

III-6 EO 中に生ずる電気浸透圧とそれの利用に関する試案

日本大学理工学部 正員 浅川美利

まえがき

電気浸透中に生ずる電気浸透圧を問題として取り上げ、それを静水圧あるいは動水作用に対してどのように利用するとよいかを考へ、EO の実用性を考へ方の方向を変えてのべようとするものである。電気浸透圧と呼ぶ。

I. 土粒子および間ゲキ水に作用する力

EO によって土中水が定常的な流れをしているものとし、また間ゲキ水は移動をしても飽和の状態が保たれているということを前提とすると、EO に伴って生ずる力は、次のような原因によると考えられている。

いま土粒子—水系の界面において固着層(EO によって流動を起さない土粒子に接する部分)と可動層(EO によって流動する自由水側の部分)との境界面を考へる。EO 現象はその両層の相対運動であるので、その境界面に対して大きさ等しく方向反対の二つの力が生ずることとなる。

これらの力を図-1で $\vec{\Delta F}_{em}$ と $\vec{\Delta F}_{ef}$ でそれぞれ表わしている。すなわち $\vec{\Delta F}_{em} (= -e \text{grad} \cdot E \cdot \Delta V)$ は可動層に生ずる力で、 $\vec{\Delta F}_{ef} (= e \text{grad} \cdot E \cdot \Delta V)$ は固着層に生ずる力であつて $\vec{\Delta F}_{ef} = -\vec{\Delta F}_{em}$ の関係をもつ電気力である。

また水の流れに伴って起る力として、可動層側には $\vec{\Delta F}_{fw} (= -\gamma_w \text{grad} \cdot H \cdot \Delta V)$ なる動水浸透圧による力が作用し、固着層側には水の流動に伴う粘性抵抗 $\vec{\Delta F}_{fr} (= -\Delta F_{fr})$ が作用する。

上記の力を合成した力が、土粒子に対しては、 $\vec{\Delta F}_s = \vec{\Delta F}_{ef} + \vec{\Delta F}_{fr}$ として作用し、 $\vec{\Delta F}_p = -\vec{\Delta F}_{fw} - \vec{\Delta F}_{em}$ が間ゲキ水に作用する。また土粒子に作用する合力 $\vec{\Delta F}_s$ と有効応力 $\vec{\Delta F}_p$ は、 $\vec{\Delta F}_p = -\vec{\Delta F}_s$ の関係にあり、これがEO 浸透圧 p_e 相当量となる。

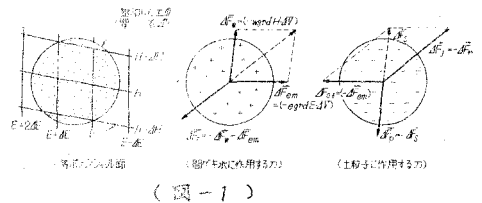
II. 電気浸透圧

図-2に示すようにEO によって移動した水を溢

流させないで、水位の上昇を自由にしておくと、 H_{emax} まで水位上昇は継続する。 H_{emax} の水位において $\gamma_w \cdot H_{emax} = p_e$ は p_e と陽極面で平衡している。この p_e を与えられた電場の電位 E によるその土の電気浸透圧と呼ぶ。

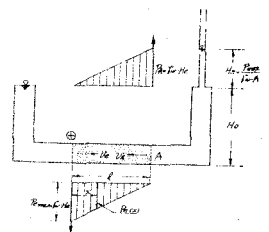
この p_e は陽極面で $p_e = \gamma_w \cdot H_{emax}$ 、陰極面に $p_e = 0$ となる。また電極間の任意の位置 x では次式のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} H_e(x) &= H_0 + \left(\frac{x}{l}\right) H_e = H_0 + \frac{x}{l} \left(\frac{p_e}{\gamma_w}\right) E \\ \text{あるいは} \quad p_e(x) &= \gamma_w \cdot H_e \left(1 - \frac{x}{l}\right) = \gamma_w \left(\frac{p_e}{\gamma_w}\right) \cdot E \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$



(図-1)

この p_e は前項で触れた $\vec{\Delta F}_p$ に相当するもので、後節の説明では p_e を $\vec{\Delta F}_p$ の相当量として扱っている。



III. 電気浸透圧の発達過程 (図-2)

(1) 式は静水圧と浸透圧とが平衡しているときの条件を示したのであるが、実際にはその状態に達するまでにはかなりの時間を要するわけで、 $t=0$ から $t=\infty$ までの間に p_e は 0 から p_{emax} まで漸増していくのである。

Geuze は p_e 発達の時間過程を次のように導いている。

dt 時間後の浸透流量は、EO と動水流とに対してそれぞれ次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} dge &= k_e \cdot A_v \cdot i_e \cdot dt & (EO) \\ dga &= k_a \cdot A_v \cdot i_a \cdot dt & (HO) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

いま dt 時間内に dHe だけ水位上昇があったとすると、

$$dHe \cdot a = dge - dga \dots \dots \dots (3)$$

(2) と (3) 式とから、

$$\frac{dHe}{dt} = A_v (k_e \cdot E - k_a \cdot He) / a$$

これを integ. し、 He について整理すると、

$$He = \left(\frac{k_e}{k_a} \right) \cdot E \cdot \frac{e^{k_a \phi t} - 1}{e^{k_a \phi t}} \dots \dots \dots (4)$$

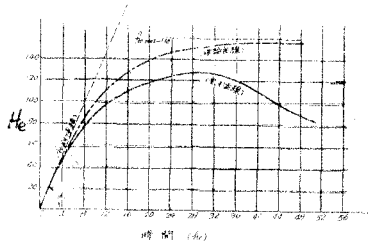
ここに $\phi = \frac{A_v}{a \cdot k_a}$ 、 A_v : 土の有効断面面積、 a : スタックパイプの直径

平衡時の水頭 He_{max} は、 $\frac{dHe}{dt} = 0$ として、

$$k_e \cdot E - k_a \cdot He = 0 \text{ から、}$$

$$He_{max} = \left(\frac{k_e}{k_a} \right) E \dots \dots \dots (5)$$

となる。



(図-3)

図-3は上述の理論値と実験による結果の一例を示すものである。

この問題は有効力の発達、の時間遅れと、

応力の非平衡を考へる場合に必要である。

IV. 電気浸透圧係数 k_e/k_a について

(1) と (4) 式からも知られるように電気浸透圧を論ずるにあつては、土固有の透水係数比、すなわち k_e/k_a (浸透圧係数と呼ぶ) は重要な意味をもっている。 k_e/k_a についてはすでに“電気浸透法の適性の判定”ということと前回の講演会にて触れたが、主要な点だけをふたたびここでも触れておく。 p_e に関係する物理量は、適用した電場の電位 E と k_e/k_a とである。

また k_e と k_a はともに透水係数であるが、それらに因する要因は本質的に異なる。両者の相違点で重要なことは、 k_e の場合 土の界面の物理・化学的性質に支配されるものであるのに対して k_a は土の固相の幾何的な性質に大きく支配されるということである。

また k_e の実用値は、 $10 \times 10^{-4} \sim 10 \times 10^{-5}$ cm/sec ($\% \text{cm} = k_e$) であるのにくらべて k_a は周知のようにきわめて広範囲に変化する値である。

したがって k_e/k_a は結果として k_a に影響されることが大きくなり、 k_a の小さいものの程 k_e/k_a が大きくなると考えおいてよい。すなわち k_e/k_a は ϕ/t_e あるいは d (平均粒径) を関数として逆比関係にあると考えて一応さしつかえない。

V. 2, 3 の応用例

V-1. 矢板背後の静水圧の軽減と動水作用の防止

いまオープンカットにおける矢板背後の問題を一例として考えてみるに、水理的な事柄として、土圧に加算される静水圧と掘削部の水位低下に伴って起る動水作用があげられよう。これらの圧力および作用の軽減あるいは防止を E の浸透圧の利用によってなしうる。

上でのべたことからわかるように E のに伴って p_s なる有効圧の増加があり、その量はちやうど E の浸透圧に相当するもので、静水圧は p_e だけ控除されたものとなる。したがって矢板背後に加わる全土圧はそれだけの軽減が考えられるわけである。

また矢板先端から掘削底面に起る動水作用(ボイリング)は 動水傾度差によるわけであるが、動水方向に対抗して E の浸透圧を作用させると、結果として限界動水傾度差 (ox) は 増加されたと同じこととなって 動水作用が防止されることとなる。

静水圧低下によって益のある基礎工の問題はほかにも沢山あるが シールドやコマンティックケーソン工において 函内空気圧の低下をはかる一手段として E の浸透圧を用いてみるのも面白い。

この場合 E の適用を空気圧低下だけに限らないで 函外面に働く周辺摩擦抵抗の軽減ということと併用するように考えると、十分実用しうようになると思う。

V-2. ゆるい砂質地盤の圧密

E のドレーンの適用によって土が圧密される原

図には、(1)間ゲキ水の排除による土の体積変化、(2)電気浸透圧に相当する有効圧力の発生による、の二つが主なものとしてあげられる。

これらの原因による圧密のほか(2)に関連して土を締固める原因がもう一つ考えられる。それはⅡ、でのべた二つの力(間ゲキ水に作用する合力と土粒子に作用する合力)の平衡関係とEの浸透圧の発達過程の両面から考えると説明のつくことである。

$\vec{F}_s$ と $\vec{F}_w$ はEの適用後 十分な時間を経て流れが定常な状態となったときに初めて平衡するのである。すなわち そのような定常流に達するまでには、 $\vec{F}_s$ は漸次増加されていき、それに伴って流れも加速されるわけで、 $\vec{F}_s = \vec{F}_w$ となるまでの時間過程において $\vec{F}_w - \vec{F}_s$ だけの力が土を圧密する原因となる。

この原因による圧密効果は力の非平衡の利用ということと、上記(1)と(2)の原因とはやや異なるものであるが たとえば きわめてゆるい砂質の地盤(海岸埋立地のようなゆるいシルト質砂地盤)を対象としてEのドレーンを行なうような場合、期待できる効果の一つであろうかと思う。

V-3 土留をしない直立斜面の安定

泥水工法などで土留矢板を用いないでドレーンや振削などを行なっている工法が盛んに行なわれるようになってきている。その場合の直立面の安定に関していろいろな論議がなされているが、十分その事実を証明し得るものはないように思われる。筆者は その直立面の安定の主原因が浸透圧作用によるものであるという見解をもって 現在実験的研究を行なっている。Eのように人為的に電場を与えて壁面に浸透圧を作用させるということも考えられるわけであるが、いまのところ安定理由を解明するということを目指におき、薄いベントナイト膜を介し泥水と静水との間に自然発生する電位差によって浸透圧の生ずる場合

の問題を考えている。

浸透圧の原因をなす電場が人為的であっても自然発生的なものであっても、直立面の安定が浸透圧に起因しているということではここに例示しておいた。詳細は別の機会に報告するつもりである。

(備考)ベントナイト膜の生成機構はVander の考え方を、浸透圧作用の考え方はFranke の理論をベースとして研究をすすめている。

参考文献

- (1) W.S. Wang & E. Yeg: "Stress in Saturated Soil Mass during Electro-Osmosis" Proc. 3rd Int. Conf. on Soil Mech. & Found. Eng., Vol. 1, pp. 76~79 (1953)
- (2) E.C.W.A. Greuze: "Results of Laboratory Investigations on the Electrical Treatment of Soils" Proc. 2nd Int. Conf. on Soil Mech. & Found. Eng., Vol. 3, pp. 153 ~ 157 (1948)