一層地盤におけるバーチカルドレーン圧密解析解の二層地盤への拡張

佐賀大学　正会員　○　唐　暁武
佐賀大学　正会員　　鬼塚　克忠

1．まえがき

通常の地盤は多数の土層で構成されている。多くの研究者らはバーチカルドレーン圧密解析解について研究している[1,2,3,4]。ただし、既存の解の対象は均質地盤である。著者らは準等ひずみ条件下で地盤内の水平と鉛直両方向の流れを考慮した圧密解析解を提案している。これを用いることでバーチカルドレーンを打設した二層地盤圧密問題への拡張が可能となった。

2．計算モデル

二層地盤圧密における仮定と方程式は均質地盤圧密のものと同じである。Barron の方程式では、土の鉛直圧密部分は任意点の間隙水圧を採用する。Barron は Carrillo 定理を利用し、水平と鉛直両方向の流れを考慮した圧密解析解を得ている。しかしながら、実際には Barron の方程式における解析解はないため、著者らは Barron の方程式を修正する。圧密方程式の鉛直圧密項についての間隙水圧は平均間隙水圧を用いる。

二層地盤における基本方程式は均質地盤のものと同じであり、次式(1)～(5)で表せる。

等ひずみ，

$$\frac{\partial \varepsilon_{vi}}{\partial t} = -m_{vi}\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} \tag{1}$$

スミア領域 $(r_w \le r \le r_s)$，

$$-\frac{k_{si}}{\gamma_w}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial u_{si}}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_{si}}{\partial r^2}\right) - \frac{k_{vi}}{\gamma_w}\frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial z^2} = \frac{\partial \varepsilon_{vi}}{\partial t} \tag{2}$$

不攪乱領域 $(r_s \le r \le r_e)$，

$$-\frac{k_{hi}}{\gamma_w}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial u_{ni}}{\partial r} + \frac{\partial^2 u_{ni}}{\partial r^2}\right) - \frac{k_{vi}}{\gamma_w}\frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial z^2} = \frac{\partial \varepsilon_{vi}}{\partial t} \tag{3}$$

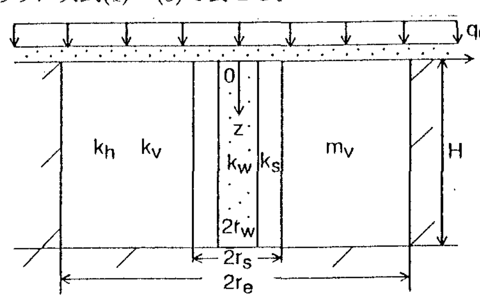
ウェルレジスタンス：

$$\frac{\partial^2 u_{wi}}{\partial z^2} = -\frac{2}{r_w}\frac{k_{si}}{k_w}\left(\frac{\partial u_{si}}{\partial r}\right)\Bigg|_{r=r_w} \tag{4}$$

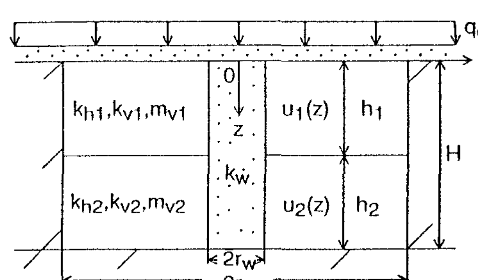
平均間隙水圧

$$\bar{u}_i = \frac{1}{\pi(r_e^2 - r_w^2)}\left(\int_{r_w}^{r_s} 2\pi r u_{si}\,dr + \int_{r_s}^{r_e} 2\pi r u_{ni}\,dr\right) \tag{5}$$

式中：$\varepsilon_{vi}(z,t)$-ひずみ；i-層数；$u_{si}(r,z,t)$、$u_{ni}(r,z,t)$、$\bar{u}_i(z,t)$-スミアと不攪乱領域の任意点における間隙水圧と任意深さの平均間隙水圧；$u_{wi}(z,t)$-ドレーンの間隙水圧。



図―1　ドレーンを打設した均質地盤モデル



図―2　ドレーンを打設した二層地盤モデル

二層地盤不同層境界面鉛直方向連続条件

ドレーン内の間隙水圧と土の間隙水圧では連続し、ドレーン内の水流と土の水流は連続である。

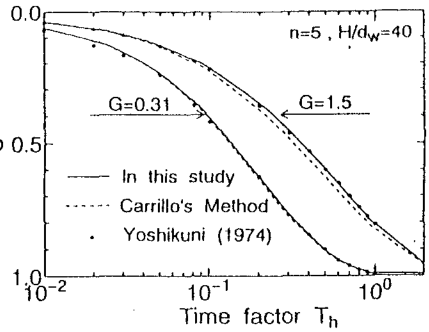
連立方程式の一般解は：

$$\bar{u}_i = \sum_{m=0}^{\infty} A_m g_{mi}(z) e^{-\beta_m t} \tag{6}$$

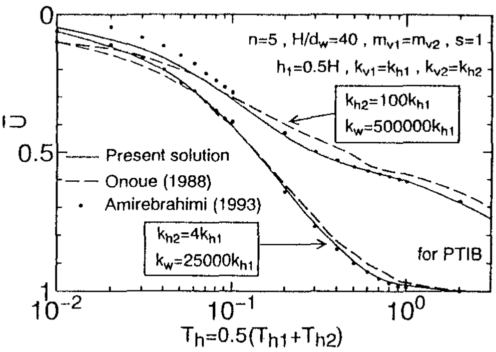
式中：

$$g_m(z) = \left(1+\frac{\lambda_{mi}^2}{\varphi_i}\right)\left[a_{mi}\sin\left(\lambda_{mi}\frac{z}{H}\right) + b_{mi}\cos\left(\lambda_{mi}\frac{z}{H}\right)\right] + \left(1-\frac{\xi_{mi}^2}{\varphi_i}\right)\left[c_{mi}\sinh\left(\xi_{mi}\frac{z}{H}\right) + d_{mi}\cosh\left(\xi_{mi}\frac{z}{H}\right)\right]$$

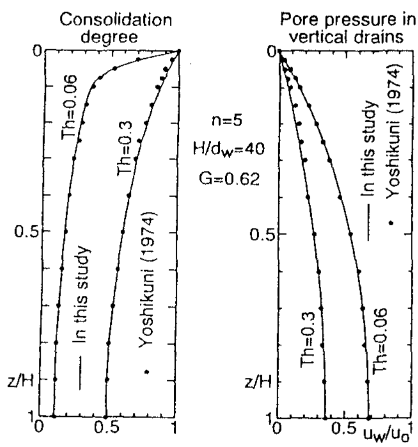
β_{mi}、a_{mi}，b_{mi}，c_{mi}，d_{mi}、A_m、λ_{mi}、ξ_{mi}　φ_i の求める方法は参考論文 3）と 6）に紹介される。



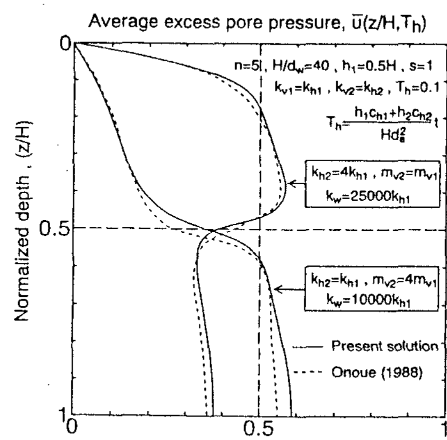
図―3　均質地盤の全地盤平均圧密度～時間曲線



図―5　二層地盤の全地盤平均圧密度～時間曲線



図―4　均質地盤の土の圧密度とドレーン
内部の間隙水圧の深度分部図



図―6　二層地盤の間隙水圧の深度分部図

3．計算と比較

図―3を見ると、Carrillo 方法の計算値は提案する解析解の値より大きい。図―3と図―4において、著者らが提案する解析解の値と吉国氏の解析解で求めた値との差異は非常に小さい。図―5と図―6を見ると、提案するドレーンを打設した二層地盤圧密解析解によって求めた結果と複雑な数値解析方法で求めた結果の差異は非常に小さい。

4．まとめ

提案した準等ひずみ条件は適当である。提案した計算モデル、特に二層地盤圧密の不同層境界面の連続条件は適当である。一層地盤におけるバーチカルドレーン圧密解析解の二層地盤への拡張が可能となった。

参考論文

1). Barron, R.A.(1948). Consolidation of fine grained soils by drain wells. *Trans. ASCE* 113, 718-742.
2). Yoshikuni, H. and Nakanodo, H. (1974). Consolidation of soils by vertical drain wells with finite permeability. *Soils and Foundations* 14, No. 2, 75-90. 3). Tang, X.W. and Onitsuka, K. (2000). Consolidation by vertical drains under time-dependent loading, *Int. J. for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics.* in press. 4). Amirebrahimi, A. M. (1993). Continuum model and analysis of wick-drained systems. *Int. J. for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* 17, 827-847. 5) Onoue, A. (1988). Consolidation of multilayered anisotropic soils by vertical drains with resistance. *Soils and Foundations* 28, No. 3, 75-90. 6) Tang, X.W. and Onitsuka, K. (1998). Consolidation of ground with partially penetrated vertical drains. *Geotechnical Engineering Journal* 29, No.2, 209-231.