

2-13 地盤改良に於けるバーテカルドレーン効果に関する二、三の考察

広島大学 正工博 網 千 寿 夫
“ “ 工 修 吉 國 洋

1. まえがき

昭和27年サンドドレーン工法が初めて我國の軟弱地盤に採用されて以来最もオーソドックスな軟弱地盤改良工法として広く採用されている。このように一般化してきぬバーテカルドレーン工法であるが施工実績が増加すると共にこの工法のいくつかの問題点も次第に明らかとなつてきた。

その問題点の一つは、バーテカルドレーン工法によつて改良された地盤の強度増加率が深度と共に減少する事である。即ち深部の圧密に遅れが存在するという事であつて、この現象は主としてバーテカルドレーン内に生ずる水頭損失によるものと考えられる。諸外國では比較的輕視されながらであるが高含水比、高圧縮性で且つ非常に深い我國の軟弱地盤に於てかなり密にドレーンを設置し比較的急速な改良を期待する場合には水頭損失の影響を無視する事は出来ない。

バーテカルドレーン工法に於ける次の問題点も圧密速度に関する問題である。現在、圧密速度と規定する水平方向圧密係数 C_h が実験室的に決定されるに過ぎない事である。そのため便法として一軸圧密試験より鉛直圧密係数 C_v を求め、經驗的に $C_h = (1 \sim 2) C_v$ という値を採用するか、又は最も信頼される方法として現位置に於ける盛土試験から C_h を決定する方法が採用されている。しかしながらこのような盛土試験に於けるバーテカルドレーンと施したものと施さぬものの圧密沈下過程に有意の差が認められなかつたという試験結果も二三例報告されている。そして軟弱地盤にバーテカルドレーンを施工しても圧密速度に有意の差が認められぬのは、ただ単にそれぞれの場所の持異性であるに止らず沈下の本質自体がこのような形を示すと考え、沈下の機構自体について根本的に再検討する必要があるとし、軟弱地盤改良に於けるバーテカルドレーンの効果にかなりの不信を持つ意見もある。¹⁾しかしながらバーテカルドレーン工法は粘土の圧密所要時間が最大排水距離の二乗に比例するという事実に基づき土質力学的手法で考案された工法であり、ドレーンの効果を完全に否定する事は出来ない。そこでバーテカルドレーン工法かどの様な地盤条件、荷重条件及びその他諸条件の時に効果的であり効果的でないかを理論的に或いは現場の実施データから検討してみよう必要があると考えられる。

2. Barronの理論と仮定

現在バーテカルドレーン工法の設計理論は Barronの *Equal Strain, No smear & No Well Resistance* の場合に於けるドレーンへの放射流圧密理論が一般に採用されている。Barronの理論に基づいてバーテカルドレーンの設計がなされ、それが所期の目的を達成するためには当然の事ながらBarronの理論の適用範囲にある事が必要である。そこでドレーンの効果を推定したり問題を提起する意味で一応Barronの置いて仮定を並べあげよう。

Barronの理論はTerzaghiの一次元圧密理論と排水の方向だけ二次元ないし三次元に拡張したものでTerzaghiの仮定はそのまゝ用いられている。

従つて一次元圧密と共通の仮定は

仮定1 粘土は一様である。
1) 工費調査試験結果の併用と適用例。工費工学会。

仮定2 粘土は飽和している

仮定3 粘土の骨組の圧縮は一次元的(鉛直方向)である。

仮定4 粘土粒子、水は非圧縮性である。

仮定5 粘土中の水は Darcy の法則に従う $v_v = k_v i_v$, $v_h = k_h i_h$

仮定6 粘土の有効応力と間隙比の関係は一義的に定まり、二次圧密及び膨張過程は存在しない

仮定7 圧密過程中 M_v, k_v, k_h は一定 従って $C_v = k_v / \gamma_w M_v$, $C_h = k_h / \gamma_w M_v$ も一定

仮定8 圧密圧力は圧密過程中一定

仮定9 粘土層の厚さは変化しない

仮定10 粘土の自重の影響は考えない。

Barron 独自のものとして

仮定11 各ドレーンの影響域は円である。

仮定12 圧密に伴う剪断変形は圧密過程に影響を与えない。

仮定13 ドレーンに応力が集中しない。Equal strain のケースであれば、この圧密の初期粘土層(影響円の周辺)に力が集中し圧密の進行と共に Free strain の場合に漸近し影響円内の力は一律となる。

我々では Free strain の沈下過程と Equal strain の沈下過程にあまり差がないという理由からあまり区別せずに用いられている。例えば沈下過程の解析は Equal strain、間隙水圧の解析は Free strain といった具合である。実際には $\alpha = \frac{d\sigma}{d\sigma_0}$ の値が 10 以下では圧密の初期にかなりの差がある。

その外設計上の簡便さから

仮定14 バーチカルドレーンの透水係数 k_v は無限大である。

仮定15 ドレーン周辺は攪乱されずスミヤー域は生じない。

仮定1 ~ 15 から Barron は Terzaghi の一次元圧密を三次元に拡張して

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + C_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (1)$$

とこ更に鉛直方向と水平方向を別々に解いてそれぞれ u_z , u_r とすると両者が同時に成り立ち、その間隙水圧 u は

$$u = u_z \cdot u_r \quad (2)$$

であるとした。バーチカルドレーンによる圧密に於いては歪の方向と排水の方向が異なるため(1)式は成立しない²⁾のであるが、ここではあくまで Barron の範囲で軟弱地盤改良に於けるドレーンの効果を推論する事にする。

3. ドレーン効果判定の検討項目

軟弱地盤改良のいくつかの現場データについてバーチカルドレーンの効果を検討するにあたり、次様な考え方で整理を行う。軟弱地盤をバーチカルドレーンで改良するケースには二つあり、第一は圧密沈下を促進し以後の沈下を減少させる事を主目的とする場合、第二は圧密沈下の促進だけでなく剪断強度の増大を第一に考える場合である。

先づ第一のケースでは主として圧密沈下時間曲線が問題となる。

仮定1. について、一般に表層部が極めて軟弱で M_v が大きく場合によっては C_v も大きい。この事は(1)式に於いては次の関係が成り立つ。

にはあまり影響を与えないが、 σ_2 にかなりの影響を及ぼす。圧密の初期の実現下が理論値下より先行する。
仮定2.4は比較的問題にならず少ない。

仮定3は粘土の圧縮と鉛直応力だけで取扱うために必要な仮定であるが、実際には部分載荷のケースも多く鉛直応力だけでは取扱いにくい事が多い。特に剪断変形による現下と圧密現下とを区別する事が困難であり、剪断変形が圧密過程に及ぼす影響など未知の問題が多い。

仮定5については圧密荷重が比較的大きい場合にはあまり問題にならないが、限界動水勾配が認められる事から圧密荷重が小さい時、或は圧密の終期にその影響が大きいの。

仮定6は圧密に共通の問題であるが一般に一次元圧密に比べてバーテカルドレーンによる圧密はその最大排水距離が小さいという意味で二次元圧密の影響は σ_2 より σ_1 に大きい。

仮定7、8、 m_v 一定の事柄も圧密に共通の問題であるが間隙水圧に関するものゝ否に書き置かれる事から現下過程に対しては比較的問題は少ないと考えられ、むしろ C_h の決定法に問題がある。

仮定8、10、11については比較的問題は少ないと考ええる。

仮定9 σ_2 には関係ないが σ_1 が急激に早くなる。

仮定12、仮定13に於いて検討

仮定13、サンドドレーンで n の値の小さい場合はむしろ砂粒に应力が集中すると考えられる。

仮定14、 σ_2 には関係なく σ_1 と σ_2 の差の方向に働く

(2)式では軟弱地盤と深度方向に部分改良する場合に σ_2 の解析が出来るかどうか疑問である。

以上、現下解析をする上での問題点と並べて述べるが、剪断強度の早期増加を主目的とする地盤改良については以上の外に次の事が問題となる。

仮定7、8、 m_v 一定と考えないならば圧密現下過程よりも有効応力増加過程が少し遅れた形になり、剪断強度は有効応力に比例するから剪断強度は圧密現下過程の終期に集中して増加する事になる。

この影響は粘土が軟弱である(m_v 大)程、圧密荷重(q_p)が大きいの程著しい。

仮定19、ドレーン応力が集中するとすれば剪断強度の増加率がサンドドレーンとバーバードレーンで差があると考えられる。

仮定14、ドレーン内の水頭損失の圧密過程への影響因子は $R = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{R_n}{R_0} \left(\frac{1}{a_n} \right)^2 = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{R_0}{R_n} \cdot m_v \left(\frac{1}{a_n} \right)^2$ であり軟弱である(R_n , m_v , C_h 大)程その影響は大きく、ドレーン先端部の圧密の遅れが著しい。

仮定15、攪乱による強度低下は鋭敏比に関係する事は勿論であるが、 n の値、ドレーンの長さに関係するであろうし、又軟弱なものには攪乱によって失う強度が小さいが比較的硬いものは失う強度も大きい。従って実質上比較的軟弱なものに対して大きな圧密荷重(数段に分割載荷するとしても)の場合は攪乱の影響は少ないであろうし、硬いものに比較的小さい圧密荷重の場合攪乱の影響は著しいわけだ。台型載荷の法付近に設置されたドレーンの先端付近は攪乱の影響を受け易い事になる。又部分載荷に伴う剪断変形による攪乱の影響が考えられねばならない。

その他、ドレーンの効果をよく疑われるものに複雑な地盤と特殊地盤(例えば泥炭)の改良があるがこれらはただ単にバーテカルドレーンによる圧密の問題だけでなく調査の問題であり圧密全体の問題であると考えられる。以上の考え方に基いて現場データを検討して結果は紙数の都合で当日報告する予定である。