

飽和粘土の圧縮挙動に関する一考察

広島大学 正会員 吉國 洋

広島大学 正会員 池上 慎司

中電技術コンサルタント 正会員 平尾 隆行

広島大学 学生員 大野 司郎

1. はじめに

本研究は弾粘性モデルにおける弾粘性パラメータの決定方法を提案し、数種類の圧密試験から得られるパラメータを定むずみ速度圧密試験（以下CRS試験）から得られる圧縮曲線にフィッティングを行い、満足できる結果が得られたので報告する。

2. 弾粘性モデルについて

粘土骨格のレオロジー方程式は以下のように表せる（図1及び文献1参照）。 $\frac{1}{m_v}$
$$-\frac{de}{dt} = m_v (\sigma') \frac{d\sigma'}{dt} + \frac{\sigma'}{\eta(e, \sigma')} \quad \text{①}$$

この方程式中の m_v と η を決定するには、以下に示す三つの仮定が必要である。

（仮定1）二次圧密係数 C_α は σ' によらず一定である（図1）。

（仮定2）等クリープ速度線の勾配は C_β で一定である（図2）。

（仮定3）除荷曲線の傾き C_r は e によらず一定である（図3）。

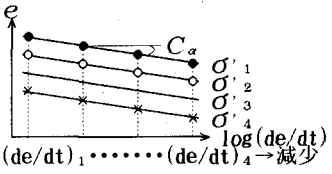
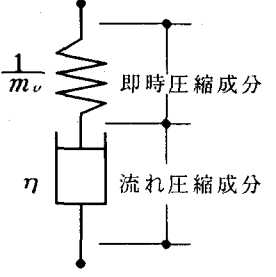


図2 C_α 一定の圧密曲線群

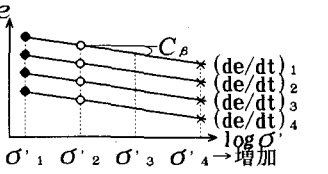


図3 C_β 一定の等クリープ速度線群

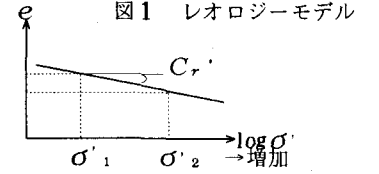


図4 膨潤曲線

そして、（仮定3）により m_v は次式で表される。

$$m_v = 0.434 \cdot C_r \cdot \frac{1}{\sigma'} \quad \text{②}$$

また η については図5に示すような粘性係数平面を考え、次式で与える。

$$\log \eta = C_{ne} \cdot (e_0 - e) + C_{n\sigma'} \cdot \log \left(\frac{\sigma'_0}{\sigma'} \right) + \log \eta_0 \quad \text{③}$$

この式中の C_{ne} と $C_{n\sigma'}$ は（仮定1）と（仮定2）より、次式で表せる。

$$C_{ne} = \frac{1}{C_\alpha}, \quad C_{n\sigma'} = \frac{C_\beta - C_\alpha}{C_\alpha} \quad \text{④}$$

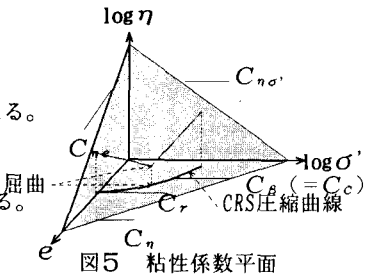


図5 粘性係数平面

すなわち、以上の m_v 、 η の決定に必要な C_α 、 C_β 、 C_r の三つの弾粘性パラメータを、 C_α については長期圧密試験、 C_β についてはCRS試験、 C_r については除荷再載荷試験により、それぞれ求めることになる。

なお、本モデルにおける等クリープ速度線（傾き C_β ）は、CRS試験から得られる圧縮曲線（傾き C_c ）と等価である。これについての詳細は避けるが、以下 $C_\beta = C_c$ として議論を進める（詳細は文献3を参照）。

3. 試験方法及び試験結果

この一連の試験に用いた試料は、通称広島粘土と呼ばれる沖積粘性土で、これを室内で繰り返した後、 0.5 kgf/cm^2 で再圧密したものである。その物理特性は表1に示すとおりである。

長期圧密試験については図6に示すように、試験荷重に達するまでの載荷期間を $\sqrt{t}$ 法によって定まる一次圧密終了時間で急速載荷し、その後約二ヵ月間にわたってクリープ沈下を五ケースについて二つずつ観測した。そのクリープ段階のみに着目した圧密曲線を図7に示す。この図から、二次圧密曲線は極めて直線的であり、その変形に収束性が見られないこと、またこれらの線群は互いに平行で

液性限界	塑性限界	塑性指数	比重
111.2%	42.5%	68.7	2.60

表1 広島粘土の物理特性

等間隔であることが分かる。これによって（仮定1）は実験事実として認められ、 $C_\alpha=0.017$ となる。

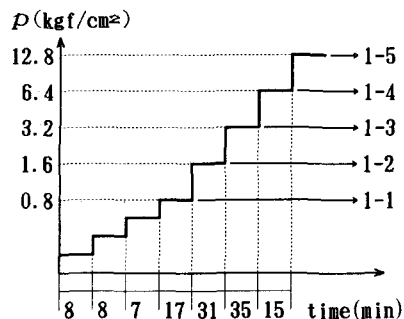


図6 長期圧密試験の荷重段階

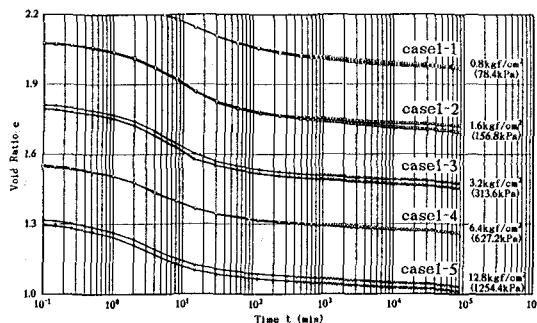


図7 最終荷重段階における圧密曲線

除荷再載荷試験については、先行応力となる1.6, 3.2, 6.4 kgf/cm²までは荷重増加率1で荷重期間24時間の段階載荷を行い、その後 $\Delta p/p = 1$ で24時間毎に0.4 kgf/cm²まで段階載荷した。その結果である図8をみると、除荷再載荷に伴うヒステリシスループが明確に現れており、その両端点で直線と近似した膨潤線の傾き C_r もOCRに依存している。しかし、本モデルが基本的に遅延弾性の影響を考慮していないため、それらの最大値をとって $C_r=0.1$ とした。これによって本モデルの本質が損なわれることはないが、今後この回復成分の実験的検討は必須であると考えている。

残るCRS試験は、人為的に過圧密状態にした初期状態の異なる供試体に同一のひずみ速度(0.3%/min)を与えたもの(図9)と、載荷中にひずみ速度を変化させる(0.0005→0.012→0.0005→0.012%/min)交番CRS試験(図10)である。 C_β の決定については、前述したようにこのCRS圧縮曲線から直接求めた C_α を C_β とした。さらに、式①の数値解を求めるにあたって式③における初期粘性係数 η_0 を決定せねばならないが、 $(de/de) = 10^{-2}(1/min)$ のCRS圧縮曲線が $(e, \sigma') = (1.0, 10.0)$ を通ることから、その点での η を $\eta_0 = \sigma'_0 / (de/dt) = 10.0 / 10^{-2} = 10^{+3}(\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{min})$ とした。

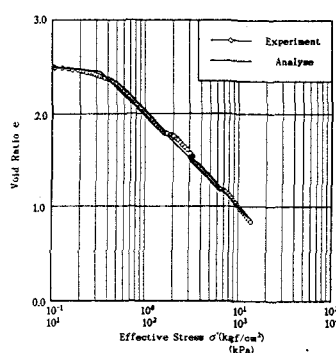
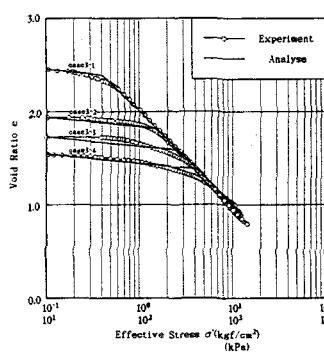
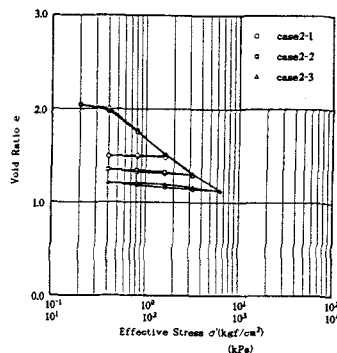


図8 除荷再載荷に伴うヒステリシスループ 図9 初期状態の異なるCRS圧縮曲線 図10 交番CRS試験

4. まとめ

解析値と実験値をフィッティングさせた両図を見ても明らかなように、圧縮曲線の位置は初期状態によらずひずみ速度のみによって定まると、ひずみ速度の変化にのみ従って屈曲が現れることの二点が明確に説明できる。これによって本論分で提案した弾粘性パラメータの決定方法は、妥当であったと考えている。

関連文献 1) 吉国(1990): 軟弱粘土の圧密曲線と圧縮曲線に対する一つの解釈(Ⅰ), 第25回土質工学研究発表会講演要集, p. 307-310

2) 吉国, 平尾, 嘉屋(1992): 弾粘性流体の立場から見た定ひずみ速度における圧縮曲線の解釈, 第47回土木学会年次学術講演会要集, p. 468-469

3) 吉国(1993): 軟弱粘土の圧密曲線と圧縮曲線に対する一つの解釈(Ⅱ), 第28回土質工学研究発表会講演要集