

京都大学防災研究所 正員 柴田 徹

同

正員・大橋 正紀

1. まえがき

粘土地盤上の構造物の沈下量を推定するためには、粘土の各種力学パラメータを知る必要がある。筆者らは側方流動に主眼をおいた盛土の沈下を検討する目的で、乱さない粘土試料の排水クリープ試験を行なっているが、より多くのデータを得るために、室内で練瓦し圧密した試料を用いた試験も並行して実施している。ここでは即時沈下量に關係する即時ひずみ ε_i 、脱水クリープ沈下に關係する体積ひずみ ε_v と偏差ひずみ ε_d についての諸特性を報告する。

2. 試料と試験法

実験には、その物性を表-1に示す種類の試料を用いた。試料No.1は京都市内で採取して市販されている粘性土、試料No.2はNo.1とベントナイトを1:1の割合で混合したものである。No.1, No.2とも練瓦して大型リ

ング内で圧密した試料で、そのときの圧密圧力は 0.5 kg/cm^2 である。試料No.3は岡山県水島地区で採取した乱さない粘性土で、その先行圧力は約 1.5 kg/cm^2 である。

試験はNGIの三軸クリープ試験機を用いて行なった。載荷方法は、供試体を等方圧密したのち、一段階だけの荷重をかけてクリープ試験を行なうものと、累加的にせん断力を増加していくものの2種類に分かれるが、この報告では結果の表示に両者を区別していない。そして乱さない試料No.3を除いては、いずれもRendulicの応力面上でできるだけ広範囲の面積をカバーできるように、等方圧密圧力、せん断応力、平均主応力の組合わせをいろいろに変えて試験した。

なお偏差ひずみ ε_d は鉛直ひずみ ε_v と体積ひずみ ε_v から次式で計算した。

$$\varepsilon_d = \varepsilon_v - \frac{1}{3} \varepsilon_v$$

3. 即時ひずみ: ε_i

地盤の即時沈下量は、体積変化がない状態での土の弾性定数 E を用いて求められる。この弾性定数を得るための試験方法はいろいろあるが、クリープ試験を行なう際ある荷重を載荷した直後の変形量から求めることも可能であろう。そのために、ここではある一定荷重を載荷後の変形-時間曲線の初期部分を内そうして即時ひずみ ε_i を求めた。整理法としては、次式のよ

表-1 試料の物性

試料	LL%	PI%	G_c	<5 μ	分類
No.1	43.6	17.5	2.65	17.5	沖積ローム
No.2	72.6	42.5	2.68	48.2	粘土
No.3	37.6	16.2	2.75	22.2	砂質粘土ローム

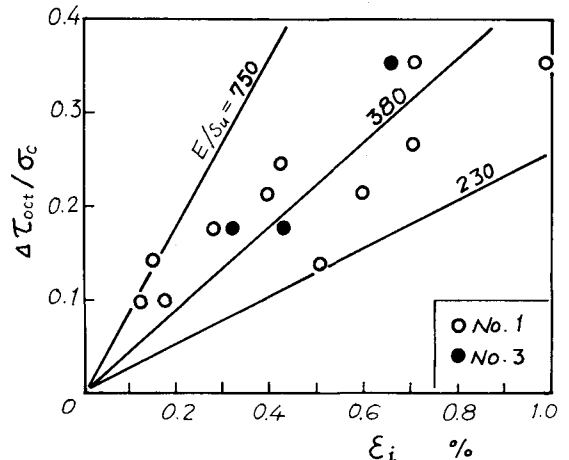


図-1 フリープ試験時の即時ひずみ

に弾性定数 E と非排水せん断強度 S_u の比で表わした。ただし S_u と圧密圧力 σ_c の比 S_u/σ_c を $1/4$ とし、主応力差を σ_d 、八面体せん断応力を τ_{oct} とする。

$$\frac{E}{S_u} = \frac{\sigma_d}{S_u \cdot E_i} = \frac{3\sqrt{2} \cdot \tau_{oct}}{2 \cdot S_u \cdot E_i} = \frac{6\sqrt{2}}{E_i} \frac{\tau_{oct}}{\sigma_c}$$

$$\therefore \frac{\tau_{oct}}{\sigma_c} = \frac{1}{6\sqrt{2}} \left(\frac{E}{S_u} \right) E_i$$

したがって上式によれば、その土の E/S_u の値によって $\tau_{oct}/\sigma_c - E_i$ の関係が定まることになる。

図-1 は 2 種類の土について $\Delta \tau_{oct}/\sigma_c - E_i$ 関係をプロットしたものである。莫はばらついていいるが、図中の直線と示すように $E/S_u = (230 \sim 750)$ の範囲に入っている。ところで E/S_u については従来から多くのデータが提供されており、たとえば図-2 は文献(1)(2) にあげられた E/S_u と塑性指数 PI に対してプロットしたものである。これによると E/S_u は PI の増加とともに減少の傾向があり、2,000 から 100 程度にまで低下している。別の機会に報告するが、動的弾性定数と S_u の比もやはり PI が大きいと低下する傾向がみられている。

図-1 で求めた E/S_u は、竹中の提案した $E = 210 \cdot S_u$ などと比べると、やや過大な値とみられるかも知れないが、図-2 によれば必ずしもそうでないことがわかる。そして粘土地盤の E の値が適正に評価されれば、その即時沈下量を求めることも可能となる。

4. 体積ひずみ: ϵ_v

体積ひずみは 100% 圧密時の ϵ_{v100} と、2 次圧密部分のそれについて検討するが、その前に等方圧密時の鉛直ひずみ ϵ_1 と体積ひずみ ϵ_v の変化について調べた例を図-3 に示す。3 軸供試体が等方圧密されるとき、 $\epsilon_1 - \epsilon_v$ 関係の傾斜は図中の直線のように $1/3$ になるはずであるが、実際にはいずれのプロットも直線より下側にきている。特に乱さない試料 No.3 においてその傾向が著しい。これはおそらく圧密時に生じた粘土構造の異方性とし、試験法が供試体の脱水を水平方向に限定していることに起因すると考えるが詳細は不明である。ただ図-3 中の ϕ 印で示したように、大型リングで圧密成形したブロックから水平方向に切り出した供試体ではいくらか $1/3$ 線に近づく様子がみられるので、排水量測定上の問題だけでは片付けられない現象と思われる。

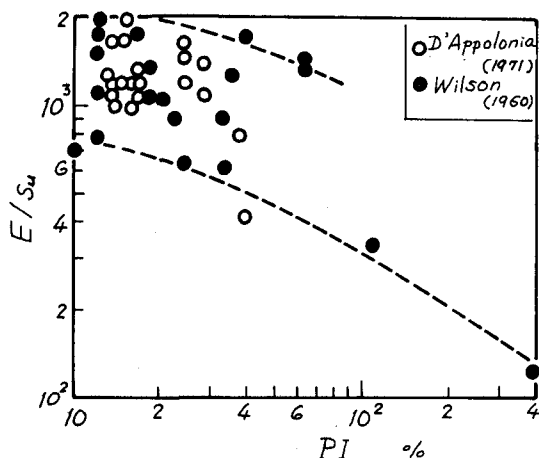


図-2 弾性定数と強度比

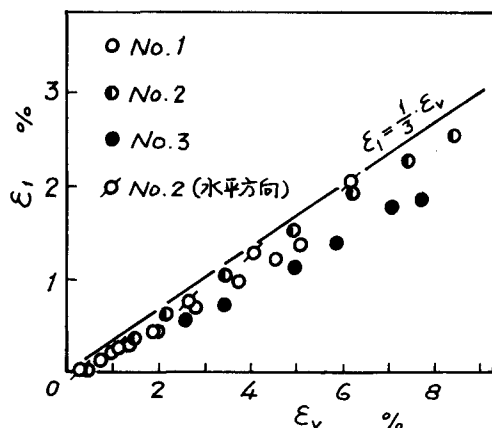


図-3 軸ひずみ-体積ひずみ関係 (等方圧密の場合)

100%圧密時の E_{v100} については、 $E_v - \log t$ 曲線から求め、それを平均有効主応力 σ'_m の増分と等方圧密圧力 σ_c の比に対してプロットした(図-4)。図には試料No.1, 2 に関して等方圧密と異方向圧密の場合が併記してあるが、両者の間に目立った差は認められず、モビライズ有効内部摩擦角がそれほど大きくないこともあって、グレイティング効果は無視しうる。

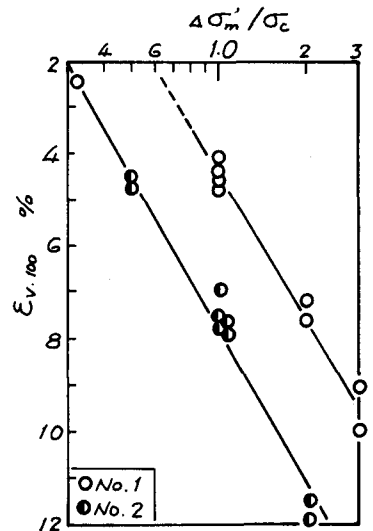


図-4 100%圧密時の体積ひずみ $-\log(\Delta\sigma'_m/\sigma_c)$ 関係

つぎに2次圧密部分の傾斜 $dE_v/d\log t$ について考察する。図-5は $dE_v/d\log t$ を T_{oct}/σ'_m に対して描いたものであるが、縦軸には同じ T_{oct}/σ'_m に対する数値の実験結果を平均した値のみがプロットしてある。横軸はモビライズ有効内部摩擦角 ϕ'_m に等価な値であるから、図-5によればクリープ的な体積ひずみ量は等方圧密($T_{oct}/\sigma'_m=0$)の場合も含めて ϕ'_m の影響をうけないとみられ、この特性はすでにWalkerが指摘しているのと同じである。

図-5中の斜線で示した範囲は、それぞれの試料についてoedometer-testから求めた正規状態の2次圧密傾斜である。筆者は以前に正規圧密粘土の2次圧密量は荷重強度に依存しないことを述べたが、今回の実験でも図中の範囲内に収まっている。なおoedometer-testはすなわち K_0 -圧密であるから、横軸の T_{oct}/σ'_m は0.3~0.4程度であるが、 $dE_v/d\log t$ の値は三軸排水フリー試験より求めた値に近いことがわかる。したがって図-5のように体積ひずみの2次圧密量が T_{oct}/σ'_m によらないならば、oedometer-testから求めた値を用いて実際の沈下計算をしてよいことになる。

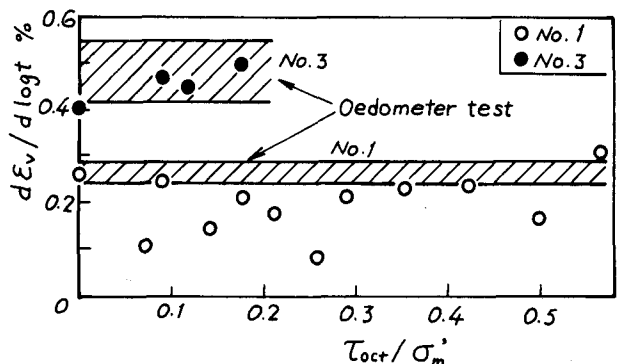


図-5 体積ひずみのクリープ速度-応力比関係

5. 偏差ひずみ: ϵ_d

2次圧密部分の偏差ひずみ-時間曲線の傾斜(すなわちクリープ速度) $d\epsilon_d/d\log t$ は上限降伏値以下では、応力比 T_{oct}/σ'_m に対してほぼ直線的に増加することが前からわかっている。図-6は試料No.1についての結果であり、実はばらついてはいるがそのような傾向がうかがわれる。さきに図-1において ϵ_i が T_{oct}/σ_c に比例する関係を見たが、載荷直後では体積変化がゼロであるから $\epsilon_i = \epsilon_d$ 、したがって図-6

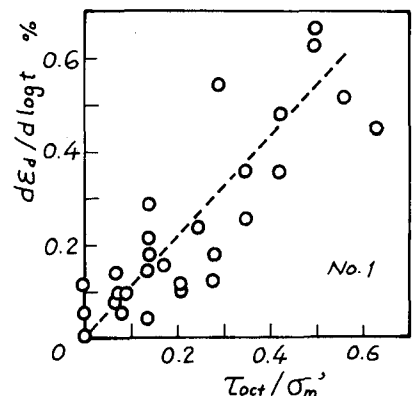


図-6 偏差ひずみのクリープ速度-応力比関係

の結果とも考え合えると、 ε_d に対しては応力比 T_{oct}/σ'_m が支配的なことは明瞭である。

最後に土の種類とクリープ速度について述べる。図-6の関係を粘土と砂と比較したとき、砂は粘土に比べてクリープ量が少ないので、同じ応力比に対する $d\varepsilon_d/d\log t$ の値も小さくなるはずである。図-7は今回の粘性土に関する結果、ならびに Šuklje⁵⁾ や 八木⁶⁾ による砂質シルト、砂の結果も同じ図上にプロットし、それらの相

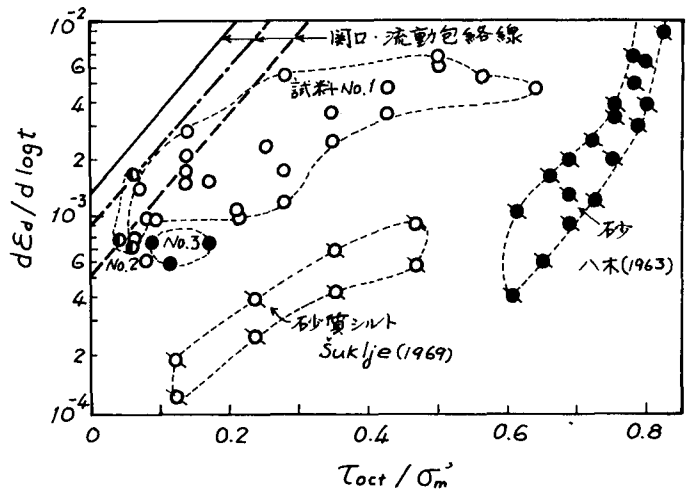


図-7 偏差ひずみのクリープ速度—応力比関係

互位置を示したものである。図中、左上に描いた3本の直線は、関口の提案している流動包絡線 (flow envelope) であって、粘土のクリープ速度 ($d\varepsilon_d/d\log t$) はこの線をこえて大きくはならないという限界を与えるものである。粘土に対するこのような限界線と同様、図中右端部にプロットされた砂に対する値がもう一つの限界線を示し、通常の土はこれら2本の限界線の中間に収まるものと推定される。実際の地盤は粘土だけで構成されることは稀で、各種の土が混在している。したがって地盤上の構造物の沈下を考えるとときには、土の種類による特性の違いも把握しておくことにも意味があり、いろいろな土について図-7のグラフを埋めたいところである。

6. むすび

軟弱地盤の側方流動も含めて沈下の経時変化を解析的に扱うためには、粘土の変形と体積変化に関する経時特性を知る必要がある。変形と体積変化は、ダイレイタンス現象一つをみても本質的には分離されるべきものでなからうが、ここでは便宜上 ε_d と ε_v に分けてそれぞれの性質を調べた。そして ε_v についてはいわゆる100%圧密量と2次圧密量を、また ε_d については即時変形量と2次圧密量を σ'_m や T_{oct} との関係において整理し、実際の沈下計算に使える形で表現しようとした。目新しい成果ではないが、ここに提供した資料が何らかの参考になれば幸いである。

- 参考文献:— 1) D. J. D'Appolonia, H. G. Poulos and C. C. Ladd; Initial settlement of structures on clay, Proc. ASCE, Vol. 99 SM10, 1971, p. 1359. 2) S. D. Wilson and R. J. Dietrich; Effect of consolidation pressure on elastic and strength properties of clay, ASCE Colorado Conf. 1960, p. 419. 3) L. K. Walker; Secondary compression in the shear of clays, Proc. ASCE, Vol. 95 SM1, 1969, p. 167. 4) 柴田 徹; 粘土の圧密に関するレオロジー的考察, 土木学会論文集, 69号, 1960, p. 29. 5) L. Šuklje; Rheological aspects of soil mechanics, 1969, p. 359. 6) 八木則男; 砂の変形について, 土木学会関西支部講演集, 1963, p. 85. 7) 関口秀雄; Flow characteristics of clays, 土質工学論文報告集・投稿中.