

Ⅲ-B258 未貫通ドレーン先端部排水条件による未貫通ドレーン地盤の圧密特性

佐賀大学

正会員

○ 唐 曉武-

佐賀大学

正会員

鬼塚 克忠

1. まえがき

粘土層が厚い場合、粘土層全部にドレーンを施工するのは経済的・技術的に無理な場合が多い。一般的に、未貫通ドレーンの圧密特性は、FEM と FDM などの数値解析を用いて分析する^{1), 2)}。通常のドレーン先端部は排水状態である。著者らはすでに、ドレーン先端部が排水条件である未貫通ドレーン地盤の圧密理論解析解について、報告している³⁾。しかし、プラスチックボードドレーンの場合、断面は非常に小さく、また土に目詰まりするなどの原因から、ドレーン先端部は非排水状態である。本研究ではドレーン材先端を非排水条件とした、未貫通ドレーン圧密解析解を提案し、ドレーン材先端の排水条件が異なる未貫通ドレーン圧密特性について分析する。

2. 数学モデル

改良層の数学モデルと通常貫通ドレーン圧密モデルは同一である。非改良層は一次元圧密とし、非改良層の下端は非排水とする(PTIB)。

ドレーン先端 ($z = h_1$) の連続条件は:

a) ドレーン先端は非排水の場合:

$$\frac{\partial u_w}{\partial z} = 0 \quad (1a)$$

$$\bar{u}_1 = u_2 \quad (2a)$$

$$(n^2 - 1)k_v \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial z} = n^2 k_v \frac{\partial u_2}{\partial z} \quad (3a)$$

b) ドレーン先端は排水の場合:

$$u_w = u_2 \quad (1b)$$

$$\bar{u}_1 = u_2 \quad (2b)$$

$$(n^2 - 1)k_v \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial z} + k_w \frac{\partial u_w}{\partial z} = n^2 k_v \frac{\partial u_2}{\partial z} \quad (3b)$$

u_w —ドレーン内の間隙水圧; $\bar{u}_1$ —改良層の任意断面の平均間隙水圧; $\bar{u}_2$ —非改良層の間隙水圧; k_v 、 k_h —土の鉛直と水平方向透水係数; k_w —ドレーンの透水係数; $n = r_e/r_w$; $s = r_s/r_w$; $\rho = h_1/H$ 貫入度。

3. システムの解

u_w と $\bar{u}_1$ と u_2 の解は以下の三式で表せる:

$$u_w = \sum_{m=0}^{\infty} A_m g_{w m1}(z) e^{-\beta_m t} \quad (4) \quad \bar{u}_1 = \sum_{m=0}^{\infty} A_m g_{m1}(z) e^{-\beta_m t} \quad (5) \quad u_2 = \sum_{m=0}^{\infty} A_m g_{m2}(z) e^{-\beta_m t} \quad (6)$$

$$\text{ここで: } g_{m1}(z) = \sin\left(\frac{\lambda_{m1} z}{H}\right) + c_{m1} \sinh\left(\frac{\xi_{m1} z}{H}\right); \quad g_{m1}(z) = \left(1 + \frac{\lambda_{m1}^2}{\varphi_1}\right) \sin\left(\frac{\lambda_{m1} z}{H}\right) + c_{m1} \left(1 - \frac{\xi_{m1}^2}{\varphi_1}\right) \sinh\left(\frac{\xi_{m1} z}{H}\right);$$

$$g_{m2}(z) = b_{m2} \cos\left[\lambda_{m2} \left(1 - \frac{z}{H}\right)\right]; \quad \lambda_{m1} = \sqrt{\frac{\Xi_m + \sqrt{\Xi_m^2 - 4\Lambda_m \Theta_m}}{2\Lambda_m}}; \quad \xi_{m1} = \sqrt{\frac{-\Xi_m + \sqrt{\Xi_m^2 - 4\Lambda_m \Theta_m}}{2\Lambda_m}};$$

$$\varphi_1 = (n^2 - 1) \frac{2}{F} \frac{k_h}{k_w} \left(\frac{H}{r_e}\right)^2; \quad \Lambda = \frac{k_v}{m_v \gamma_w}; \quad \Xi_m = -\left\{ \frac{k_h}{m_v \gamma_w} \frac{2}{r_e^2 F} \left[1 + \frac{k_v}{k_w} (n^2 - 1) \right] - \beta_m \right\}; \quad \Theta_m = -(n^2 - 1) \frac{2}{r_e^2 F} \frac{k_h}{k_w} \beta_m$$

$$\lambda_{m2} = \sqrt{\frac{m_v \gamma_w}{k_v} \beta_m}; \quad F = \left(\ln \frac{n}{s} + \frac{k_h}{k_s} \ln s - \frac{3}{4} \right) \frac{n^2}{n^2 - 1} + \frac{s^2}{n^2 - 1} \left(1 - \frac{k_h}{k_s} \right) \left(1 - \frac{s^2}{4n^2} \right) + \frac{k_h}{k_s} \frac{1}{n^2 - 1} \left(1 - \frac{1}{4n^2} \right)$$

バーチカルドレーン; 圧密; 地盤改良

〒840-8502 佐賀市本庄町1番地佐賀大学理工学部都市工学科 Tel: 0952-28-8690 Fax: 0952-28-8699

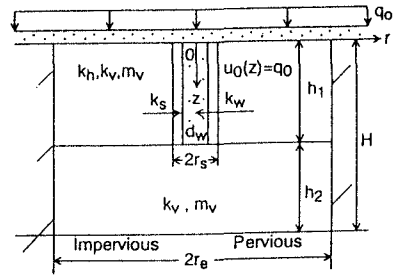


図-1 未貫通ドレーン地盤圧密モデル

ドレーン先端は非排水・排水のいずれの場合も、以下のシステム直交性が成立する：

$$\begin{aligned} & \gamma_w(n^2-1)\int_0^{h_1}(\beta_m-\beta_{m'})g_{m1}(z)g_{m1}(z)dz + \gamma_w n^2 \int_{h_1}^H(\beta_m-\beta_{m'})g_{m2}(z)g_{m2}(z)dz \\ &= \left[-(n^2-1)k_v g'_{m1}(h_1)g_{m1}(h_1) - k_w g'_{wm1}(h_1)g_{wm1}(h_1) + n^2 k_v g'_{m2}(z)g_{m2}(z) \right] \\ &+ \left[(n^2-1)k_v g'_{m1}(h_1)g_{m1}(h_1) - k_w g'_{wm1}(h_1)g_{wm1}(h_1) + n^2 k_v g'_{m2}(z)g_{m2}(z) \right] = 0 \quad m \neq m' \quad (7) \end{aligned}$$

システム直交性を利用し、 A_m が得られる：

$$A_m = \left[(n^2-1)u_0 \int_0^{h_1} g_{m1}(z)dz + n^2 u_0 \int_{h_1}^H g_{m2}(z)dz \right] / \left[(n^2-1) \int_0^{h_1} g_{m1}^2(z)dz + n^2 \int_{h_1}^H g_{m2}^2(z)dz \right] \quad (8)$$

著者らはすでに、先端排水ドレーンの連続条件に対応する解について、報告している³⁾。非排水ドレーン先端の連続条件(1a)～(3a)をもとに、次のマトリクスを得る：

$$SX^T = 0 \quad (9)$$

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{bmatrix} \quad (10) \quad X = \begin{bmatrix} 1 & c_{m1} & b_{m2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$s_{11} = \lambda_{m1} \cos(\lambda_{m1} \rho)$$

$$s_{12} = \xi_{m1} \cosh(\xi_{m1} \rho)$$

$$s_{21} = \left(1 + \frac{\lambda_{m1}^2}{\varphi_1} \right) \sin(\lambda_{m1} \rho) \quad s_{22} = \left(1 - \frac{\xi_{m1}^2}{\varphi_1} \right) \sinh(\xi_{m1} \rho)$$

$$s_{23} = \cos[\lambda_{m2}(1-\rho)] \quad s_{31} = \frac{n^2-1}{n^2} \left(1 + \frac{\lambda_{m1}^2}{\varphi_1} \right) s_{11}$$

$$s_{32} = \frac{n^2-1}{n^2} \left(1 - \frac{\xi_{m1}^2}{\varphi_1} \right) s_{12} \quad s_{33} = -\lambda_{m2} \sin[\lambda_{m2}(1-\rho)]$$

det $S = 0$ は 0 以外の X の得るための必要条件です。

det $S = 0$ から β_m の値を得る。 β_m の全ての値を式(9)に代入して、各 β_m 対応した c_{m1} と b_{m2} を求める。

地盤の全層の全平均圧密度は次式のように表せる：

$$\bar{U} = 1 - \frac{1}{u_0 H} \left[\int_0^{h_1} \bar{u}_1(z) dz + \int_{h_1}^H \bar{u}_2(z) dz \right] \quad (12)$$

4. 計算とまとめ

- 図-2 から、先端排水未貫通ドレーンの圧密の進行は先端非排水の場合より速い。ドレーンの透水係数の増加に伴って、両者の差は大きくなる。
- 図-3 より、改良層におけるドレーン先端の排水条件の影響は局部である。非改良層における影響は全体に及ぶ。
- 図-4 より、ドレーン先端を排水条件とした場合、ドレーン直径が変化しても、大きな影響を受けない。

参考文献

- 中野ら(1991): “部分貫入の長大バーチカルドレーンの圧密”, 土と基礎, 39-8, pp. 23-28
- Runesson, K., et al. (1985): “The efficiency of partially penetrating vertical drains”, *Geotechnique*, Vol.35, No.4, pp.511-516.
- Tang, X.W and Onitsuka, K. (1998): “Consolidation of ground with partially penetrated vertical drains”, *Geotechnical Engineering Journal*, Vol. 29, No.2, pp. 209-231.

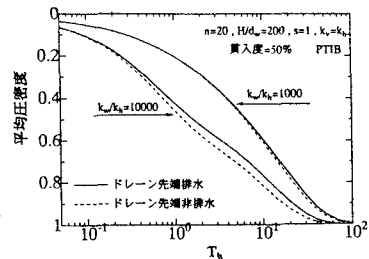


図-2 ドレーン先端排水状態と平均圧密度関係

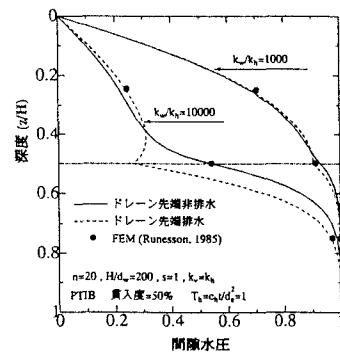


図-3 ドレーン先端排水状態と間隙水圧関係

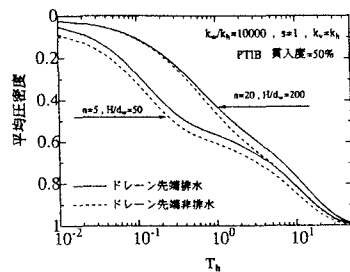


図-4 ドレーン先端排水状態とドレーンの直径と平均圧密度関係