

圧密による時間沈下曲線の計算図表

資 料

渡 辺 隆*

要 旨

粘土層の圧密沈下は、しばしば取扱わねばならない土質工学上の問題である。ところで時間沈下曲線の算定は簡単な式を計算するにもかかわらず、面倒なものである。特にサンド ドレーン等の圧密促進工法を対象とすれば、試行をくり返さねばならない。この手間をはぶくため、計算図表を作成した¹⁾ので報告する。

1. 概 説

圧密沈下の時間沈下曲線は、多くの仮定にもとづいた理論から導かれていて、しかも実際の計算資料として使う土質試験結果はかなりばらついたものを利用しなければならない。特にサンド ドレーンやペーパー ドレーンの設計では、試行をくり返して所要の配置を見出す手間も要する。この種の計算はもともそれほど精度の高いものとは考えられないし、あまりこれに時間を費すよりも、なるべく手軽に算出できるような方法を考え、より本質的な判断に多くの時間を使うようにすべきであろうと思われる。また簡単に計算結果が求まれば、ばらついた土質試験結果の適当な範囲を求めて、計算結果の範囲をある幅で推定し、工法の判断の助けに使うことも容易に行なえる。この意味から考えた計算図表が以下に述べるものであるが、この方法を考えたのは数年前のことであったので、時間的に多少遅れてはいるが発表する次第である。

2. 時間沈下曲線（一軸圧密の場合）の図解法

時間沈下曲線は、Terzaghi の圧密理論を応用して求めることは周知のとおりである。すなわち、Terzaghi は一次元圧密の場合に沈下量に比例する無次元量の圧密比 U と時間に比例する無次元量の時間係数 T との関係、境界条件、初期条件に合わせて解を求めた。

$$U=f(T) \dots\dots\dots(1)$$

式(1)を通常の条件の場合に数値的に求めたものが、一般に圧密の時間沈下曲線の推定に利用されているもの

* 正会員 工博 東京大学助教授 土木工学科

である。

それゆえ一般に行なわれている時間沈下曲線の推定は、つぎの順序にしたがって行なわれる。まず全沈下量を圧密試験結果と、地盤中の応力増加から求める。つぎに、平均圧密比 U と時間係数 T との関係を、現場での境界条件に合わせて数値を求める。すなわち $U=20\%$ ならば $T=0.031$ というように、Terzaghi の解にしたがって求めるわけである。つぎに平均圧密比が 20% ならば、先に求めた全沈下量の 20% が生ずることになるから、このときの沈下量はすぐに求まるし、このときまでに要する時間は、時間係数 T が次式で定義されているので計算できる。

$$T = \frac{c_v \cdot t}{H^2} \dots\dots\dots(2)$$

ただし c_v : 圧密係数, t : 時間, H : 最大排水距離である。式(2)を書き直すと、

$$t = \frac{T \cdot H^2}{c_v} \dots\dots\dots(3)$$

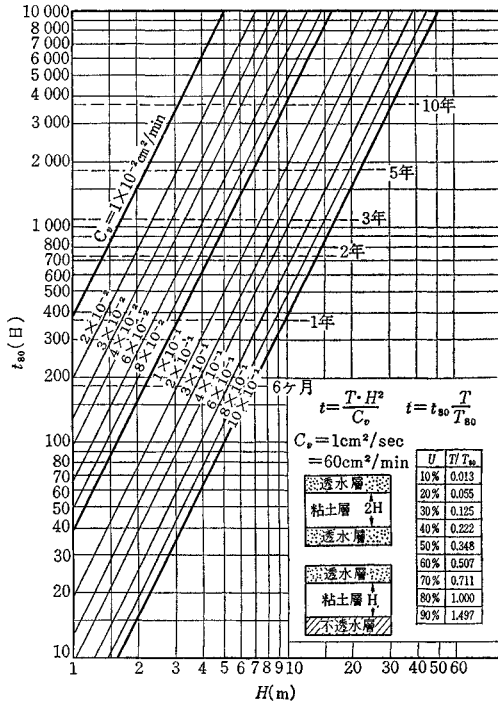
となり、平均圧密比に対する時間係数 T が知られており、 c_v は圧密試験結果から求まり、 H は地層の厚さと透水層の位置によって決まる。よって、 t は仮定した平均圧密比に対して計算できるのである。

この順序をくり返すと、時間沈下曲線上の点がいくつも求められ、これを連続した曲線で結ぶことによって全体の曲線を描くことができるのである。

それゆえ一見何でもない計算であるが、 c_v は通常 cm^2/sec で、 H は m で示されているから、 H は cm に直し、 c_v を少なくとも日数の単位にするとかなり面倒になる。そこで筆者はこれを図解法で求めるようにしたほうが手間が省けると考えたのである。この場合 c_v の単位は cm^2/min で示しているから、 cm^2/sec の値で示してあれば 60 倍することになる。実際の工事では、80% 圧密を対象に工事計画を立てる場合が多いので、80% 圧密に対して計算図表をつくったものが図-1 である。

たとえば、厚さ 20 m の粘土層が上下に砂層ではさまれた場合を考える。最大排水距離 H は 10 m となり、 $c_v = 1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec} = 6 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{min}$ とすれば、 t_{80} は図よりすぐに 6500 日と求まる。80% 以外の時までに要する日数も、図中の U と T/T_{80} の表のうち、時間係

図-1 80% 圧密に要する日数の計算図表



数の比をかければ良いから、たとえば 50% 圧密ならば $t_{80} \times 0.348 = 2260$ 日と求まる。すなわち t_{80} のところに計算尺を合わせておけば、カーソルを動かすだけで途中の圧密比までに要する時間が求まるのである。

3. 時間沈下曲線 (サンド ドレーン等の場合) の図解法

サンド ドレーン等に対しては、水平方向のドレーンに向う排水と、通常の圧密のように上下方向の排水とを考へることになる。一般にこの種の促進工法を考へる場合には、水平方向の排水が主として工期にひびくことになるから、上下方向の排水は無視してもあまり差は出ない。

これを解いたのが有名な Barron²⁾ の図であり、実際に計算する要領はほとんど一軸圧密と変わらず、式 (3) の代りに次式を用いる。すなわち、

$$t = \frac{T_h \cdot d_e^2}{c_h} \dots\dots\dots (4)$$

ただし t : ある圧密比に対応する T_h までに要する沈下時間, T_h : 水平方向の求心的流れに関する時間係数, d_e : 1本のドレーンから排水される部分の有効直径, c_h : 水平面内の圧密係数である (c_h は透水係数等が垂直・水平方向で違わないときには $c_h = c_v$ となる)。

ところで、 d_e の有効直径は通常排出されると考へられる部分の面積に等しい円の直径を取り、ドレーンの中

間隔を d とすればつぎのように取る。

$$\left. \begin{aligned} d_e &= 1.05 d \text{ (三角形配置)} \\ d_e &= 1.13 d \text{ (正方形配置)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

時間沈下曲線は T_h , d_e , c_h が求まれば、沈下量については一軸圧密と同様なのですぐに求められることになる。ただし、ここで多少違う点は T_h がドレーンの直径 d_w と有効排水直径 d_e の比 $n = d_e/d_w$ によって変わることである。すなわち、われわれは所要の工期内に、たとえば 80% 圧密を終了させるべく、ドレーンの径や配置を決めたいのであるが、これらを仮定しなければいかなる答が出るかがわからないので、試行をくり返して所要の配置を求めるのである。

すなわち式 (4) は、

$$t = \frac{T_h(n) \cdot d_e^2}{c_h} \dots\dots\dots (4')$$

であり、 n と d_e を決めれば t は求まるが、 t を決めて n と d_e を 2 つ求めることはできないのである。これを図解的に行なうものが図-2.3 である。

図-2 は $n=5$ に対して 80% 圧密に要する日数を示したグラフである。これによれば $n=5$ という場合の所要圧密時間 (80% 圧密と仮定) に対する有効排水直径がすぐに求まる。この際のドレーンの直径 d_w は d_e を n で割れば良いが、この値は実際に計画しているドレーンの直径とは違うことが普通である。そこで計画しているドレーン直径で、しかも予定工期内に 80% 圧密が生ずるように計画することになる。このためには図-3 が利用できるのである。

図-2 $n=5$ のときの 80% 圧密に要する日数と有効直径の関係 (半径方向排水のみ)

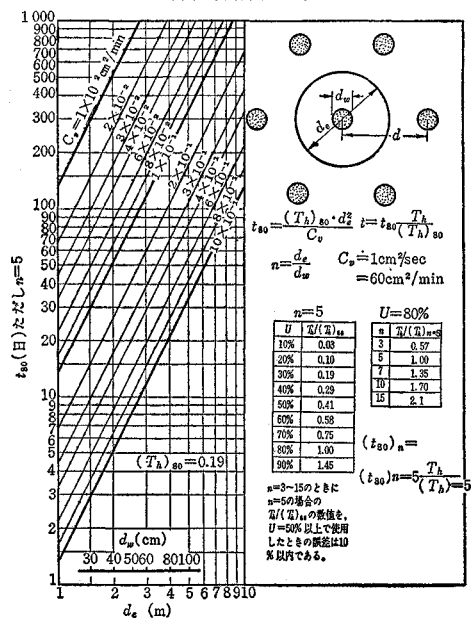
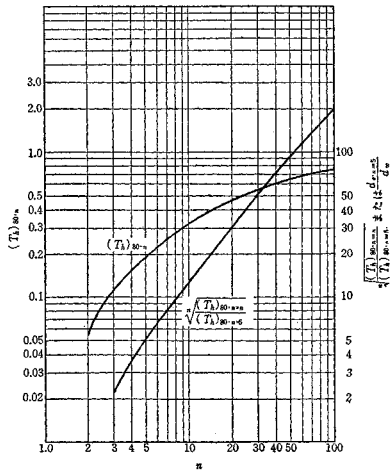


図-3 $n=5$ の場合と等しい期間内で 80% 圧密を生ずる配置を求める図



すなわち、 $n=5$ に対する値に添字 1 を、他の任意の n に対する値に添字をつけずに書くと、80% 圧密に要する時間が等しいことは

$$t_{80} = \frac{(T_{h,80})_1 \cdot d_{e,1}^2}{c_h} = \frac{(T_{h,80}) \cdot d_e^2}{c_h} \dots (6)$$

ただし、添字 80 は 80% 圧密に対応することを示す。

$$\therefore (T_{h,80})_1 \cdot d_{e,1}^2 = (T_{h,80}) \cdot d_e^2 \dots (6')$$

通常サンドドレーン等の直径 d_w は機械などにより決まるから、 d_e はつぎのように示す。

$$d_e = n \cdot d_w$$

式 (6') は

$$\frac{d_{e,1}}{d_w} = n \cdot \sqrt{\frac{(T_{h,80})}{(T_{h,80})_1}} \dots (7)$$

式 (7) を図にしたものが 図-3 であり、 n に対してこの値を示している。すなわち d_w は使用するドレーンの径であり、 $d_{e,1}$ は 図-2 により所要工期に対してすぐに

求まる量であるから、式 (7) の値は簡単に求まり、これに対応する n の値が 図-3 で求められるのである。 n が決まれば有効排水直径 d_e はすぐ求まり、工期にあり設計が簡単に行なえる。図-3 中には検算のため 80% 圧密の時間係数と n の関係を、Barron²⁾、高木³⁾ の計算結果により示している。

〔例〕 80% 圧密を 60 日で完了するように、直径 5 cm と考えられるペーパードレーンを行なう。粘土地盤の $c_v = 2 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{min}$ とすれば配置はいかにすれば良いか。

〔解〕 図-2 により $n=5$ に対して (ただし $c_h = c_v$ とする)

$$d_{e,1} = 3.1 \text{ m}$$

$$\frac{d_{e,1}}{d_w} = \frac{310}{5} = 62$$

図-3 によりこのときの n は

$$n = 35$$

$$\therefore d_e = n \cdot d_w = 35 \times 5 = 175 \text{ cm}$$

正三角形配置とすれば、式 (5) から

$$d = \frac{d_e}{1.05} = 167 \text{ cm}$$

〔検算〕

$$t_{80} = \frac{(T_{h,80}) \cdot d_e^2}{c_h} = \frac{0.57 \times 175^2}{2 \times 10^{-1} \times 60 \times 24} = 60.5 \text{ 日} \approx 60 \text{ 日}$$

参考文献

- 1) 渡辺 隆：“軟弱地盤の設計工,” ギーム社。
- 2) R.A. Barron：“Consolidation of fine grained soils by drain wells”, Trans. A.S.C.E., Vol. 113, Jl. 1948, p. 718.
- 3) 高木俊介：“サンドパイル排水工のためのグラフとその使用例”, 土と基礎, Vol. 3, No. 12, Nov. 1955, p. 8.

(1966.12.1・受付)

土質実験指導書改訂版頒布

土質実験指導書が刊行されてから 2 年半……この間多くの学校や職場で実験指導参考書としてご利用いただき好評を得ております。今回の改訂では各使用者の声を取り入れ、従来の 15 項目に新たに「土の三軸圧縮試験方法」を取り入れ 16 項目とし、それぞれの項目を 1. 目標, 2. 試験器具, 3. 試料, 4. 試験方法, 5. 計算および結果の整理, 6. 注意事項, 等々に分けて解説し、必要に応じて設問を設けるとともにデータシーートの記入例もとり入れたので広くご利用下さるようご案内いたします。

体 裁：B5判 64 ページ データーシート 26 葉
定 価：320 円 (〒 60 円)

土木材料実験指導書頒布

本書は土木材料を 第 1 章 セメント, 第 2 章 骨材, 第 3 章 コンクリート, 第 4 章 鉄筋, 第 5 章 アスファルト, の 5 つに分け、それぞれ目標, 使用器具, 実験要領, 注意事項, 関連知識などの各項目についてわかりやすく解説した、若い技術者の必読の書である。

体 裁：B5判 本文 90 ページ データーシート 36 枚
定 価：380 円 送料：70 円