

金沢工業大学 正会員 前川晴義

金沢工業大学 正会員 宮北 啓

(株)日研技術 正会員 小川義厚

1. まえがき 過圧密の材料を対象に載荷試験を行った場合、供試体の変遷状況は載荷初期で弾性的変形を示す過圧密状態にあるが、その後再組織化の進行により塑性的変形が卓越した正規圧密状態となる。特に弾塑性変形を区分する応力域は降伏応力域とよばれ、近年 $q \sim P$ 域よりの形状の確立などが論議されている。さらに載荷荷重の増加により、供試体は peak (破壊) を示し、残留状態に移行する。このような一連の挙動は供試体の内部、外部の応力条件によってパターンが異なるものの、体積変化を許容した排水せん断試験では典型的なものである。これまでの軟岩、粘性土を中心とした研究では過圧密、正規圧密領域に対し、個々の領域での力学的特性を検討した内容のものが多く、変形を考慮した設計・施工に極めて重要となる前述の降伏応力域の力学的挙動に注目した報告は少ないように思われる。そこで本報告では降伏応力域の程度を中心とした力学的評価、さらにはここでの実験に用いた珪藻質軟岩のような固結力と呼ばれるセメンテーション効果が卓越した材料では圧縮過程において、この固結力がどのように応答するのを明らかにするため、既に本軟岩で明確となっている降伏応力域を意図した載荷試験を実施し比較検討を行った。

2. 供試体および実験方法 実験に用いた珪藻質軟岩は石川県珠洲市内の採土横坑より、堆積方向に偏角しブロック状で採取したもので、コーカッターで抜き取り、水浸させたものを供試体(直径5cm、高さ10cm)とした。なお表-1に供試体の諸性質を示すが、未風化、飽和条件を満足すると、また材質的にも極めて均一性が高く、再現性に富む材料でもある。実験はこれまでのCD試験より明確となっている Cam-Clayモデル曲線と表現できる降伏応力域に注目し、図-1に示すような種類の載荷条件を与え、十分に圧密させた後、非排水せん断試験を実施した。具体的には等方圧 0.5 kg/cm^2 で予備圧密をした後、所定の等方圧($P' = 27 \text{ kg/cm}^2$)で一旦1,440分圧密し、降伏応力域およびそれ以内に相当する応力条件を一挙に与えた(P は一定)。なお降伏応力域上のA~C、それ以外のD、Eでの載荷圧密時間はそれぞれ11,520分、1,440分とした。その後、これまでのCD試験と同様に側圧を一定に保ち、圧縮速度 $3.5 \times 10^{-2} \text{ mm/分}$ で非排水せん断試験を残留状態が確認できるまで行った。載荷時での応力条件は図中に記しているが、Aについてはフリー破壊を起こした。またCD試験を併用した結果は報告済みの 30° の不連続面を挿入した供試体²⁾によるものがあるが、不連続面の影響は認められていない。供試体からの排水経路はペーパードレーンによる側方排水としている。

表-1 供試体の諸性質

比重 G_s	2.22
含水比 w	118.2 %
湿程密度 ρ_t	1.35 g/cm^3
乾燥密度 ρ_d	0.62 g/cm^3
間隙比 e	2.59

3. 実験結果および考察 図-2は載荷後の非排水せん断試験における軸差応力 $q \sim$ 軸ひずみ ε_1 との関係を示しており、せん断開始時の●印は所定の等方圧圧密後の q とこれによって生じた ε_1 を示している。 $q \sim \varepsilon_1$ 曲線の形状はフリー破壊をしたAを除く総てが、典型的なひずみ硬化、軟化型である。 $P' = 20 \text{ kg/cm}^2$ のC、D、Eに q_{max} に注目すれば降伏応力域上のCが若干大きく、 $P' = 15 \text{ kg/cm}^2$ のBではD、Eのそれと大差が認められない。また $P' = 10 \text{ kg/cm}^2$ のA

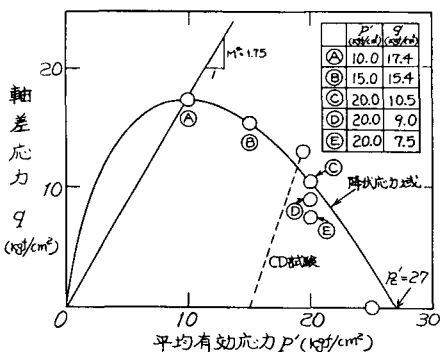


図-1 載荷条件

は図中にX印で示したが、載荷時間7,660分位で押しつぶされたように破壊した。図-3は降伏応力域とおおよび $q_s' = 15 \text{ kgf/cm}^2$ のCD試験により降伏を確認後、非排水せん断に切換えたものなど、図-4は降伏応力域内の条件での有効応力経路を示している。 q を与えたものは○を除きせん断初期でわずかに過圧密的な挙動を呈するが、その後過剰間隙水圧 u の発生が著しく、全体的には図-4に示す等方圧条件で降伏直前の $q_s' = 25 \text{ kgf/cm}^2$ のCU試験の経路に移行する傾向が強い。○は過圧密的な様相を一層強調し、他の条件の q_{max} 付近より急激に u を発生してpeakに至る。これは圧密効果が発揮されたためであり、降伏応力域 γ での応力履歴に伴う時間効果を検討すると興味を持つ。図-5はそれぞれの q_{max} を整理したものである。図中にはCU, CD試験より得られた最大せん断強度線を描いている。ここで重要な事項はCU試験によって明確となっている鉄筋不かく乱粘性土の特徴でもある過圧密、正規圧密領域を区分するV型の底部($q_s' = 25 \text{ kgf/cm}^2$ の q_{max})にこの q_{max} が集中していることである。この結果、一般に等方圧密での圧密降伏応力で代表される区分点は $q \sim p$ 域の降伏応力域の代表点でもあることが知れる。しかし、(A)のクリップ破壊でも明らかのようにdry, wet側の特徴が顕著であり、このことは $p' = 13 \sim 27 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲に適用できるものと考えるのが妥当であろう。すなわち降伏という一種の組織破壊は若干の固結力の消失に伴う強度低下を起こすが、 p' が比較的高い応力条件下では圧密が促進され強度増加につながる。

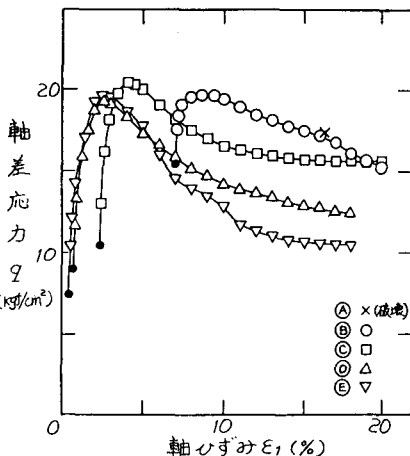


図-2 非排水せん断試験における q - ϵ_1 の関係

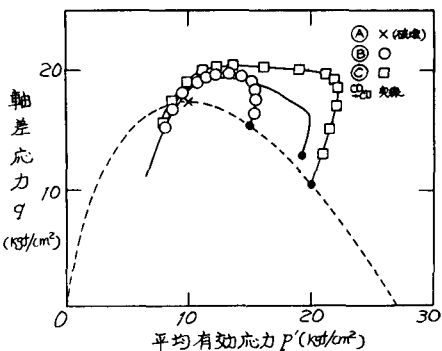


図-3 有効応力経路(降伏応力域より降伏後)

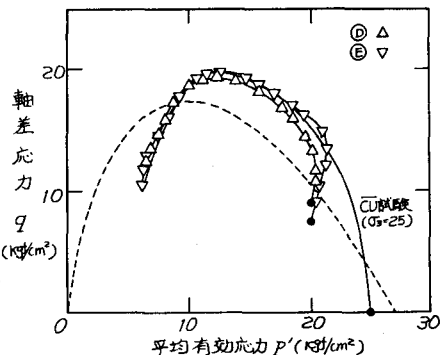


図-4 有効応力経路(降伏応力域内)

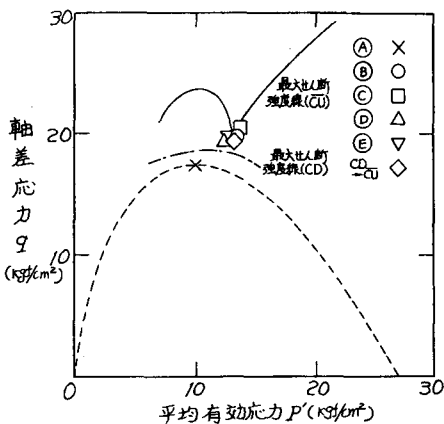


図-5 最大軸差応力 q_{max} と最大せん断強度線との関係

4. あとがき 今回は降伏応力域の強度特性に着目した実験を行った。その結果、強度低下は重要視する必要がなく、あくまでも変形に焦点を置くことが重要と考えられる。圧縮過程での固結力の応答は微小変形が若干の消失はあるものの、その後の圧密効果との相互作用により、最終的には応力履歴に対応した粘性土のような挙動に移行するものと思われる。なお風化など膨張過程では固結力の影響が全く異なることが予想でき、特に留意する必要がある。

おわりに本研究の実験に対し、協力を得た本学卒業生の諸君に感謝の意を表す。本報告は文部省科学研究費補助金(奨励研究A)を受けた一部である。

参考文献 1) 前川, 宮北: 珪藻質軟泥の力学特性, 土木学会論文報告集, 第334, 1983.

2) 宮北, 前川, 小川: 不連続面を与えた珪藻質軟泥の降伏特性, 第19回土質工学研究発表会, 1984.