

㈱奥村組筑波研究所 正会員 ○増井 仁
 ㈱奥村組技術研究所 正会員 小田恵之輔
 ㈱奥村組筑波研究所 正会員 日下部 伸

1. はじめに

地下水位低下にともなう圧密沈下計算では低下後の地下水位より上部については三角形の有効応力増分を対象とすることが多かった（図-1）。しかし、上から水の補給がないとすれば、地下水位より上部では負の圧力水頭が発生していることになり、これが有効応力増分に影響することもあると考えられる。今回、パーチカルドレーンの一種であるプラスチックボードドレーン材（以下PBDと略す）を用いて2種類の模型実験を実施し¹⁾、飽和・不飽和浸透・応力連成解析を行い、負の圧力水頭が圧密沈下に及ぼす影響を検討したので報告する。

2. 模型実験の概要

PBDは図-2に示すように、幅10cm、厚さ5mmのプラスチック製で、独立したストロー構造をコア部とし、表面には不織布を貼付してある。中央にPBDを取りつけた内径30cm、高さ105cmの円筒容器にMCカオリン（ $W_L=82\%$ 、 $I_P=43\%$ ）を W_L の1.5倍の含水比で攪拌投入し、 0.05 kgf/cm^2 の荷重で予備圧密を行った。予備圧密終了後、実験Ⅰでは、更に 0.10 kgf/cm^2 の荷重をかけて、PBDを通して排出されてくる水を上部で排水した（載荷法）。実験Ⅱでは、PBDのコア上部から圧縮空気を間欠的に送り、ドレーン用小穴から集水された水を強制的に上部に排出した（排水法）。沈下量の他、中央高さの外周部で間隙水圧を計測した。

3. 解析手法

飽和・不飽和浸透・応力連成解析の基礎式は次式で表わせる。

$$\begin{bmatrix} K & C \\ G & -\alpha \Delta t H - E \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta u \\ h \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Delta F \\ Q \end{Bmatrix}$$

ここに、 Δu は変位増分、 h は全水頭、 ΔF は荷重増分、 Q は流量、 Δt は時間増分、 α は時間積分に関するパラメータ、

$$\begin{aligned} [K] &= \iint_R [N, i]^T [D] [N, j] dx dy, & [C] &= \iint_R [N, i]^T \chi \{1\} [\bar{N}] dx dy \\ [G] &= \iint_R [\bar{N}]^T S_r \{1\} [N, j] dx dy, & [H] &= \iint_R [\bar{N}, i]^T [k] [\bar{N}, j] dx dy \\ [E] &= \iint_R [\bar{N}]^T c(\psi) [\bar{N}] dx dy \end{aligned}$$

N は変位（二次）、 $\bar{N}$ は間隙水圧（一次）の形状関数、 $[D]$ は応力～ひずみマトリックスで、関口・太田の弾塑性構成式を用いている。 χ は不飽和領域における有効応力に関するパラメータで $\sigma_{ij}' = \sigma_{ij} - \chi \delta_{ij} \psi$ 、 ψ は圧力水頭、 S_r は飽

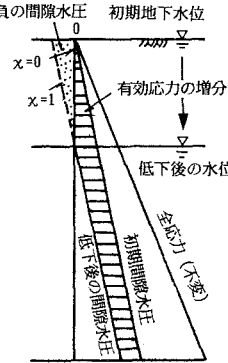


図-1 有効応力増分

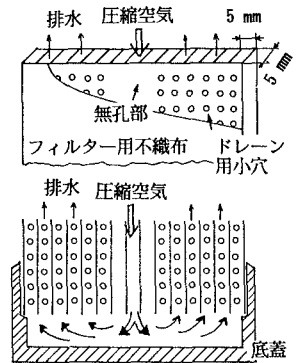


図-2 PBDの構造

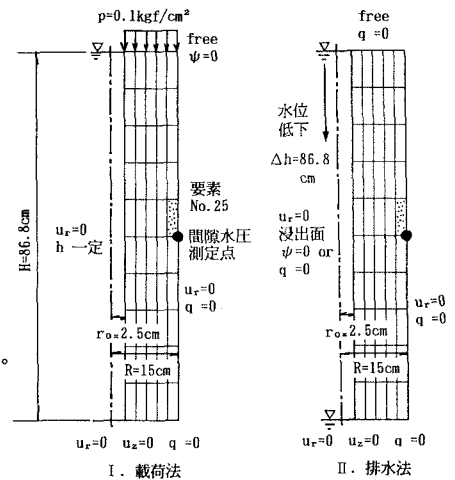


図-3 要素分割と境界条件

表-1 物性定数

記号 (単位)	カオリン
λ	0.420
κ	0.252
e_o	2.50
M	0.689
k (cm/s)	7.5×10^{-7}
k_o	0.667
ν	0.4

和度、 k は透水係数、 $c(\psi)$ は比水分容量である。数値計算はPBDを直径5cmの円筒でモデル化した軸対称有限要素解析を行った。図-3に要素分割と境界条件を示す。排水法のPBD側は浸出面境界とした。表-1に計算に用いた物性定数を示す。

4. 測定値と計算値の比較

図-4に沈下量の経時変化を示す。載荷法の測定値に合致するように、主として I_p から推定した物性定数を若干調整しているが、飽和領域の圧密沈下はうまく説明できていると考えられる。不飽和領域の発生する排水法では、負の圧力水頭が全く有効応力に寄与しない $\chi=0$ 場合と、飽和領域と同じくすべて有効応力に寄与する $\chi=1$ 場合の2ケースの計算を行った。どちらのケースも排水開始後およそ10,000分までは同じで、計測値ともほぼ一致している。その後 $\chi=0$ の場合は収束するのに対して、 $\chi=1$ の場合はさらに新たな圧密沈下が発生するような挙動を示している。測定値は $\chi=1$ の計算値に沿って沈下している。 $\chi=0$ の最終沈下量は三角形分布の有効応力増分に対応しており、載荷法のほぼ半分である。一方、 $\chi=1$ の最終沈下量は載荷法とほぼ一致している。圧密沈下曲線が2段階になっているのは、最初は水平方向の放射流れが支配的であったものが、不飽和領域が発生してくると、鉛直下向きの流れが支配的になってくるためと考えられる。

図-5に圧力水頭の経時変化を示す。載荷法の場合は初期値から瞬時に1mの上昇があった後低下しはじめ、測定値、計算値ともほぼ10,000分で初期値に収束する。これに対して、排水法の計算値は初期値からなだらかに減少しはじめ、12,000分でほぼ0に到達する。そこから $\chi=0$ は急激に負の側へ移行し、 $\chi=1$ は0に近い状態がしばらく継続した後、図示できていないが、50,000分程度から負の側へ移行する。排水法の測定値は計算値に比べて早い時期から負の値になっているが、これは体積収縮に伴い容器と供試体の間に空隙が発生した可能性が考えられる。

図-6に要素No.25の有効応力経路の計算値を示す。ごく初期の段階で一時的にせん断変形が生じているが、その後はいずれの場合も K_0 -Lineに沿った経路をたどっている。

5. まとめ

水位低下による圧密模型実験を行い数値計算結果と比較した。不飽和領域で発生する負の圧力水頭も有効応力に転化すると考えられる結果を得た。これは、今回の実験は極めて小さいサクシンの範囲で、飽和度もほぼ100%に近い範囲にとどまったことが原因と考えられるが、不飽和領域の圧密沈下量も無視できないほど大きい可能性もあり、今後さらにパラメータ χ の設定方法について検討していきたい。

1) 小田他「プラスチック・ボード・ドレーン材を用いた地下水位低下工法」第28回土質工学研究発表会

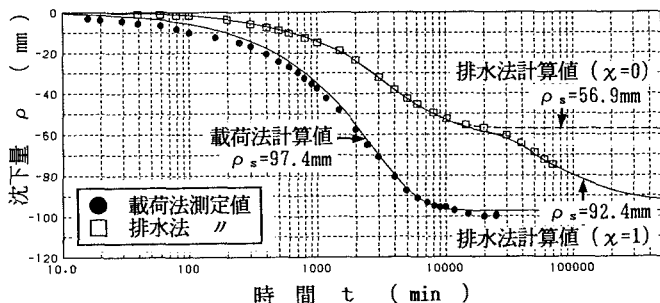


図-4 沈下量の経時変化

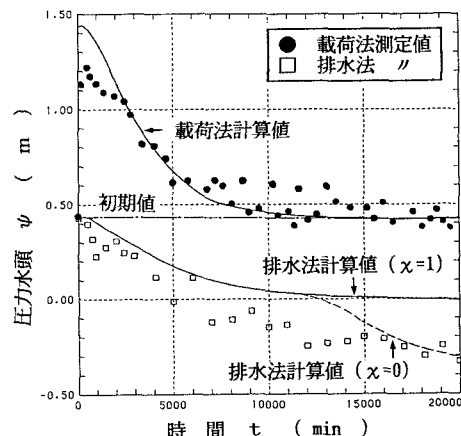


図-5 圧力水頭の経時変化

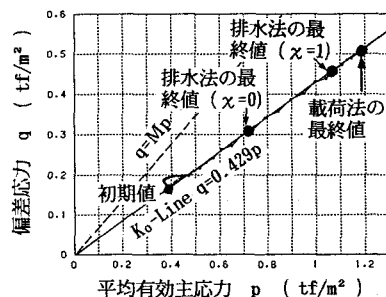


図-6 有効応力経路