

軟弱粘土質地盤の安定には、種類の工法があるが、特に非常に含水比の高い軟弱粘土質地盤の安定には現在のところ適切な工法がない。サンドドレーン工法、ベーパードレーン工法、ウェルポイント真空工法、圧気工法、電気浸透工法、凍結工法、焼結工法等があるが、何れも載荷、加圧、減圧、通電、加熱、冷却等の外部的エネルギーの付加が常時必要とする。また、フィルター材であるサンドパイルやベーパーが粘土セコロイドにより閉塞する問題がある。最近、毛管上昇力の大きな超音波等を利用してベーパーあるいは合成樹脂セインが研究されているが、なおだか地下水面下数十センチメートルに対して有効であるに過ぎず、またいつかは閉塞する運命にあるといえる。

これに対し、著者は以下に述べる安定工法を提議したい。

1. 表面急速安定処理工法

a. 混合法

b. 打設法

2. 逆浸透工法 (MAIS 工法)

a. 開放式

b. 密閉式

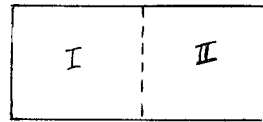


図 - 1

このうち、1a については、本学会で別に発表する。1b については別途研究中である。ここでは、逆浸透工法についてその原理を非可逆過程の熱力学を用いて述べることにする。粘土自身も浸透圧現象を呈するので区別のために膜加速性逆浸透工法 (Membrane Accelerated Inverse Osmosis Method) と呼ぶことにする。略して Mais 工法 (マيس工法) という。

図-1に示す土質系において、Iを土、IIを溶液とし、中央に半透膜 (Semi permeable Membrane) を置く。この系のエントロピーバランスの式を見出すためにまず4つの基礎方程式について述べる。

1. 質量保存則

$$\partial \rho_i / \partial t = -\operatorname{div} \rho_i V_i + v_i J_c \quad (1)$$

==>、 $\rho_i = M_i/V$ 、 ρ_i は成分iの単位容積当りの質量であり、 M_i はその全質量、 V は全容積である。 V_i は速度、 $v_i J_c$ は単位容積当りのi成分の化学反応による生成を示す。すなわち、

$$v_i J_c = \frac{1}{V} dM_i/dt, \quad \sum_i dM_i = 0, \quad \sum_i v_i = 0 \quad (2)$$

(1)は連続の方程式である。(1)式を全成分について加え合すと、 ρ を全密度、 V_0 を重心速度として、

$$\partial \rho / \partial t = -\operatorname{div} \rho V_0, \quad V_0 = \sum_i \rho_i V_i / \rho \quad (3)$$

2. 運動量保存則: P を圧力、 F_i をiの単位質量当りに働く外力とすると

$$\rho dV_0/dt = -\operatorname{grad} P + \sum_i F_i \rho_i \quad (4)$$

3. エネルギー保存則: 内部エネルギーの単位質量当りの大ささを u とすると

$$\rho d(\frac{1}{2} V_0^2 + u)/dt = -\text{div}(P V_0 + J_g) + \sum F_i \cdot V_i P_i \quad (5)$$

1. J_g は熱の流れである。

4. 熱力学第一則

$$-T ds/dt = du/dt + P dv/dt - \sum \mu_i dC_i/dt \quad (6)$$

1. S は比エントロピー, u は比内部エネルギー, v は比容積, C_i は濃度を表す。

$$\text{又(6)式より} \quad \rho ds/dt = -\text{div}\{(J_g - \sum \mu_i J_i)/T\} + (J_g X_u + \sum J_i X_i + A J_e)/T \quad (7)$$

$$\text{1. } X_u = (\text{grad } T)/T^2, \quad X_i = F_i/T - \text{grad}(\mu_i/T), \quad A = -\sum \mu_i v_i/T \quad (8)$$

以上, 化学反応による物質の生成がないものとする, エントロピーバランスの式は,

$$\sigma = J_g X_u + \sum J_i X_i \quad (9)$$

系が等温であるとする

$$X_u = -(\text{grad } T)/T^2 = 0 \quad (10)$$

$$X_i = F_i/T - \text{grad}(\mu_i/T) = (F_i - \text{grad } \mu_i)/T \quad (11)$$

$$\text{系が不連続であるときは,} \quad F_i = \sum z_i \Delta \psi, \quad \Delta \mu_i = \Delta \mu_i(P^0) + V_i \Delta P \quad (12)$$

$\Delta \mu_i(P^0)$ は, 標準圧における化学ポテンシャル z^0 である。

$$X_i = (\Delta \mu_i + V_i \Delta P + \sum z_i \Delta \psi)/T = \Delta \psi_i/T \quad (13)$$

1. $\Delta \psi_i$ は 電気化学ポテンシャル z^0 である。

$$\text{故に,} \quad \sigma = \sum J_i X_i \quad (14)$$

$$J_i \text{ は質量の流速,} \quad J_i = - (dM_i^I/dt) = dM_i^{II}/dt \quad (15)$$

$$\text{故に,} \quad T\sigma = \sum J_i \Delta \mu_i + J \Delta P + I \Delta \psi \quad (16)$$

$$J = L_{PE} \Delta \psi + L_P \Delta P + \sum L_{Pi} \Delta \mu_i \quad (17)$$

==1, I は電流, ψ は電位を表す。

いま, $J=0, \Delta \psi=0$ のとき $\Delta P = \Delta \Pi$ とすると

$$L_{Pi} = L_{ip} = \sum_k L_{ik} v_k \quad (18)$$

$$\Pi = -\frac{1}{RT} \sum \sum L_{ik} v_k \Delta \mu_i \quad (19)$$

$$\text{また, } \Delta \Pi=0, \Delta \psi=0 \text{ のとき,} \quad J = \sum L_{\pi i} \Delta \mu_i \quad (20)$$

(20)式がオシキのもの, マイス工法 I または Q 型マイス工法 (Q type MAIS method), (17)式でオシキけるものを, マイス工法 II, または P 型マイス工法 (P type MAIS method) と呼ぶことにする。Q 型マイス工法は, 開放式で載荷しなくとも土中の水を取り脱木するので簡単な工法であるが, 液が流出してゆくのでその処置が必要である。P 型マイス工法は, 密閉式で適当な装置を用いれば, 1 トンあたり 100 トンないし 400 トンの圧力を期待することができ, その圧力を利用して普通の圧入工法が実施される。

マイス工法の特徴は, (1) 載荷を必要としない。 (2) 液の密閉がない。 (3) 飽和, 不飽和何れの場合でも可能である。 (4) 過圧密粘土または乾燥粘土にも適用できる。 (5) 脱水速度は小さい。等である。

これらの工法としては, 経程のものが考えられるが, 別途研究中である。