

滲透水流の電氣的計測について

准員 丹 羽 義 次*

ON THE ELECTRIC MEASUREMENT OF SEEPAGE

(JSCE July 1950)

Yoshiji Niwa, C.E. Assoc. Member.

Synopsis Many researches has been done for the purpose of making clear the distribution of seepage of the dam body and foundation, and these are the analytical method based upon the assumption that the mediums are homogeneous. As a matter of fact, the dam body and foundation vary so much in constructional condition that these methods can not solve the practical problems.

From the point of view, author used agaragars, expressed the various strata with many different permeability by changing the content of NaCl solved in them so that, by changing the electrical conductivity of the strata and researched the distribution of seepage by means of electric analogy.

As a result of author's research, this problem which has been seemed as the most difficult one could be made clear one step.

要旨 媒質を均一と仮定した従来の滲透水流に関する実験法に改良を加え、適当な電氣傳導度を有する寒天材料によつて模型を作製し、滲透性を異にする種々の地層よりなる實際問題の解析に適用しうる様にしたものである。

1. 緒言

堤体及び基礎の滲透水流の分布を明かにして圧力分布並びに水頭勾配を適当に把握し、適切な工法によつて堤体の安全を全うすることは堰堤工学上最も重要なことである。従来数学的解法、図式的解法、模型実験法、電氣的相似法によつてこの方面の研究が行われて来たが、いずれも媒質を均一と仮定しているため堤体及び基礎の構成状態の千変する實際問題を究明することはできない。この点に鑑み著者は寒天を使用しその中に溶解せしめる食塩量を変化してその電氣傳導度を変じ、それによつて滲透性を異にする種々の地層を表わすこととし、實際と相似の模型を作製して電氣的相似法によつて研究を進めて来た。かくして地質調査によつて堰堤地点の地質状態を明かにし、堤体材料及び工法を定めれば、その滲透水流の状態を適確に解明することが可能となつた。

2. 寒天模型による電氣的相似実験

著者の行つた研究の概要は既に述べた通りであるが先ず基礎的な事項から述べて見よう。

a. 基礎的考察

(1) **温度と比傳導度との関係** 一般に如何なる水溶液、膠質液においても温度上昇に伴つて比傳導度は増大する。この関係は、

$$x_t = x_{t_0 - 18} c [1 + \alpha(t - t_0) + \beta(t - t_0)^2] \quad \dots\dots(1)$$

で表わすことができるが、 α , β の値は Kohlrausch によれば食塩については次の様である。1)

$$\alpha = 226 \times 10^{-4}, \quad \beta = 84 \times 10^{-6}$$

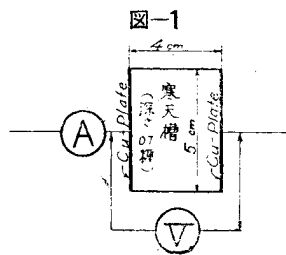
(2) 食塩濃度を異にする寒天の比傳導度 (寒天濃度一定)

電媒質の比傳導度 x は周知の如く断面面積 s cm², 長さ l cm, 抵抗 r Ω とすれば、

$$x = \frac{l}{s} \cdot \frac{1}{r} \quad \dots\dots(2)$$

で与えられる。図-1 の如くして電圧計の読み v 及び電流計の読み i を測定すれば、 r' を電圧計の抵抗とするとき、

$$r = \frac{vr'}{ir' - v} \quad \dots\dots(3)$$



(2), (3)式より、

$$x = \frac{l}{s} \cdot \frac{ir' - v}{vr'} \quad \dots\dots(4)$$

となり、測定結果を図示すれば図-2の様であるが、食塩濃度と寒天の

比傳導度との関係は、寒天濃度を一定(1%)に保つとき拋物線的に変化している。

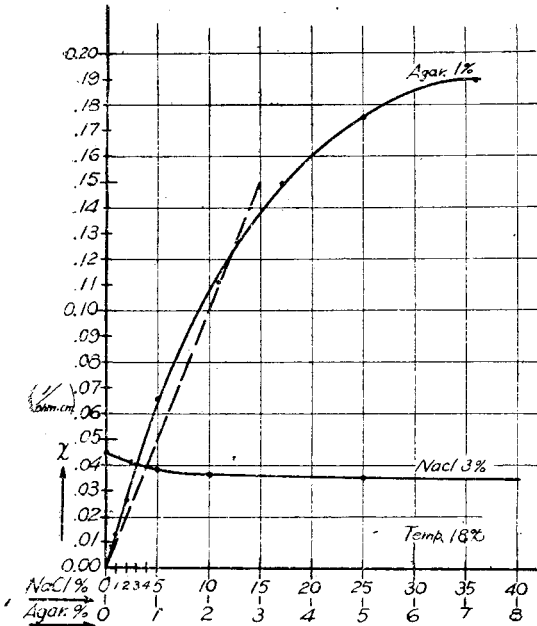
(3) 濃度を異にする寒天の比傳導度 (食塩濃度一定)

食塩濃度を3%とし寒天の濃度を変化せしめて、その比傳導度を測定した結果を図示すれば図-2(次頁)の如くなる。これより大凡比傳導度は寒天の濃度には無関係であり、特に濃度2%以上では殆ど変化しないこ

* 京都大学工学部講師, 土木工学教室勤務

1) 龜山直人: 「電氣化學の理論と應用」上巻 41 頁

図-2



とが認められる。

(4) 寒天相互間並びに寒天と銅極板間の接触抵抗 図-1 の実験において寒天の1部を切り取り再びここに同一寒天を填充して両極間の等ポテンシャル線を求めた結果、各ポテンシャル線間の間隔等しく全くその前後において変化が認められず接触抵抗のないことを認めた。

(5) 滲透水流量の算定 滲透水流に対する Darcy の法則と電流に対する Ohm の法則との類似性から、本実験で電流、電圧を測定することによって簡単に全流量を算定することができる。即ち

$$i_{amp} = \kappa \frac{1}{0.1 \text{ m} \cdot \text{cm}} \times \frac{v \text{ (volt)}}{l \text{ (cm)}} \times s \text{ (cm}^2\text{)} \dots (5)$$

$$q \text{ (cm}^3\text{/sec)} = k \text{ (cm/sec)} \times \frac{h \text{ (cm)}}{l \text{ (cm)}} \times s \text{ (cm}^2\text{)} \dots (6)$$

(5), (6) 式より,

$$q = i \frac{k}{\kappa} \cdot \frac{h}{v}$$

今図-2 で示した食塩濃度と比傳導度との関係が比傳導度 $0 \sim 0.15 \frac{1}{\text{ohm} \cdot \text{cm}}$ の間で直線的に変化するものと仮定し、比傳導度 $0.15 \frac{1}{\text{ohm} \cdot \text{cm}}$ に相当する寒天材料 (NaCl 15%) と通常最大の滲透係数 3.0 cm/sec の地層とを対応せしめるものとすれば、

$$\frac{k}{\kappa} = 20 \left(\frac{\text{cm}^2 \cdot \text{ohm}}{\text{sec}} \right)$$

となるから、

$$q = 20 i \frac{h}{v} \text{ (cm}^3\text{/sec)} \dots (7)$$

模型の縮尺を $1:m$ とすれば、実際の全滲透水量 Q は

$$Q = 20 i \frac{h}{v} m^2 \text{ (cm}^3\text{/sec)} \dots (8)$$

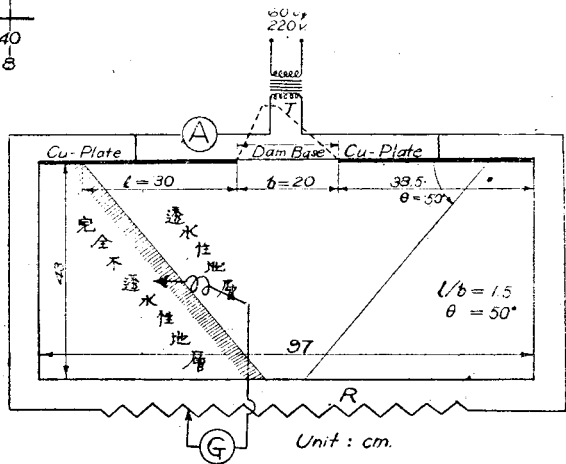
となる。

(6) 実験方法

以上の基礎的な考察によつて食塩及び寒天濃度と比傳導度、試験模型の温度と比傳導度及び接触抵抗等に関する事項が明らかになった。これらの結果に基づいて寒天濃度を 1% と規定し、食塩濃度を変化して適当な比傳導度の寒天材料で模型を作製して実験を行った。

基礎の滲透水流に関する実験装置は図-3 の通りで特別の説明は要しないものと思う。電源には 60 cycle, 220 volt A.C. を変圧器 T にて 7~8 volt に降下して使用した。寒天槽はガラス製の容器でその寸法は $97 \times 43 \times 0.7 \text{ cm}$ であり極には厚さ 1 mm の銅板、回路抵

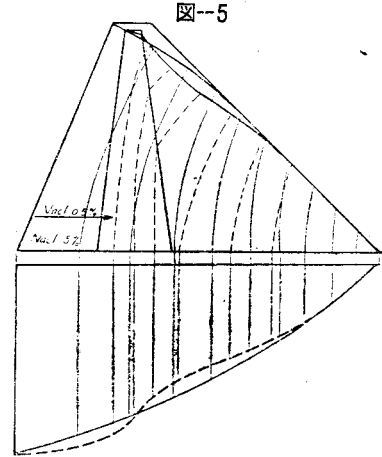
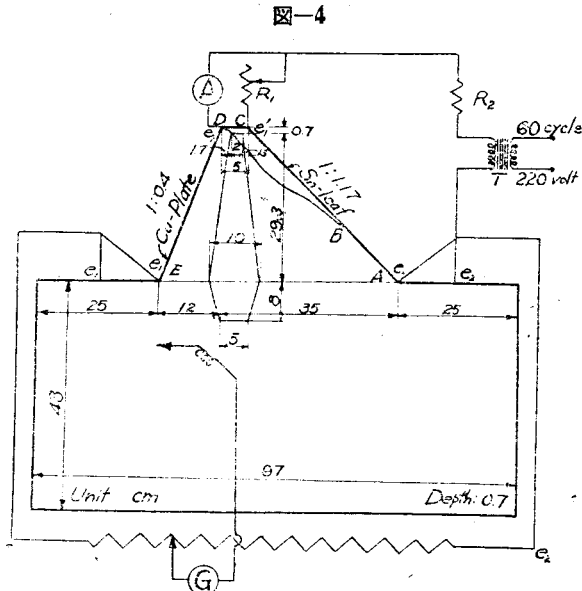
図-3



抗 R には $4.04 \Omega/\text{m}$ のニクロム線を使用した。

次に堤体内の滲透水流は所謂 "gravity flow" であつて、自由水面、即ち浸潤面が存在し、数学的解析は至難である。このために従来は模型試験が行われて来たが、この研究法にも模型作製に隘路がある。これらの難点を打開するため近年 Wyckoff 及び Reed 氏は電氣的相似法による解析を提案した。その詳細については Physics, Vol. 6, 1935, P. 395 を参照せられたい。著者もこの方法を採用したのであるが、その概略をここに述べてみよう。

実験装置及びその寸法は図-4 の通りである。即ち流入境界面 DE は1つの等ポテンシャル面であるため極板として銅板を使用し、流出境界面 AC ではポテンシャルは直線的に変化すべきであるため、錫箔を使用している。この場合寒天中より流入する電流によつて、そのポテンシャルの直線の変化が乱されない様



(NaCl 0.5%) の心壁を築造した場合の等ポテンシャル線並びに堤底に沿う圧力分布を示している。後者は前者に比して著しく趣を異にしているのであつて、注目すべき結果であると思ふ。

に十分の傳導度を有する抵抗板を使用せねばならない。抵抗 R_1 は D 点と C 点とを等電圧に保つため寒天と錫箔との間の若干の接触抵抗及び電流計の抵抗を調整するに必要なものである。自由水面ではそのポテンシャルが AE 面よりの高さに比例すべきであるという条件より、寒天を逐次切取つて完全にこの境界条件を満たす浸潤線を求めれば、その後は基礎の場合と同じ様にして堤体内の等ポテンシャル線を求めることができる。たゞこの場合所謂“*Inversion*”(電極とその他の境界面とを電氣的に交錯して等ポテンシャル線を求める方法)が不能であるため、流線の正確を期することはむづかしい。

(7) 測定結果の 1 例 図-5 は実験結果の 1 例で実線は堤体の滲透係数が 1cm/sec (NaCl 0.5%) で全く均一なる場合、破線はその堤体内に滲透係数 0.1cm/sec

3. 結 語

滲透水流に関する従来の電氣的相似法では媒質が均一なる場合に限られていて、これを實際問題に適用することはできなかつたのであるが、導体材料として手近な食塩を溶解した寒天を使用することによつて、この難点を打開することができた。これによつて地層の大キサ、形、位置、透水性及び心壁、止水壁、法面勾配等が滲透水流に及ぼす影響を解明することが可能となつた。これらに関する詳細な実験結果は近く発表したいと思つている。

本研究は文部省科学研究費の援助を受けている“高堰堤設計の合理化に関する基礎的研究”の一部であり、こゝに関係方面並びに種々御指導を賜つた京大教授石原博士に謝意を表する。

国鉄関係渡米第一陣

国有鉄道土木関係の渡米第一陣として田中茂美技師長(前本学会副会長)及び渡辺和夫保線課長が決定 8 月中旬から 3 ヶ月間、各々鉄道技術の運営、組織、土木工事状況の視察及び鉄道軌道構造並びに保守の視察に赴かれることになつた。

国鉄の地方機構改編

国鉄では 8 月 1 日の地方機構改編実施に伴う地方鉄道管理局の分界について検討をつづけていたが、この程次の如く決定、26 日地方準備委員会に各管理局所管区域を通告した。

青函、盛岡、秋田、仙台、新潟、長野、高崎、水戸、千葉、東京、静岡、名古屋、金沢、大阪、天王寺、福知山、米子、岡山、広島、門司、大分、熊本、鹿児島、札幌、旭川、釧路、高松、各鉄道管理局尙自動車関係は鉄道局から分離することになつている。

国鉄地方機構の首脳級で土木出身者

新任職名	旧任職名	天王寺	岡山	浅井政治	施設局次長
副技師長	東京工事部長	〃	〃	市村益夫	施設局管理課長
北海道運輸支配人	札幌鉄道管理局長	〃	〃	山田二三男	新鉄施設部長
中部営業支配人	広島陸運局長	〃	〃	篠原武司	施設局停車場課長
仙台鉄道管理局長	職員局養成課長	東京教習所長	〃	玉井 淳	釧路鉄道管理局長
新潟	遠藤忠夫	東鉄施設部長	〃		