

I-4 自重を考慮した軟弱粘土の圧密計算と埋立工事への応用

大阪市立大学工学部 正員 三笠正人

筆者は昨春秋に Terzaghi の理論を一般化した一次元圧密理論を発表したが、これにもとづいていくつかの計算結果とその応用について述べる。

1. 新理論のあらまし

一次元圧密に関する Terzaghi の微分方程式は、過剰水圧 u に関して

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \dots \dots \dots (1)$$

という熱伝導型のものになったが、これは透水係数 k 、体積圧縮係数 m_v が圧密過程を通じて一定の場合にだけ正しく成り立つ。ところが軟弱粘土では k , m_v は圧密中に大きく変化し、(1) は成り立たない。しかしこのときも、もし $C_v = k/m_v \gamma_w$ が一定であれば圧縮ひずみ ε に関して

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2} \dots \dots \dots (2)$$

が成り立つことがわかった。(1) は (2) の特殊なケースとしてこれを包含される。

次に粘土層の厚さの変化を考慮すると (2) は、

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = C_v \gamma^2 \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z_0^2} \dots \dots \dots (3)$$

と書きかえられる。 γ は粘土の密度が一様であるような原始状態における各 element の座標である。 z_0 は次のような量で圧密比と名付ける。

$$\gamma = \frac{dz_0}{dz} = \frac{1+e_0}{1+e} \dots \dots \dots (4)$$

次に粘土の自重の影響を考慮に入れると、方程式は

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = C_v \left\{ \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2} - \frac{d}{dz} (m_v \gamma_0) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

または

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = C_v \gamma^2 \left\{ \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z_0^2} - \frac{d}{dz_0} (m_v \gamma_0) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z_0} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

となる。ただし z , z_0 は下向きを正とする。 γ_0 は浮力を考えた粘土の単位重量である。Terzaghi は自重による圧密を (1) 式の初期値問題として扱ったが、実は微分方程式が変わるので、その差は後に示すように非常に大きなものとなる。^(注がある) この (6) 式を大阪港南港の埋立地の改良実験に適用した結果はすでに報告したが、今回はさらに他の場合について圧密過程の計算を行った結果と、一般的な圧密後の定常状態についての、その埋立工事への応用について触れることとする。

2. 自重による沈下計算

a) 初期の状態が $e_0 = 4.8$, $p_0 = 0.0001 \text{ kg/cm}^2$ で、 $C_c = 0.8$ の粘土を1度2mの厚さな

け透氷層の上のせの場合。このとき透氷層の減圧、表面乾燥はなく、圧密は自重だけによって行われるものとする。

b) 上の自重圧密が終わったのち、その上に透氷層を介して2mだけ同じ粘土をのせた場合。

c) 上の圧密が終わったのち、さらに2mだけ同じ粘土をのせた場合。

以上の3つの場合について (6) を次のような差分方程式に直して計算を行った。

$$\Delta S_{z_0} = 4n^2 \Delta T \cdot S_{z_0}^2 \left\{ \frac{1}{4} (S_{z_0+\Delta z_0} - 2S_{z_0} + S_{z_0-\Delta z_0}) - \frac{\Delta z_0}{8L_s} (S_{z_0-\Delta z_0} - S_{z_0+\Delta z_0}) \right\} \dots (7)$$

$$\text{こゝに } \frac{1}{L_s} = -\frac{d}{dz} (m_w \gamma_0)$$

$$= \frac{1}{p} \gamma_0 \left\{ 1 - \frac{0.86\%}{1+e} C_c \right\}$$

$$\Delta T = C_u \Delta t / H_0^2$$

$2H_0$: 予始状態の層厚

$2m$: 層厚の等分数

その結果は図-1, 図-2 に示す通りで、a) は非常に速く、c) は Terzaghi 理論とあまり変わらない。平均有効圧力の増し方 (過剰水圧の減り方) は A_p, B_p のように、だいぶ遅れてくる。

図-2 は $C_v = 1.35 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{min}$.

として描いた。なお差分計算は a) の場合しかかなり厄介であるが差分間隔の異なる計算を行ってみて充分な

精度を持つことを確かめた。

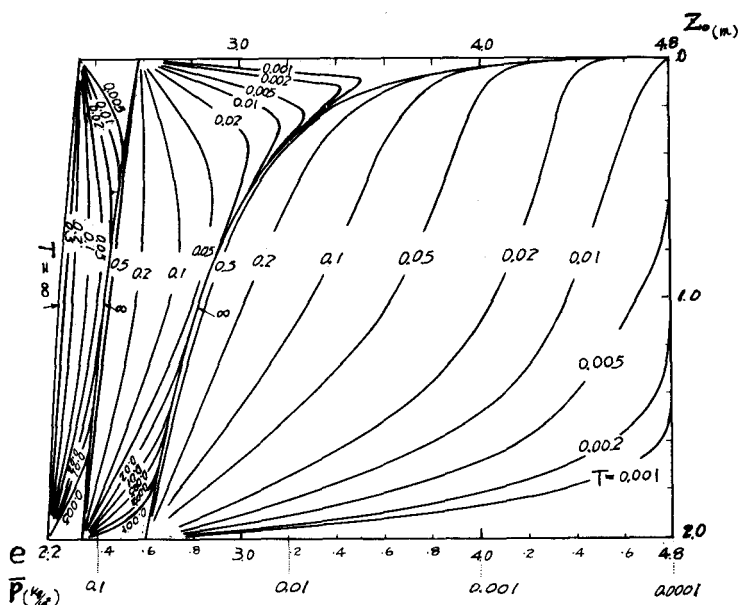


図-1 $z \sim e, \bar{p}$ 図

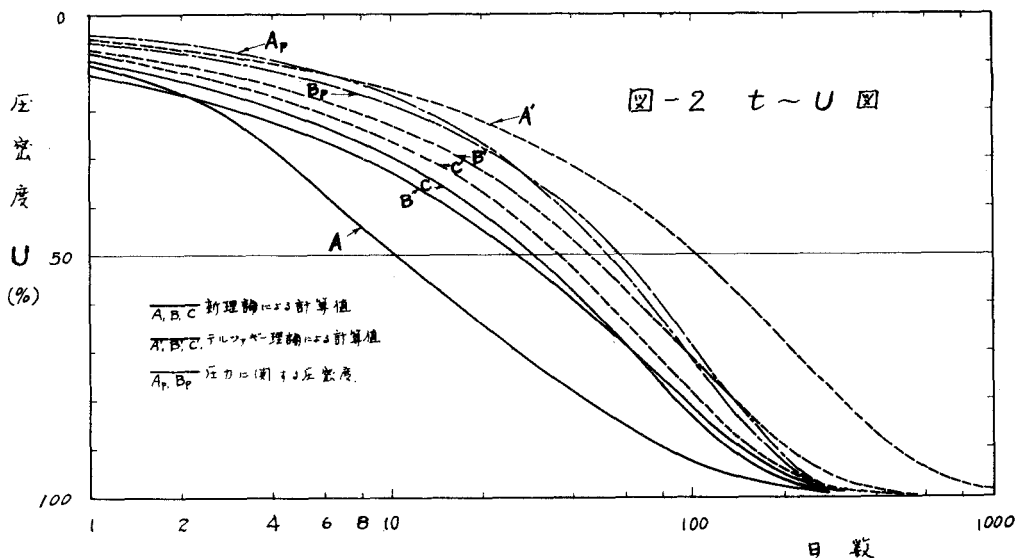


図-2 $t \sim U$ 図

3. 圧密終了時の状態について

圧密が終わったとき、すなわち定常状態の方程式は

$$\frac{d\varepsilon}{dz} = m_v \sigma_b + \frac{v_0}{C_v} \quad (8)$$

または

$$\frac{d\varepsilon}{dz} = m_v \sigma_b + \frac{v_0}{C_v} \quad (9)$$

となる。こゝに v_0 は間ガキ水の流速で粘土層中を通じて一定値をとる。 z , Z_0 は下向きを正とする。いまいろいろの v_0/C_v (cm^{-1}) に対し (9) の解を数値積分で求め、これを Z_0 と e の関係に直すと図-3, 図-4 を得る。

またこの粘土の $e \sim p$ 関係を用いて $\bar{p}$ (有効応力) のスケールを書きこんであげば $\bar{p}$ もこの図から読みとれる。これは粘土の C/p 値を乗ずれば圧密後の粘土層内のせん断強度の分布を知ることが出来る。所で任意の層厚, 任意の境界条件に対する圧密終了時の状態はこの曲線群の一部としてひろい出すことができるのである。もちろん実際には補間が必要である。

$e \sim p$ の関係の異なる粘土に対してはまた異なる曲線群が描かれるわけだが、大体似たような形をとると考えられる。

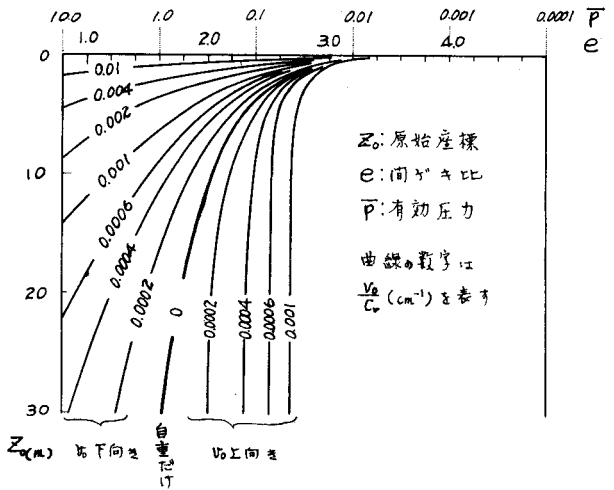


図-3 $Z_0 \sim e, \bar{p}$ 図 (e が深さと共に減っていく場合)

4. 埋立工事への応用

a) 2. のような圧密計算を行うことによりシユンセツ粘土を用いる埋立工事の定量的な計画が可能となる。

b) 粘土層の下あるいは上に砂層をおき、その水位を低下させて圧密を促進する工法²⁾を行う場合も同様に圧密計算ができるが、特に最終的な圧密効果については図-3, 図-4 から直ちに読みとることができ、その際必要な排水ポンプの容量も v_0/C_v の値と圧密速度とから計算できる。したがって種々の場合について効果と工費を比較して最適計画を立てることができる。

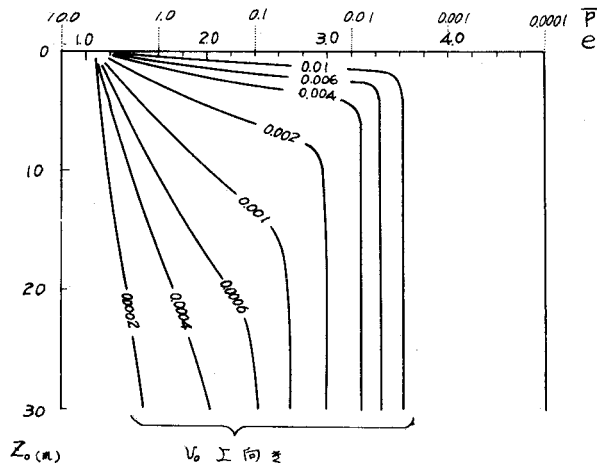


図-4 $Z_0 \sim e, \bar{p}$ 図 (e が深さと共に増していく場合)

以上の結論は、ふつうの圧密試験データを用いた理論計算によるもので、実験との照合はな行っていないが、大阪港の現場実験の場合²⁾に比較的によく一致したので大きな誤りはないものと考え。この計算に用いた仮定として $e - \log_{10} p$ 関係の直線性、 C_u 一定、レオロジー的要素の無視などがあり、いくら実際の現象が異なってくることは当然予想される。しかし $e - \log_{10} p$ が直線でなくても計算は同じようなことができる。また C_u が圧密により変るときもその規則性があれば計算はのせる可能性がある。レオロジー的要素は最もむずかしく、今の所手がつかない。

2. の計算は中山武志君の卒業論文としてやってもらったもので、同君の労に感謝する。

参考文献

- 1) 三笠正人：軟弱粘土の圧密理論，土質工学会昭和35年度秋季講演会講演概要，p.10
- 2) 三笠，堤，阿久根，久保：サンドマツトによる埋立粘土の圧密改良工法の現場実験，土と基礎特集号 No. 4 土質安定工学，p.69