

名古屋大学 学生員 野津 光夫

名古屋大学 正員 浅岡 顕, 松尾 稔

1 はじめに

Terzaghi の 1 次元圧密方程式にもとづいて、粘土地盤の 1 次元圧密・膨潤過程の解析と、過圧密地盤の再圧密過程の解析を行ない、沈下やふくれ上がりの時間的挙動を考察する。正規圧密地盤であってもプレローディング工法でしばしばみられる様に、圧密荷重を圧密途中部分的に撤去すると、地盤内で膨潤領域 ($\partial u/\partial z > 0$ すなわち $\partial^2 u/\partial z^2 > 0$ の部分) と圧密領域 ($\partial^2 u/\partial z^2 < 0$ の部分) があらわれて両領域で異なる C_v の値をとり、その境界が時間的に移動する。過圧密地盤を大きな荷重で圧密させるときでは、全体として過剰水圧分布が $\partial^2 u/\partial z^2 < 0$ (Z 軸を下方にとったとき右へ凸) の形をしていても、やはり地盤内に正規圧密領域と過圧密領域とが表われて、両者で異なる C_v の値をとり、その境界は時間的に移動する。これらの問題では、それぞれの領域は線形の方程式 (Terzaghi 式) で支配されるとしても、境界の時間的移動のために全体的な挙動 (たとえば沈下量) は後述の様に非線形性を示し、通常の線形予測の方法では正確な予測がむづかしい。それでこれらの問題での沈下挙動にはどのような特殊性があるのかも、数値計算の結果をデータに用いて考察する。

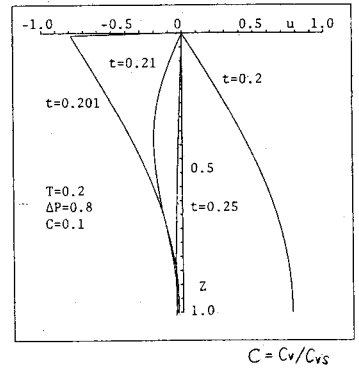


図-1 間げき水圧分布

2 数値解析の概要

Terzaghi 式を用いたが、さらに次の仮定を設けた。①地盤は上端が排水端で下端が非排水 (厚さ 1) ②透水係数は正規、過圧密領域を問わず一定 (正規状態での C_v と 1 とする) ③荷重は瞬間的に載除荷される。以上のもと過剰水圧 u の支配式と境界条件は

$$\varphi(u) = u_{zz}, \quad 0 \leq z \leq 1, \quad t \geq 0, \quad u(z=0, t) = 0, \quad u_z(z=1, t) = 0$$

で $\varphi(u)$ は

$$\varphi(u) = \begin{cases} v \leq 0 \text{ のとき} & \begin{cases} C \cdot v : u(z, t) > P_s - \sigma'_{\max}(z) \\ v : u(z, t) < P_s - \sigma'_{\max}(z) \end{cases} \\ v > 0 \text{ のときは } C \cdot v \end{cases}$$

である。ここに $C = 1/C_{vs}$ (膨潤時ないし過圧密地盤の圧密係数 C_{vs} の逆数, P_s はその時刻での全応力 (荷重), $\sigma'_{\max}(z)$ はその時刻までに受けた最大有効応力。上の支配式を安定な陰形式で差分化した時の非線形連立方程式は SOR 法で解いた。収束性は別途証明し、沈下量の時間微分の数値計算をする時には、有効数字 6 桁以上の収束を確めた。

3 サーチャージ除荷後の沈下挙動について

図 1 は、正規圧密地盤に荷重 1 をかけて、時刻 $t = 0.2$ のときに $\Delta P = 0.8$ を撤去したときの、それ以後の過剰間げき水圧分布の時間変化を

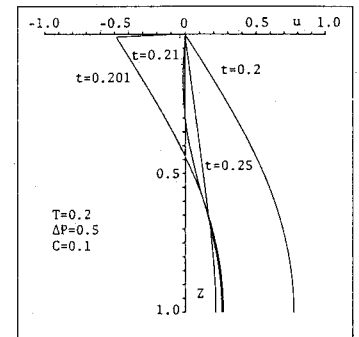


図-2 間げき水圧分布

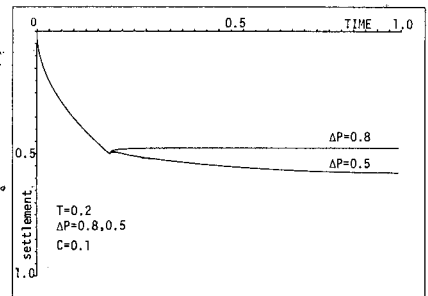


図-3 時間-沈下量関係

示したものである。膨潤域($\partial u/\partial z > 0$, 左へ凸の部分)が次第に地盤下方へたがり、圧密域(右へ凸の部分)が次第に消滅してゆくのがわかる。この時は両領域の境界(変曲点)は下方へたがり、ばなしである。 $t > 0.2$ での $u_z(z=0, t)$ はずっと負で地盤は全体として排水し、ばなしである。図2は、図1の条件のうち ΔP を0.5にしたもので、この場合には先の変曲点が一端は下へ向かうものの途中で引き返し、ある時刻以後は地盤はどの部分も圧密領域(u が右へ凸)になる。またある時刻以後 $u_z(z=0, t)$ は負から正へ転ずる、すなわちふくれ上がりから沈下へ転ずることもわかる(図3)。サーチャージ除荷後残留沈下が生じるかどうかは、荷重撤去量の割合 ΔP と撤去時期 T 、ならびに $C = C_v/C_{vs}$ できまる。この判定のために C をパラメータにして ΔP と T の関係を示したのが図4である。図中の曲線の左下方での ΔP と T の組み合わせの場合に残留沈下が生じる。この図で最も特長的な点は、Ladd らが言う通常の C の範囲(0.1~0.2)では、 ΔP と T の組み合わせを指定する曲線が C によって全く変化しない点である。すなわち、残留沈下を生じさせないという事だけであれば、 C_{vs} を詳細に知る必要はほとんどない事になる。 C_v だけであれば、プレローディング中の沈下観測から何とか推定できると考えられるが、 C_{vs} の事前の推定は普通にはむづかしい。従ってこの特長は工学的には有利なものといえよう。

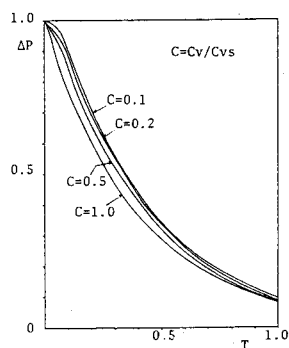


図-4 残留沈下の判定

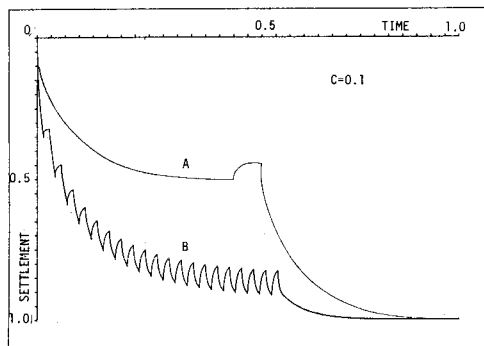


図-5 時間-沈下量関係

4 過圧密地盤の沈下挙動について

図5中Aに示した曲線は、0.5の荷重を正規圧密地盤に載荷し十分圧密した後その全部を撤去し、十分時間が経ってからあらためて荷重1をかけたときの沈下挙動を順に示したものである。この場合には先行荷重が2によらず(0.5+1自重)の過圧密地盤の圧密になっている。Bは荷重1を周期0.028でサイクリックに作用させて安定した後の過圧密地盤の沈下挙動を順に示したもので、表層ほど過圧密になっている。過圧密地盤の圧密沈下 $p(t)$ は、連続関数は微分方程式によって定義されるということから、 $\dot{p} = f(p)$ に従うとして、これの $t = \tau$, $p = \bar{p}$ での線形近似、 $\dot{p} = M\bar{p} + C$ の M を図5に示した沈下観測値から定めた。(ただし $\bar{p} = (p, \dot{p}, \ddot{p}, \dots)^T$ で実際には M は 2×2 のものを用いた)。この M による将来予測が可能かどうかを調べたものが表1である。同表では $t = \tau$ の時点で最終沈下量 p_f (真値は全て1)を予測しているが、初期の段階では(τが小さいうちは)ことごとく失敗している。同表の最右欄 $\tilde{C}_v$ は、 M の第1固有値を用いて、もしその沈下観測値も通常の単一層の正規圧密地盤で説明するとしたときに必要な圧密係数 C_v を示したものである。最初は表層を除いて地盤のほとんど全部が過圧密状態にあるので $C_v = 10$ に近い値を指示しており(計算では $C = C_v/C_{vs} = 0.1$ としている)、最終沈下量 p_f も小さいと予測している。ところがこれらの予測値は時間的に安定しておらず、 $\tilde{C}_v$ は次第に1に近づき、 p_f は段々大きく予測されてゆく。このような場合には、線形予測のくわい(予測値の時間的変化のこと)の度合いから全てを見通すことが必要で、理論的にできるということと、実際の沈下観測値にそれだけの精度があるかという事との間に大きなギャップがあって、現実的提案がまだ何もできない。

参考文献) Mohson M. Baligh, ASCE Vol. 104, No. GT4, pp415~431, 1978

表-1 Mによる将来予測

	解析の時点		p_f	$\tilde{C}_v$
	τ	$\bar{p}$		
A	0.540	0.53398	0.65412	8.28308
	0.544	0.57479	0.75530	3.66692
	0.698	0.92339	1.00028	1.00718
B	0.577	0.89168	0.92066	9.94560
	0.614	0.94801	0.99979	1.01676
	0.857	0.99924	0.99999	1.00899