

京都大学工学部 正会員 赤 井 浩 一

1. 序 各種バーチカルドレーンの中で、サンドドレーンは最も歴史が古く施工実績も多いため、現在でも深層地盤改良工法の主流としての地位を占めており、この工法をさらに深い軟弱土層の改良に利用しようとする機運がみられる。観ると、元来サンドドレーン工法の効用については種々の論議がなされてきたところであるが、ここでは従来あまり検討がなされてこなかつた二、三の問題について有効応力の立場から基礎的考察を行う。

2. 砂柱打設時の地盤の圧密

サンドドレーンの施工において、砂柱打設時の地盤の圧密に関して調べたものはわずかである。ことに現地地盤で打設時の間隙水圧や沈下が計測された例はほとんどなく、また仮りにそれがあつても、理論的裏づけがなされた例は皆無といつてよい。

排除型砂杭の打設による圧密に関して、赤木^{1) 2)}は一連の理論的研究を行い、それが改良地盤の強度に対して多くの場合無視できない効果をもつことを述べた。すなわち、サンドドレーン工法に用いられるマンドレルの打込みと、排除型の杭の打込みとは軟弱地盤に対して同じ効果をおよぼすものと考える。飽和粘性土は杭の打込みに対して非圧縮的に挙動し、一部は地表面の隆起として、残りは側方への移動として排除されるが、同時に打込み地点周辺の間隙水圧は大幅に上昇し、このように発生した過剰間隙水圧の消散が杭の打設による圧密現象であるとするものである。砂柱と杭との唯一の相違は、地盤土との境界における排水条件であり、後者がそれを不透水性とするのに対し、前者では透水性境界面とみなしている。

ここで、砂柱打設時の地盤の圧密に役立つと思われる現地での実測記録として、錦海湾干拓堤防の基礎地盤のサンドドレーン施工を引用しよう。土質や施工条件などの詳細は文献³⁾によるとして、本堤下部のサンドドレーン部分における過剰間隙水圧の測定結果の一例が図-1である。図において、最初に現れる大きな水圧はサンドドレーンの打込みによるものである。この時期における載荷重は、敷砂による 0.6 t/m^2 に過ぎない。ドレーン打設による水圧は、その後の盛土荷重のもとでのものに比べて消散が速い点に注意しよう。

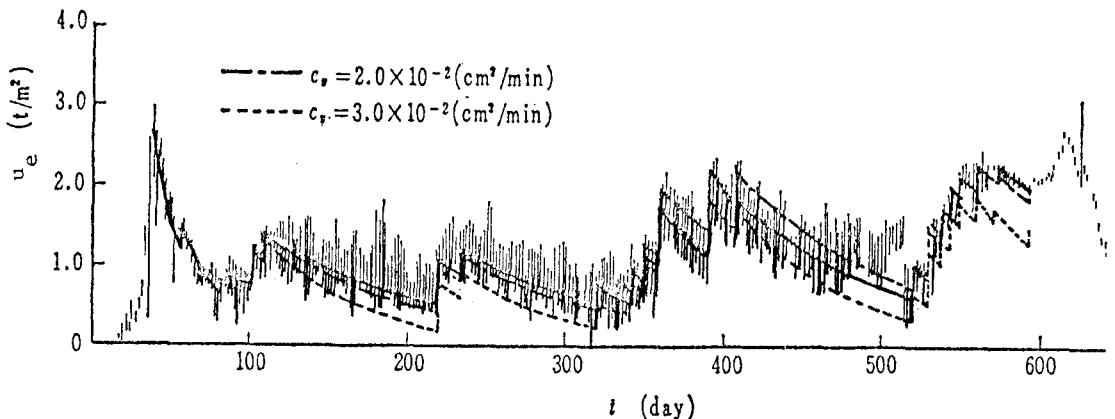


図 - 1³⁾

ところで、軟弱地盤に砂杭を打設するときの圧密挙動として、第一にマンドレルの打込みという動的な衝撃応力の効果、第二に砂柱土による地盤土の排除の影響の両者が考えられる。衝撃応力の効果は、単発のパルスによる地中発生応力によるものであり、このような初期過剰水圧面は砂柱打設という瞬間的な衝撃により出現した一過性のものであるから、通常の盛土載荷のさいのように圧密期間中作用し続けるものではない。たとえていえば、盛土載荷を早期に除去したのと同じことであり、これを永久載荷のように考えると現実的ではない。したがって、サンドドレーン打設における間隙水圧の消散が速いといつても、消散分だけ有効応力の増加となつていゝるのではないことに注意せねばならない。何故ならば、この場合は全応力そのものが一定ではなく、きわめて短期間だけ現れるに過ぎないからである。一般に圧密は過剰間隙水圧の消散で生ずるのではなく、有効応力の増加で生ずるから、結局砂柱打設時の衝撃応力が地盤の圧密に与える効果は無視してよいと考えられる。よつて、ドレーン打設による有効応力増加があるとすれば、それは衝撃応力とは全く別の機構、すなわち砂柱設置による粘性土の排除効果である。面積比から考えれば、排除による粘土のひずみ ϵ は $1/n^2$ ($n = d_0/d_w$) となる。たとえば $n = 5$ のとき $\epsilon = 4\%$ 。このひずみを与えることにより粘土層内に全応力が発生し、これは非排水条件下では直ちに過剰間隙水圧になるが、砂柱での過剰水圧が 0 であれば、これを排水境界として粘土層内の過剰水圧が消散することができる。サンドドレーン施工中に観測記録されている間隙水圧は恐らくこの部分のものであろう。

それでは、この過剰水圧が消散してしまえば全部有効応力に転換しうるであらうか。答えは、この場合も全部ではなく、その一部が有効応力となるに過ぎない。その理由は、やはり全応力が一定でないことによる（もちろん衝撃応力ほど急速には消滅しないが）。マンドレル挿入による土の排除という過程は一種の定ひずみ条件を地盤に与えたことになり、地盤内応力（全応力）は当然応力緩和を伴うからである。そして、このような全応力の時間的推移のもとにおける粘土層内過剰水圧の消散は、もちろん全応力一定の場合より速やかであり、図-1 の水圧挙動を説明するものである。また、沈下や強度増加に役立つ有効応力の増加は過剰水圧の消散分全部ではなく、全応力の減少分を差し引いたものとなる。

3. 複合地盤上の載荷による圧密

サンドドレーンを施工した地盤は砂柱と周辺粘性土との複合地盤であるが、載荷重によるその圧密機構について有効応力の面から検討した結果を別に報告した⁴⁾。結論だけを述べると、サンドドレーンの圧密は、粘性土層の圧縮性との相対における砂柱の圧縮性の大小に支配されると考えねばならない。すなわち、砂柱がゆるくて圧縮性が大であれば、地盤の圧密初期に砂柱内の過剰水圧が残存しない理想的な境界条件が満足されることになる。逆に砂柱が密で圧縮性が小であれば、砂柱に過剰水圧が残りやすい。パーチカルドレーン工法の中でも、砂柱をよく締め固める方式のサンドコンパクションパイル工法は、この後者に属すると考えられる。端的にいって、砂柱への応力集中は圧密を促進させるべき粘性土層に有効な載荷重が作用しないことにほかならず、元来、砂柱での支持と圧密促進とは相反する機能であることが認識されねばならない。

参考文献 1) 赤木：Proc. 9 ICSMFE, 1, 1977, 1/1

2) 赤木：土木学会第 32 回年次学術講演会講演概要，Ⅲ—104, 1977, p. 187

3) 中瀬・小林：土と基礎，20—8, 1972, p. 19

4) 赤井：土木学会論文報告集，277, 1978, p. 137