}) / k_{ni} \}$$

透水層の透水係数を k_0 とすると、 $k_v/k_0 = 9$ となった。透水体が不均一な場合の電導体模型を作るには各部分の比電導度（比抵抗の逆数）を透水係数に比例させればよいから、フィルタ一部の寒天の比電導度が透水管に対応する寒天の比電導度の9倍となるように、食塩を添加した。

3) 測定装置

図-2に示す装置において、ブラウン管オシロの光像の鉛直振幅が零となるように、可変コンデンサー V_c および可変抵抗 R_2 を調節すると、次式が成立し ρ/r が求まる。

$$\frac{\rho}{r} = \frac{R_2}{R_1}$$

比抵抗用液槽には、模型に用いた寒天と同じものを入れた。

4) 測定結果

$\rho/r = 4.2$ がえられたので、これを式(4)に入れると、

$$k' = \frac{Q \cdot \delta}{\frac{\rho}{r} \cdot k} = 4.3 \text{ (cm)}$$

がえられた。

図-1

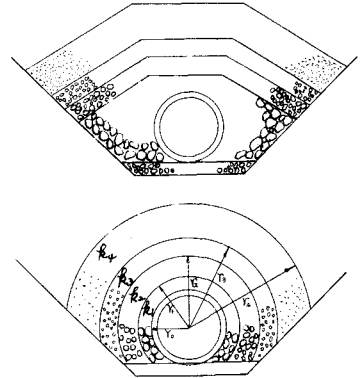
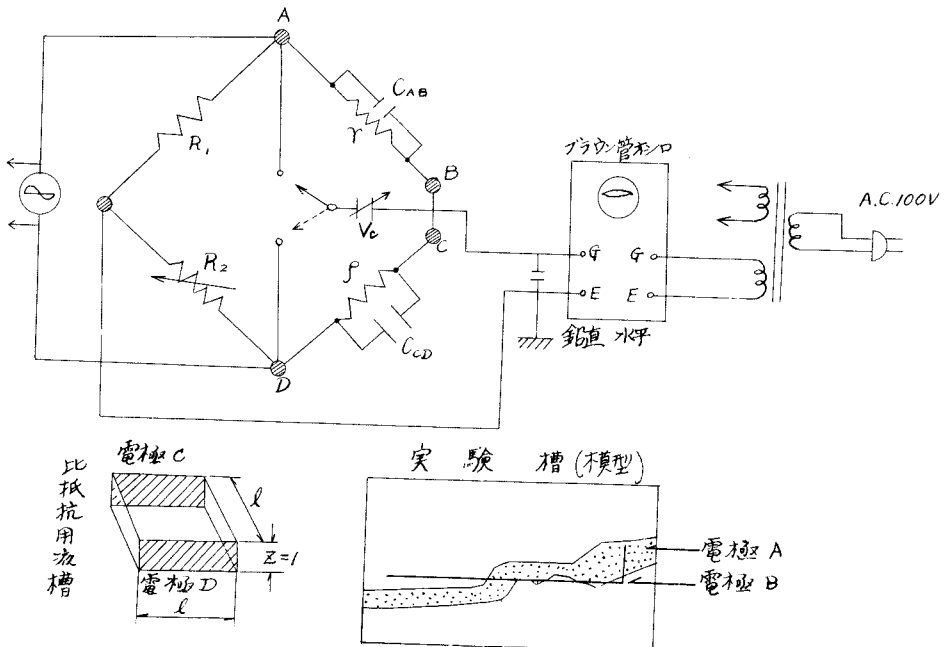


図-2 ρ/r 測定回路図



3. 地下水位低下の分布を求める実験

1) 電気相似法(二次元)

i) ゆるやかな自由水面をもつ地下水の理論²⁾
 水平な不透水層上で二次元的に流れる地下水の運動において、水面勾配がゆるく鉛直方向の速度成分を無視できる場合には透水性係数が一定であれば

$$\frac{\partial^2 (h^2)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (h^2)}{\partial y^2} = 0$$

したがって不透水層から自由水面までの水位が成立つ。

ii) 電流場において、電位を φ とすると、

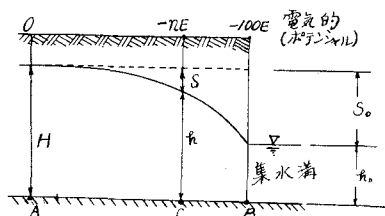
$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0$$

が成立つ。

iii) 相似性

環流場と相似形の電流場模型をつくらば h^2 の分布と φ の分布とが対応する。集水管を集水溝とみなすと、取水に必要な水頭差 h は図-3の S_0 に等しい。求めようとするのは地下水位の低下量 S であるから、模型において与える電位を図-3のように定めると、

図-3



A, B間の電位差は、

$$\begin{aligned} 100E &= H^2 - h_0^2 \\ &= H^2 - (H - S_0)^2 \\ &= (2H - S_0)S_0 \end{aligned} \quad (5)$$

となる。

また、A, C間の電位差は

$$\begin{aligned} nE &= H^2 - h^2 \\ &= H^2 - (H - S)^2 \\ &= (2H - S)S \end{aligned} \quad (6)$$

となり、式(5)、(6)より

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{n}{100} (2H - S_0) S_0} \quad (7)$$

がえられる。

したがって、電位低下 n の分布を求めると、式(7)より、地下水位低下量 S およびその分布が求まることになる。

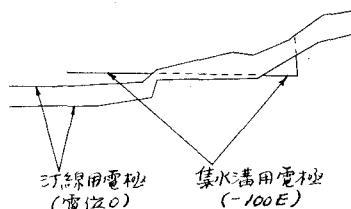
2) 模型

縮尺は $1/10000$ とし、電導体としては水道水を使った。

集水管を集水溝とみなし、地下水位低下の分布を求めることにすると、表流水の河線においては水位低下は零であり、集水溝において水位低下 $S_0 = h$ であるから、電導体模型の電極と、それに与える電位は図-4のようになる。

河線は銅板で作った電極とし、流路内には集水管部分を集水溝とみなして、銅板で作った電極とした。河線用電極と集水管用電極とがショートしないように、接触部分にうすいビニール板のり片を入れた。

図-4



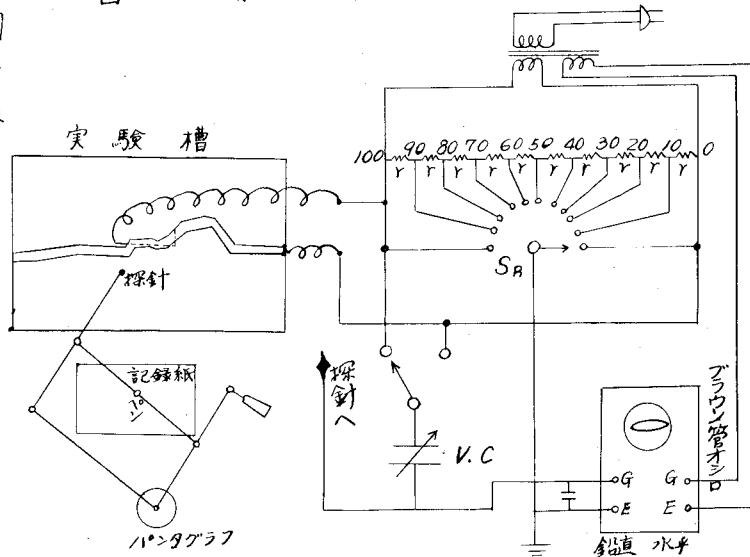
3) 測定装置

図-5に示す装置のスイッチ S_R を n ($=10, 20, \dots, 90$) にまわし、オシロの光像の鉛直幅が零となる矢の軌跡を記録紙上に描くと、電位低下 $n\%$ の等電位線が求まる。したがって、式(7)より地下水位低下量 S の線が求まる。

4) 測定結果

上記のようにして求めた地下水位低下の分布図が図-6である。左岸堤内において最大2/7cm、右岸堤内において最大1/7cmの低下となっている。

図-5 等ポテンシール線作図時の接続図



4. おまけ

実験を可能とするために若干の仮定をおいたが、精度はおさたけれども、電気相似模型実験によって河床下の集水管よりの取水による周辺地下水位の低下を求めることができた。

図-6 地下水位低下の分布 (単位はcm)

文献

1) 瀬川浩司;

河床下の電気相似法について
土木学会第16回講演会概要
第1巻B, P53

2) 物部長穂;

水理学, 岩波書店, 昭和29年,
P470

