

1. はじめに

筆者は先に排除型砂杭としてのサンドドレーンやサンドコンパクションパイルの打設による圧密や、改良地盤の強度に対して、多くの場合、望むべき効果を持つことを若干の実例について示した^{1)~3)}。また砂杭打設による軟弱粘土の圧密は、その大部分が比較的急速に発生することを指摘したが、以下にこの圧密現象の本質および時間的経過についての一考察を要約する。

2. 単杭の打設による余剰間ゲキ水压の発生と消散

砂杭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、軟弱地盤に対して全く効果を及ぼすものと考えられる。飽和粘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、残り大部分は側方へ移動として排除されるが、全時に打込み地盤周辺の間ゲキ水压は水中に上昇する。こうして発生した余剰間ゲキ水压の消散が杭の打設による圧密現象であるが、これによる杭周辺の強度増加は古くより認識されており、打設された杭を中心として水平方向放射状に排水が行われることが指摘されている。Soderberg⁴⁾は、単杭の打設による余剰間ゲキ水压 u の時間的変化は、Barron α 式と全形で表わされることを示し $T=0$ とならう、極座標を用いて r は杭中心からの距離、 c_h は水平方向の圧密係数とすれば、 $\frac{\partial u}{\partial t} = c_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right)$ — (1) 彼はさらに、打設時における水平面上の力の釣合い条件より、水平全応力の増加は r に反比例することを示し、杭の半径を r_0 、杭周面に発生する u を u_0 とすると、 $u = u_0 \cdot r_0 / r$ — (2) と仮定できることを示している。Hagerty & Garlangier⁵⁾ は数例の実測値を整理して、この仮定の妥当性を示唆している。

単杭の場合は(2)式を初期条件とし、杭周面を不透水境界とすれば、(1)式が解を得られる^{4,5)}。1本の砂杭打設の場合についても、(2)式による初期間ゲキ水压の分布を仮定し、砂杭周面を排水面であるとすれば、容易に(1)式の解を求めることができる。Fig. 1は差分法による解を、新たに定義した時間係数 $T' = c_h \cdot t / r_0^2$ — (3) について示したものである。この図によれば、砂杭打設後の u の消散は、砂杭周辺で急速に進行することが明らかであるが、また全時に外方に向う放射状排水の傾向が認められる。この傾向を明示するため、Fig. 1では特に $T' = 0.25$ の場合を点線で示した。

u はある距離より外側では、僅かながら初期値より小さくなり、この距離は時間の経過と共に外方に移動する。

いま中心の砂杭(半径 r_0)を除く円柱内の u の消散を、砂杭の打設による圧密の進行と考えれば、Fig. 1の計算結果を用いて、種々の半径 r をもつ中空円筒形の飽和粘土につき、その平均圧密率 $\bar{U}$ を求めることができる。

Fig. 2は、半径 $2 \sim 10 r_0$ の場合に対する $\bar{U}$ の時間的経過を示す圧密曲線である。

以上は1本の砂杭についての考察であるが、実際には複数の砂杭が、ある

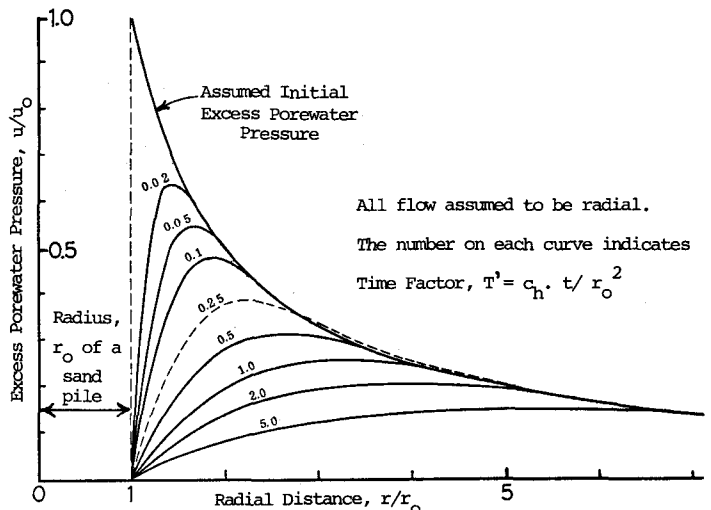


Fig. 1 Isochrones for Consolidation due to Installation of a Single Displacement Type Sand Pile

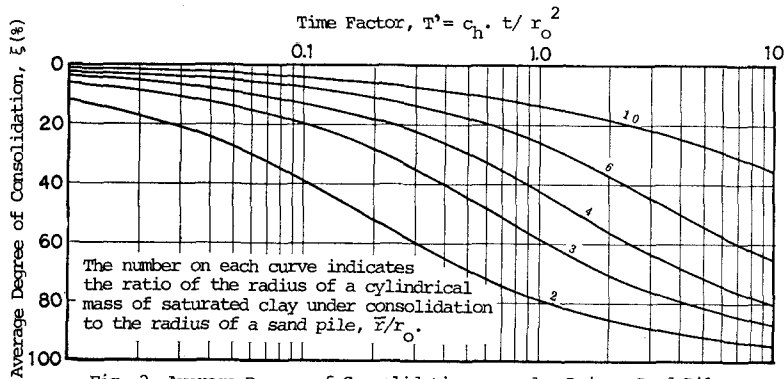


Fig. 2 Average Degree of Consolidation around a Driven Sand Pile

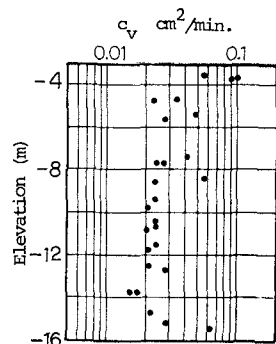


Fig. 3 Vertical Coefficient of Consolidation, c_v

表1 サンドレーンの打設に伴う圧密と圧密係数 距離的・時間的間隔を以て打設されるから、 u の発生・消散

	$(\Delta V/V)_w$	ξ	T'	$c_h \text{ cm}^2/\text{min}$
上 S1	3.50%	0.52	1.55	0.096
下 S2	4.42	0.65	3.20	0.046
上 S1	1.55	0.23	0.30	0.019
下 S2	2.93	0.43	1.02	0.015
平均 S1	2.14	0.32	0.53	0.033
平均 S2	3.38	0.50	1.42	0.021

の過程は違いに複雑なものとなる。しかし、砂杭周囲の圧密は急速に進行するから、 u の初期条件が双曲線分布で近似され、なおかつ既存の砂杭がある程度密着している場合には、Fig. 2の結果は実用的な意味をもつことが予想される。
3. ケース・スタディ(衣浦港における野外実験データ)
砂杭の打設後、盛土載荷前に、改良効果を実測した例^(2,6)の中で少ない。衣浦港における打込式サンドレーンの例に

例えば、直径50cm、1.7m正方形配置の砂杭28本が海底粘土層に打設され、1週間後、1ヶ月後に各2本のチェックボーリングが行われた。海底2m(EL.-2~-4m)は砂で置換されたが、盛土載荷は行われていない。表1は粘土層を上層(EL.-4~-7)と下層(7~-14)に分け、打設後1週間(S1)と1ヶ月(S2)の含水比の減少より求めた平均体積変化率 $(\Delta V/V)_w$ を示す。砂杭打設による圧密量は $\beta(A_s/A)$ で示されるから^(2,3)、この場合 $\beta=1$ と仮定すれば、平均圧密率 $\xi=(\Delta V/V)_w/(A_s/A)$ ；このケースでは $A_s/A=6.8\%$ 。一方、砂杭1本当りの改良地盤・換算円筒形の半径 r は96cm、 $\therefore r/r_o=4$ 。Fig. 2の曲線より ξ に対応する T' を求めると、表1に示したように(3)式により c_h を得る。Fig. 3は垂直方向の圧密係数 c_v の深度分布を示したものである⁽⁶⁾。上層の c_h は c_v よりやや大きく、下層の c_h は小さい。 $(\Delta V/V)_w$ の加重平均より求めた c_h は c_v とほぼ等しい。ほぼ砂杭間中心地点における変化と推察されるデータと平均圧密率 ξ とを連結しようとする以上の試みはいさゝか乱暴なものではあるが、smeardの影響、エアでは垂直方向の排水を無視している影響などを考慮するとしても、この試みによる計算値 c_h は、全く荒唐無稽なものではないように思われる。

4. おまけ 上記の考察のみによる結論は厳密でないが、従来完全に無視されてきた盛土載荷以前の段階における砂杭打設のみによる効果について、ある程度定量的に明確化できたと考えている。各種のカードボードレーンについて、現在マンドレル打込みの効果は全く無視されているが、上記の考察によっても明らかにように、多くの場合、この要因による圧密効果は無視すべきでないと考えらる。

5. 参考文献 1) 赤木, 昭51土木学会年次大会 III-257, 2) 赤木, 昭52 土壌工学研究発表会 315, 3) Akagi "Effect of Mandrel-driven Sand Drains on Strength," Proc. IX ICSMFE, Vol.1, July 1977 1/1
4) Soderberg "Consol. Theory Applied to Fdn. Pile Time Effects," Géotechnique, Vol.12, No.3, 1962
5) Hagerty & Garlanger "Consol. Effects around Driven Piles" Proc. Sp. Sess. on Perf. of Earth & Earth-supported Struct., Vol.1, Part 2, ASCE, June 1972 6) 木庭・堀江「砂杭を打設した粘性土の地盤の挙動」港研報告第10巻第3号 1971年9月 [June '77 for JSCE Meet' Kobe]