

徳島大学 工学部 正会員 ○鈴木 壽  
名古屋大学 工学部 正会員 松尾 稔

1. はじめに 不飽和土の強度特性に関する実験的研究はこれまでもいくつか行なわれており、サクシジョンが不飽和土の強度特性に与える効果についても調べられている。しかし、これらの実験に用いられている供試体のほとんどは含水状態に調整された試料を動的に締固めることにより作成されたものであり、マクロ的な意味において初期状態（初期飽和度、初期間隙比など）を統一しているに過ぎない。すなわち、不飽和土の強度特性を知る上で最も大切な供試体のエレメント性の確保については、あまり吟味されていないようである。そこで、本研究では、特に供試体のエレメント性に着目した不飽和土三軸圧縮試験を実施し、 $u_a$ 、 $u_w$ で定義されるサクシジョンの効果を実験的に検証する。

2. 試料および試験機 用いた試料は愛知県知多郡美浜町で採取されたもの（通称 野間砂）で、図-1はその粒径加積曲線を示している。また、表-1は物理および透水試験結果をまとめたもので、この野間砂はシルト質砂（SM）に分類される。なお、表中の $k_{sat}$ の値はスラリー状の試料を先行荷重 $1.5\text{kg/cm}^2$ で圧密して作成した飽和供試体で求められたものである。図-2は不飽和土用三軸圧縮試験機を示している。試験はすべて応力制御

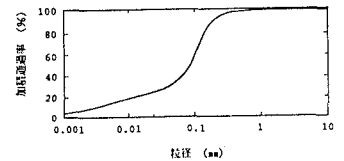


図-1 粒径加積曲線

表-1 物理および透水試験結果

| 比<br>重 | 液塑性限界        |              |              | 粒度       |          | 土の<br>種類  | 飽和透水係数<br>$k_{sat}$<br>(cm/s) |
|--------|--------------|--------------|--------------|----------|----------|-----------|-------------------------------|
|        | $w_L$<br>(%) | $w_p$<br>(%) | $i_p$<br>(%) | 均等<br>係数 | 曲率<br>係数 |           |                               |
| 2.655  | 31.5         | 24.9         | 6.6          | 27.8     | 5.1      | SM(シルト質砂) | $1.03 \times 10^{-7}$         |

で、軸荷重はコンプレッサーから供給される空気を電一空レギュレータで自動的に制御することによって与えられる。この制御はマイクロコンピュータによって行なわれ、その精度は $0.001\text{kg/cm}^2$ である。また、供試体の上部にポリフロンフィルター、下部にセラミックディスクを設けており、吸排水、吸排気は完全に分離できる。供試体は、上述した飽和供試体に所定のサクシジョンを作用させて作成した。

3. 試験方法 試験はサクシジョンの効果を試べるために以下の2通りの条件で行なった。

#### ①間隙空気圧 $u_a$ のみによるサクシジョン制御試験

この試験では、間隙水压 $u_w$ を常に0として、 $u_a$ のみでサクシジョンを制御した。図-3はこの試験の応力経路図であり、各点における側圧と間隙空気圧の具体的な値も示している。飽和供試体を点AおよびEで約24時間放置することにより、所定の不飽和供試体とした。さらに、所定の応力状態（点B～Dおよび点F～H）とするために約24時間圧密した後に、せん断を開始した。載荷方法は1段階3時間以上の段階式応力制御法で各段階終了時の排水量

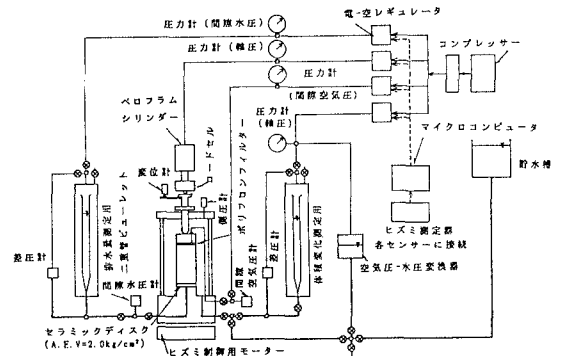


図-2 不飽和土用三軸圧縮試験機

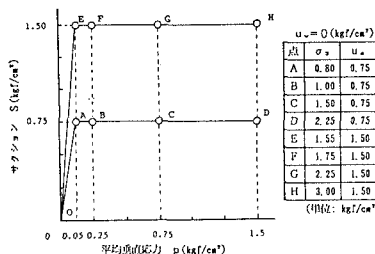


図-3 間隙空気圧のみによるサクシジョン制御試験における応力経路

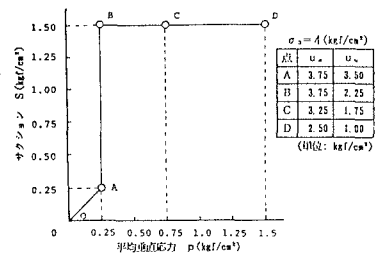


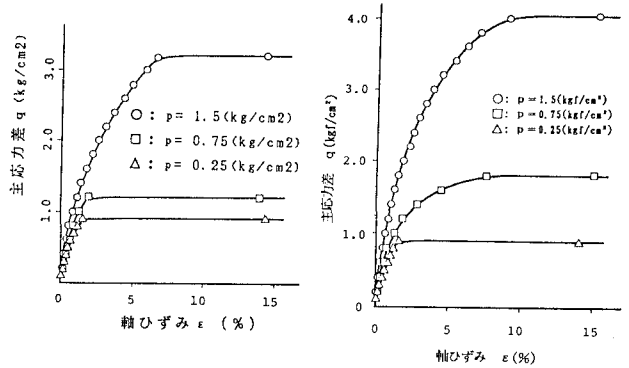
図-4 側圧一定下でのサクシジョン制御試験における応力経路

は0.1ml/hour以下であることを確認している。

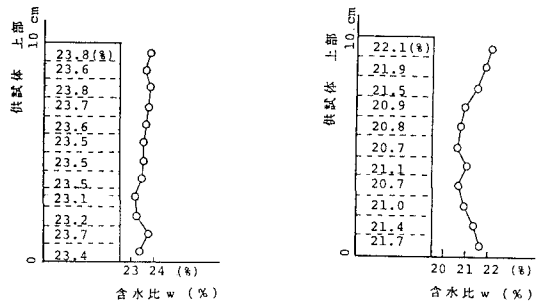
## ②側圧一定下でのサクシオン制御試験

試験実施時は側圧を  $4 \text{ kg/cm}^2$  で一定とし、図-4に示すような応力経路をとった。図中の点Aで約8時間放置し初期状態とした。次に点Bに移し、供試体からの排水が十分完了するまで（約48時間）放置した。そして、所定の  $p$ （点B, C, D）を与え約24時間後にせん断を開始した。なお、載荷速度は①の場合と同様である。

**4. 試験結果** 主に①の試験結果について述べる。図-5は軸圧縮過程中的応力～ひずみ関係を示したものである。(a), (b)を比較するとサクシオン ( $u_a - u_w$ ) の増大と共に強度が大きくなる傾向が見られる。図-6は  $S=0.75 \text{ kg/cm}^2$  の場合の破壊後の供試体の含水比分布を示したものである。供試体の高さ方向に対してほぼ均一な含水状態となっていることが分る。しかし、ここでは省略するが、 $S=1.5 \text{ kg/cm}^2$  の場合では供試体の下部に向かうほど、含水比が低くなる傾向にあり、その差は最大4%となっている。図-5の試験結果とさらに後に追加した  $S=0.25 \text{ kg/cm}^2$  の場合の結果をまとめて  $p_r \sim q_r$  関係で整理すると図-7となる。各試験から得られる強度は原点を通る直線上に整理され、サクシオンが大きくなるとこの直線の傾き  $M_0$  が大きくなっている。この傾向は、飽和度が低くなるほど不飽和土の強度が増大するという一般的な傾向と合致する。また、図-8は側圧一定下でのサクシオン制御試験を  $p_r \sim q_r$  関係で整理したものである。この場合も図-7と同様に強度は原点を通る直線 ( $M_0=1.37$ ) で整理される。この破壊線と図-7の  $S=1.5 \text{ kg/cm}^2$  の場合の  $M_0$  ( $=1.40$ ) とが極めて良く一致していることは注目に値する。



(a)  $S=0.75 \text{ kg/cm}^2$  (b)  $S=1.5 \text{ kg/cm}^2$   
図-5 応力～ひずみ関係 ( $u_a$  のみのサクシオン制御試験)



(a)  $P=0.75 \text{ kg/cm}^2$  (b)  $P=1.5 \text{ kg/cm}^2$   
図-6 せん断終了後の供試体の含水比分布 ( $S=0.75 \text{ kg/cm}^2$ )

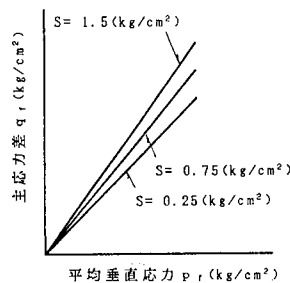


図-7  $p_r \sim q_r$  関係 ( $u_a$  のみのサクシオン制御試験)

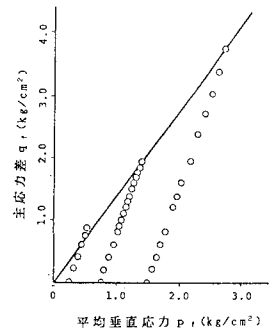


図-8  $p_r \sim q_r$  関係 (側圧一定下でのサクシオン制御試験)

**5. おわりに** 本報告で得られた実験事実は従来の研究における不飽和土の強度特性を検証したに過ぎない。しかし、これまでの実験では供試体のエレメント性が議論されなかったのに対し、ここではその点を特に配慮した点を強調したい。最後に、非常に労力を要する実験を全面的に協力していただきました多田隆司氏（現：関西電力）と小高猛司氏（名古屋大学大学院）に感謝の意を表します。

**参考文献** 1) 軽部ら：不飽和力オリンの有効応力と力学定数，土木学会論文集(1986)，2) 村田ら：サクシオンを用いた不飽和土の力学的挙動の評価，不飽和土の工学的性質の現状シンポジウム論文集(1987)，3) 軽部：不飽和土の構成式，不飽和土の工学的性質の現状シンポジウム(1987)