

Ⅲ - A 458 排水機能付矢板壁の排水計算法

住友金属工業(株) 正会員 ○岡本 政信 住友金属工業(株) 正会員 田中 宏征
 小野田ケミコ(株) フェロー 古賀 泰之 東京理科大 フェロー 石原 研而
 (前(財)先端建設技術センター)

1. はじめに

排水機能付矢板とは通常の矢板に中空排水部材を取付けたものである。盛土や共同溝の液状化対策の一つに、この排水機能付矢板を壁状に締切る工法がある。筆者らは既に、その場合の排水現象の理論的定式化をおこなった¹⁾。ここでは、それに基づく具体的な排水計算法について報告する。

2. 排水現象の定式化

図1に排水機能付矢板壁による排水現象のモデル化を示す。モデル化にあたり、以下の仮定を設けた。

- ①排水部材は壁面鉛直方向に沿って等ピッチ配置。
- ②地盤を多層系とし各層での水の流れは水平(鉛直流無視)。
- ③地盤の水平面内での水の流れは壁面への平行流で近似。

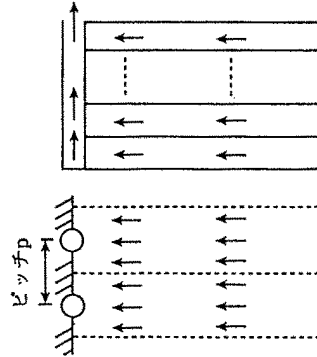


図1 排水現象のモデル化

2. 1 地盤内流れの計算式の定式化

地盤の各層での地盤内流れは圧密方程式より次式となる。

$$\partial \bar{u} / \partial \bar{t} = T1 \cdot \partial^2 \bar{u} / \partial \bar{x}^2 + G(\bar{u}) \quad \text{----- (1)}$$

$$G(\bar{u}) = 1 / (\pi \alpha) \cdot \{ \sin^{2\alpha-1}(\pi/2 \cdot \bar{u}) \cdot \cos(\pi/2 \cdot \bar{u}) \}^{-1} \quad \text{---- (2)}$$

式中の変数はすべて無次元化してあり、以下の意味である。

- $\bar{u} = u / \sigma'_{vo}$ = 過剰間隙水圧/初期有効鉛直応力 = 過剰間隙水圧比、
- $\bar{t} = t / t_a$ = 時間/地震継続時間、 $\bar{x} = x / x_o$ = 壁面からの距離/代表長、
- $T1 = k \cdot t_1 / (m_v \cdot \gamma_w \cdot x_o^2)$ = 時間係数、 $G(\bar{u})$: \bar{u} の発生項
- k : 透水係数、 m_v : 体積圧縮係数、 γ_w : 水の単位体積重量
- t_1 : 初期液状化に要する時間

各層で、式(1)左辺を \cdot 表記し右辺を差分法で空間的に離散化する。

$$\dot{\bar{u}}_i = T1 \cdot (\bar{u}_{i+1} - 2 \cdot \bar{u}_i + \bar{u}_{i-1}) / (\Delta \bar{x})^2 + G(\bar{u}_i), \quad i \geq 2, \text{ (図2) -- (3)}$$

排水部材との境界である*i*=1では、陰影部の圧密を考え次式を得る。

$$\dot{\bar{u}}_1 = T1 / (\Delta \bar{x} / 2) \cdot (\bar{u}_2 - \bar{u}_1) / \Delta \bar{x} - T1 \cdot \gamma_w \cdot x_o / (k \cdot \sigma'_{vo} \cdot \Delta \bar{x} / 2) \cdot v_1 + G(\bar{u}_1), \quad v_1 \text{は地盤出口}(i=1) \text{での流速} \quad \text{----- (4)}$$

第*j*層に対する式(3), (4)をベクトル表記する(太字はベクトル)。

$$\dot{\bar{u}}_j = F1_j(\bar{u}_j, v_{1,j}), \quad \bar{u}_j^T = [\bar{u}_{1,j}, \dots, \bar{u}_{i,j}], \quad j=1, \dots, J \quad \text{---- (5)}$$

上式は容易に全層に拡張できる。

$$\dot{\bar{u}} = F1(\bar{u}, v_1), \quad \bar{u}^T = [\bar{u}_{1,1}, \dots, \bar{u}_{1,J}], \quad v_1^T = [v_{1,1}, \dots, v_{1,J}] \quad \text{-- (6)}$$

2. 2 地盤部から中空排水部材内への流れの定式化

図3に第*j*層の地盤出口1から出た水の流れを示す。部材近傍では、平行流の仮定は厳密には成り立たない。そこで、図示の仮想領域を設定し、そこを経て部材表面*s*で縮流となり第*j*層に対応する部材要素*j*内の*d*へ入る流線を考える。この流線に圧損を考慮したベルヌイの定理を適用して次式を得る。

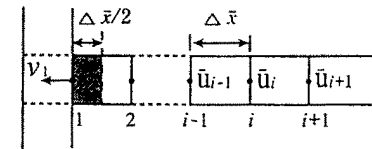


図2 地盤部の空間的離散化

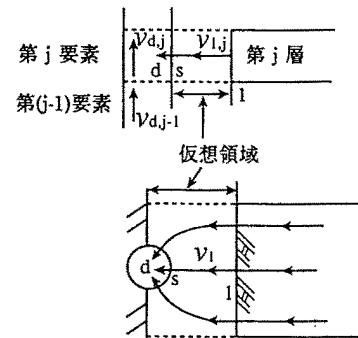


図3 排水部材内への流れ

液状化/排水機能付矢板/中空排水部材/ベルヌイの定理

$$(u_{1,j} - u_{d,j}) / \gamma_w = \{ \eta_s / (A_{s1})^2 \cdot v_{1,j}^2 + v_{d,j}^2 - v_{1,j}^2 \} / (2g) \quad (7)$$

$$v_{d,j} = v_{d,j-1} + v_{1,j} / A_{d1} \quad (\text{流れの方向は要素}(j-1)\text{から要素}j\text{とする。最上流部では}j=1) \quad (8)$$

η_s : 縮損損失係数, $u_{d,j}$: 部材要素j内の過剰間隙水圧, $v_{d,j}$: 部材要素j内の流速, 但し $v_{d,0} = 0$

$A_{d1} = A_d / A_1$, $A_{s1} = A_s / A_1$, A_d : 部材断面積, A_s : 部材表面開口面積, A_1 : 部材受持壁面積

式(7)から $v_1 = v_1(\bar{u}, u_d, v_d)$ の関係を得る ($u_d^T = [u_{d,1}, \dots, u_{d,j}]$, $v_d^T = [v_{d,1}, \dots, v_{d,j}]$)。また, 式(8)から $v_d = v_d(v_1, v_d) = v_d(\bar{u}, u_d, v_d)$, 陽に改め $v_d = v_d(\bar{u}, u_d)$ となる。結局, 独立変数は \bar{u}, u_d であり, 式(6)も次式に改める。

$$\bar{u} = F1(\bar{u}, u_d) \quad (9)$$

2. 3 排水部材内流れの定式化

排水部材の第j要素から第(j+1)要素への流れを管路内流れと見なし, 圧損を考慮したベルヌイの定理を適用する (図4)。

$$u_{d,j} / \gamma_w + v_{d,j}^2 / (2g) = u_{d,j+1} / \gamma_w + (1.0 + \eta_d) \cdot v_{d,j+1}^2 / (2g) + f \cdot h / D_p \cdot v_{d,j}^2 / (2g), \quad j=1, \dots, J \quad (10)$$

η_d : 要素出口損失係数, f : 管路圧損係数, h : 要素長, D_p : 管径
式(10)も結局, \bar{u}, u_d を独立変数とするJ個の連立式として表せる。

$$F2(u_d, v_d) = 0, \text{ 書き改めて } F2(\bar{u}, u_d) = 0 \quad (11)$$

3. 排水計算方法

式(9), (11)を連成させ差分法による時間積分を行う。時間ステップnでの変数 (\bar{u}^n, u_d^n) が既知なら, 第(n+1)ステップの変数は次式から求まる (ここでは, クランク・ニコルソンの時間積分法を適用)。

$$(\bar{u}^{n+1} - \bar{u}^n) / \Delta t = \{ F1(\bar{u}^{n+1}, u_d^{n+1}) + F1(\bar{u}^n, u_d^n) \} / 2 \quad (12)$$

$$F2(\bar{u}^{n+1}, u_d^{n+1}) = 0 \quad (13)$$

4. 排水部材内流れの定式化の妥当性検証

2. 2, 2. 3の定式化ではベルヌイの定理を適用したが, その妥当性を模型実験で検証した。図5に示す実験装置で定常状態を設定した。排水部材への水の流入・排出を図6の様に仮定する。位置xで地盤出口1と部材出口0との圧力水頭差を考えると次式が得られ, 部材抵抗係数Rbが求まる。

$$u_1 / \gamma_w - u_0 / \gamma_w = R_b \cdot v_o^2 / (2g) \quad (14)$$

$R_b = \eta_s \cdot (A_{d1} / A_{s1})^2 + (f \cdot x / D_p) \cdot \{ (1 + \beta) / 2 \}^2 + \eta_o + 1.0 - A_{d1}^2 \} \quad (15)$
ただし, 部材内流速は一定でないので次の代表値 v_m を設定した。

$$v_m = (1 + \beta) / 2 \cdot v_o, \quad \beta = (L - x) / L \quad (\text{図6参照}) \quad (16)$$

排水部材にはステンレスを小径パイプ状に巻いたものを用いた。実験条件は次の通り。: $D_p = 0.75\text{cm}$, $\eta_s = 1.0$, $\eta_o = 0$, $f = 0.05$, $A_{d1} = 3.4 \times 10^{-4}$, $A_{s1} = 0.036, 0.018, 0.009$ (表面をテフロンで変化)
図7より, R_b の実験値と計算値は比較的良く対応しており, ベルヌイの定理の適用が可能であると考えられる。

5. おわりに

排水機能付矢板壁の排水計算法を示した。地盤内は圧密方程式を排水部材の流入出はベルヌイの定理を適用し, 差分法を用いた。また, ベルヌイの定理の適用性も実験で検証した。

<参考文献>

- 岡本他: 排水機能付矢板壁の液状化対策工法としての排水性能, 土木学会関東支部技術発表会, pp. 594-595, 1999. 3

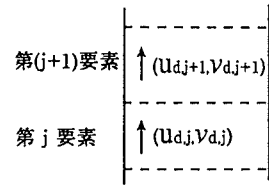


図4 排水部材内の流れ

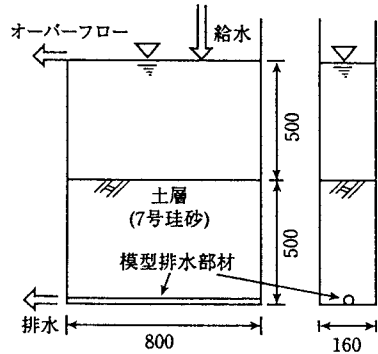


図5 排水部材抵抗の模型実験装置

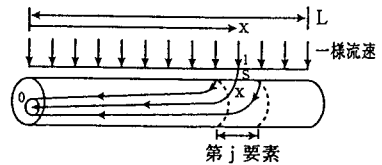


図6 排水部材内の流線

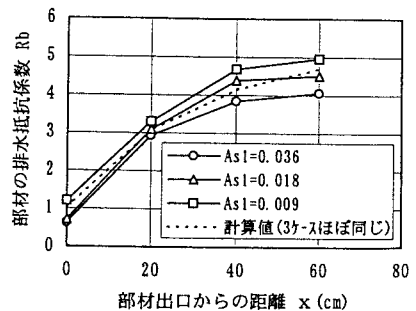


図7 Rbの実験値と計算値の比較