

飽和粘土の圧密特性に関する2, 3の考察

京都大学 防災研究所 正 員 大橋正紀
京都大学 大学院 学生員 伊藤文平

1. まえがき 水で飽和した粘土地盤の変形を考える際、従来より、粘土を土粒子実質部分と非圧縮性の水より成る2相系多孔質材料として、3次元圧密理論を導びき、この理論を諸々の境界条件に適用する方法がとられている。したがって、諸々の境界条件のもとにおける粘土の挙動を1つの3次元圧密理論の境界値問題として考えると、諸々の境界条件下における粘土の圧密定数の間には、一定の関係がある。著者は、粘土を土粒子実質部分より成る構造骨格と非圧縮性の間けき水より成る2相系多孔質材料と考え、Biotと同様の方法で飽和粘土の3次元圧密理論を導びいた。本文においては、同じ粘土試料に対して行なった3軸排水クリーフ試験と標準圧密試験の結果を示すと同時に、同じ境界条件のもとに解いた解から、両試験における圧密定数を求め、両者を比較検討する。

2. 3軸排水クリーフ試験と標準圧密試験に対する圧密理論解 粘土を土粒子の構造骨格と非圧縮性の間けき水より成る2相系多孔質材料として土粒子と間けき水の間に Terzaghi の有効応力の概念を用い、構造骨格の有効応力へ必ずし関係に線型粘弾性理論を適用した場合の3次元圧密理論は、土の自重を無視すると

$$\nabla u - \frac{k}{\alpha} \nabla^2 u_c = 0 \quad (1) \quad \nabla^2 u + dE_1 + \nabla \nabla \cdot u + dK - 2\nabla u_c = 0 \quad (2)$$

で与えられる。ここに、 u : 構造骨格の変位ベクトル、 k : 透水係数、 u_c : 過剰間けき水圧、 $\alpha = (2 - n_0) \gamma_w$, n_0 : 試料の初期間けき率、 γ_w : 水の単位体積重量、 $K = (E_1 + 2E_2)/3$, E_1 , E_2 : それぞれせん断および等方圧縮に関する緩和関数²⁾、 $*$ は *Stieltjes* の合成積を示す。いま、緩和関数が時間に無関係に一定の場合を考える。(1), (2)式を両端面排水条件下の円柱形の3軸供試体が、軸方向に一定圧縮荷重 $\pi a^2 p$ (a : 供試体半径), 半径方向に一定圧縮圧力 p を受ける場合の供試体頂端面の沈下量 u_z および供試体全体の体積ひずみ e_v は、次式で表わされる。(h : 供試体の高さ)

$$\frac{u_z}{h} = \frac{2(3-p)}{3E_1} + \frac{2p+8}{3} \left\{ \frac{1}{E_2} - 16E_1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_1(\lambda_n) e^{-\lambda_n^2 T}}{\lambda_n^3 J_0(\lambda_n)} \right\} \quad (3) \quad e_v = (2p+8) \left\{ \frac{1}{E_2} - 16E_1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_1(\lambda_n) e^{-\lambda_n^2 T}}{\lambda_n^3 J_0(\lambda_n)} \right\} \quad (4)$$

ここに、 $(H)_n = (2E_1 + E_2)^2 \lambda_n^2 - 8E_1 E_2$, $T = k(2E_1 + E_2)t / (3a^2 \alpha)$ で λ_n は $(2E_1 + E_2) \nabla J_0(\lambda) - 4E_1 J_1(\lambda)$ のゼロ点である。 E_1 , E_2 は構造骨格の弾性定数でヤング率 E とポアソン比 ν との間には $E_1 = E/(1+\nu)$, $E_2 = E/(1+2\nu)$ の関係がある。(3), (4)式より、 $E_1 = 2(3-p)k/(3u_z|_{t=0})$, $E_2 = (2p+8)/e_v|_{t=0}$ (5) したがって、 E_1 , E_2 は(5)式より求めることができる。また、両面排水条件下にある厚さ $2H$ の標準圧密試験の供試体の沈下量の理論解は、Terzaghi の解と同様で $\frac{u_z}{2H} = \frac{\Delta p}{L} \left\{ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8}{n^2 \pi^2} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2}{4} T_v\right) \right\}$ (6) ここに、 $T_v = C_v t / H^2$, $C_v = kL/\alpha$ また、 $L = (2E_1 + E_2)/3$ (7)

したがって(7)式に両試験の弾性定数の間の関係が示されている。

3. 実験結果 表-1 に用いた2種類の試料の物性を示す。試料は液性限界以上で線

り返したものを大型圧密リングで 0.5 kg/cm^2 で圧密した繰り返し再圧密試験料を用いた。表-2 (a), (b) に3軸排水クリープ試験の結果を、表-3 (a), (b) に標準圧密試験の結果を示す。標準圧密試験においては試験セット後、いずれも $\sigma_v = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ で圧密した後増加圧力 Δp を加えたものである。3軸排水クリープ試験においては、試験Aは試験料の静止土圧係数 k_v を約 0.5 と仮定して、標準圧密試験の最初の圧密時の平均主応力に等しい圧

SAMPLE	LL (%)	PI (%)	G _s	CLAY (%)	SILT (%)	SAND (%)	CLASSIFICATION
A	72.6	42.5	2675	48.2	38.7	13.1	CLAY
B	43.6	17.5	2648	17.5	50.8	31.7	SILTY LOAM

表-1 試験料の物性

Test No.	σ_v kg/cm ²	p kg/cm ²	q kg/cm ²	E_1 kg/cm ²	E_2 kg/cm ²	k cm/sec	$\frac{2E_1E_2}{1+\mu}$ $\times 10^{-9}$
B-1	1.0	1000	1000	—	59.3	2.4	63.6
B-2	1.0	0.875	1.250	896	65.6	5.2	81.6
B-3	1.0	0.750	1.500	699	58.3	3.7	66.0
B-4	1.0	2.000	2.000	—	78.7	4.4	70.1
B-5	1.0	1.8125	2.375	529	75.4	4.7	60.4
B-6	1.0	3.000	3.000	—	94.1	4.5	75.2
B-7	1.0	2.75	3.500	50.4	85.4	2.6	62.1

(a)

(b)

密圧力 $\sigma_v = 0.700 \text{ kg/cm}^2$ で、約2日間 表-2 実験条件および結果 (3軸排水クリープ試験) 等方圧密した後、 p , q を加えてクリープ試験を行ない、排水量と試験料上端面の沈下量を測定した。試験Bは、標準圧密試験の最初の圧密圧力と同じ圧力で等方圧密した後、同様のクリープ試験をしたものである。また、表中の弾性定数 E_1 , E_2 は上述したように、それぞれ、供試体上端面の載荷直後の沈下量および、試験終了時の排水量より求めた。また k_v は、標準圧密試験の最終沈下量より求めた。また、透水係数には、これらの弾性定数を用いて計算した理論曲線の一点 (標準圧密試験では載荷後8分の点、3軸排水クリープ試験では、最終排水量の半分点) が一致するように決めた。したがって、いわゆる $\log t$ 法で求めた値よりは若干小さくなっている。表-2 (a), (b) から、載荷直後におけるせん断特性を示す E_1 は、試験Aでは平均主応力が大きくなる程大きくなり、また、同じ平均主応力のもとでは、偏差応力の大きい程、大きくなる。試験Bは、同じ平均主応力のもとでは偏差応力の増大にともない減少している。一方 E_2 は試験Aでは平均主応力一定の場合、偏差応力の増大により増大し、また平均主応力の増大とともに増大する。このような弾性定数の変化傾向は粘土の応力-ひずみ関係の非線形性を示すと同時に、粘土の試験前の圧密状態によるものと思われる。標準圧密試験では k_v はいずれも Δp の増加とともに減少し、応力-ひずみ関係の非線形性を示している。(c) 式に両試験の弾性定数の関係が示されているが、これを実験結果と比較すると3軸排水クリープ試験の場合が標準圧密試験より試験Aで約4倍、試験Bで約3倍となっている。(3軸排水クリープ試験の等方圧密の場合の E_1 は偏差応力の場合の値の平均値を用いる。) このような両者の差は無視し得ないものであるが、これは3軸排水クリープ試験の初期沈下から求めた E_1 を用いたためと思われる。したがって、粘土の応力-ひずみ関係を等方弾性としたことに帰因するものであり、土の応力-ひずみ関係の粘弾性的考慮が必要であろう。

参考文献 1) 文植: 京大防災研究所年報 14号 B, 昭46, 4 pp 585-601, 2) Gustin & Sternberg: Arch. Rat. Mech. & Anal. vol. 11, 1962, pp 291-356