

# 飽和砂の排水セン断特性に及ぼす拘束圧条件と背圧条件の影響\*

常 田 亮\*\*

## 1 はじめに

本研究は、10m以浅の地盤におけるセン断特性及び変形特性、特に体積変化特性の解明を行なうことを目的とし、地質の対象を飽和砂質土に限定して実験を行なった。地盤条件として10m以浅の領域を対象としているので、有効拘束圧を0.2, 0.5, 0.8, 1.0kgf/cm<sup>2</sup>の4種類を考えるとともに、排水性の良好な砂質土地盤を想定している。また本研究は上述したように、低拘束圧領域の排水セン断特性を解明すると同時に、実験を行なう過程で供試体の飽和度を上昇させるために作用させるバックプレッシャーの大きさが、排水セン断特性（強度特性及び変形特性）に及ぼす影響について検討することも目的としている。特に10m以浅の地盤を対象とした実験を行なう場合、有効拘束圧が1.0kgf/cm<sup>2</sup>以下となるのでセン断特性に及ぼすバックプレッシャーの影響を調べることは、かなり重要なポイントになってくる。

近年、比較的低い拘束圧のもとでの土の変形特性及び強度特性についての研究が多くなってきた。これは、地盤の表層付近に発生する液状化現象の解明、河川堤防やフィルダムなどの斜面表層部における安定性の検討、あるいは各種土質構造物の模型実験における実験模型を作成する場合に、欠くことのできない土の基本的性質の1つであるからである。しかしながら、低拘束圧下の実験は実験精度の面で問題点も多いために、今までその実施例は少なかった。

低拘束圧下の砂質土の強度特性を調べた事例としては、Ponce と Bell<sup>(1)</sup> や龍岡ら<sup>(2)</sup>の研究がある。また変形特性に関する研究としては、石原ら<sup>(3)</sup>や山下、土岐ら<sup>(4)</sup>の研究があり、小川ら<sup>(5)</sup>は低拘束圧下の飽和砂の臨界間隙比について言及している。しかしこれらの研究は、有効拘束圧が0.1kgf/cm<sup>2</sup>以下の領域について多く研究されているので、本研究で対象としている有効拘束圧が1.0kgf/cm<sup>2</sup>～0.2kgf/cm<sup>2</sup>の領域におけるセン断特性と比較、検討してみる必要があると思われる。実際の現場で問題を起こすのが10m以浅の地盤に多いことから考えても、その領域におけるセン断特性の解明が重要な意味を持つものと考えられる。

## 2 実験方法

本研究に用いた試料砂は、豊浦標準砂 ( $G_s=2.625$ ,  $e_{max}=0.963$ ,  $e_{min}=0.640$ ) であり、Fig. 1 と Table 1 にその粒度分布と物理的性質を示してある。実験に用いた供試体は、高さ10cm、内径5cmの2つ割りモールドを用いて作成した。以下にその作成手順について述べる。

(1) 下部ペDESTALに厚さ0.15mmのゴムスリーブ及び2つ割りモールドをセットし、

\* 昭和60年度土木学会中部支部研究発表会で発表

\*\* 長野工業高等専門学校土木工学科助手

原稿受付 昭和61年9月5日

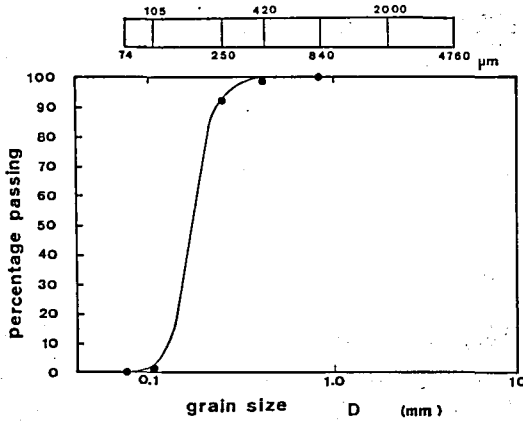


Fig. 1 grain size accumulation

Table. 1 properties of sand

$G_s$	2.625	$D_{max}$	0.840mm
$e_{max}$	0.963	$D_{10}$	0.128
$e_{min}$	0.640	$D_{30}$	0.150
$U_c$	1.445	$D_{50}$	0.170
$U'_c$	0.950	$D_{60}$	0.185

モールド内に負圧を作用させゴムスリーブをモールドに密着させる。

(2) 気乾状態の砂をモールド内に空中落させ、モールドの周囲に振動を加えて所定の密度となるように調整し、プラスチック製のストレートエッジで端面の整形を行なう。

(3) 供試体内に約 0.1kgf/cm<sup>2</sup> の負圧を作用させて供試体を自立させた後、モールドを取りはずし寸法を測定する。

(4) セル内に注水して 0.1 kgf/cm<sup>2</sup> の拘束圧を加えて、供試体内の負圧を解除する。

(5) 約10ℓの脱気水を2時間かけて供試体内を通水し飽和度を高かめる。

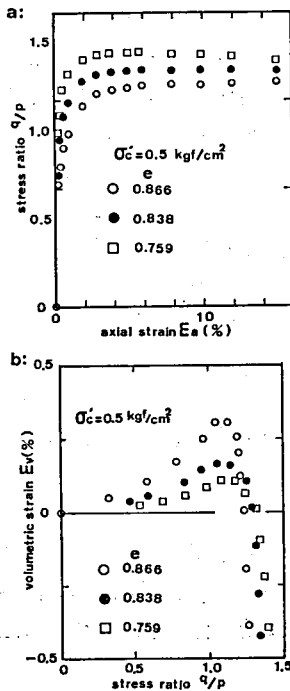


Fig. 2 a relationship between  $q/p$  and  $\epsilon_a, \epsilon_v$

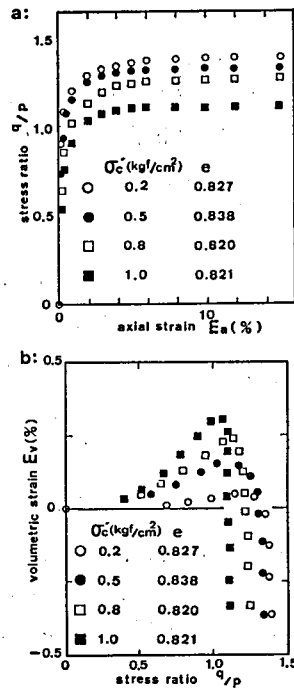


Fig. 3 a relationship between  $q/p$  and  $\epsilon_a, \epsilon_v$

以上の手順で供試体を作成するが、供試体を自立するために作用させる負圧は、供試体が過圧密とならないようにできるだけ低くすることが望ましい。また脱気水を通水する際にも上向き浸透流によって供試体に乱れを生じないようにするために、動水傾度を限界動水傾度以下とした。

通水終了後、B係数をチェッ

くし飽和度を確認する。(B係数が0.95以上であることを飽和の条件とした。)その後所定の拘束圧とバックプレッシャーを作用させて等方圧密を行ない、圧密終了後セン断速度を0.3%/minとしてヒズミ制御のもとでセン断を行なう。

供試体条件としては、密度が相対密度で30%~70% ( $e = 0.746 \sim 0.867$ ) の範囲となるように設定し、試験条件としては、有効拘束圧を0.2, 0.5, 0.8, 1.0 kgf/cm<sup>2</sup> の4段階、バックプレッシャーを0.5, 1.0, 1.5 kgf/cm<sup>2</sup> の3段階に変化させるように設定した。

### 3 排水セン断試験結果

#### 3-1 排水セン断特性

Fig. 2 は応力比とひずみの関係を拘束圧が 0.5 kgf/cm<sup>2</sup> の場合について、初期間隙比をパラメーターにして比較したものです。Fig. 1 (a)は軸ひずみと応力比の関係を示していますが、初期間隙比が低下するにしたがって、応力比~軸ひずみ曲線の初期勾配が増大し、終局強度が大きくなる傾向が見られる。このことは、拘束圧が一定である場合、初期間隙比の低下に伴い強度が増加することを示している。Fig. 2 (b)は体積ひずみと応力比の関係を示しているが、初期間隙比の増加に伴いセン断によって生じる体積圧縮量が増加することが明らかである。以上のことより、初期拘束圧が一定である場合、初期間隙比の低下に伴い強度が増加すると同時に剛性が増すものと考えられる。その原因としては、初期間隙比の低下に伴ってセン断によって生じる体積圧縮量が減少し、膨張傾向が著しくなることが考えられる。

Fig. 3 は Fig. 2 と同様に応力比と軸ひずみの関係を、初期間隙比を一定として初期拘束圧をパラメーターにして比較したものである。図より明らかであるように、初期間隙比が一定である場合、初期拘束圧が低下するにしたがって応力比~軸ひずみ曲線の初期勾配が大きくなり、終局強度も大きくなる傾向を示している。すなわち、初期拘束圧が低下するほどセン断強度は増加するものと考えられる。また応力比と体積ひずみの関係において、初期間隙比が一定である場合、初期拘束圧が低下するにしたがって体積圧縮量が減少するとともに体

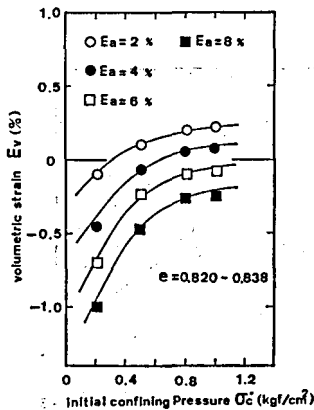


Fig. 4 a relationship between  $e_v$  and  $\sigma'_c$

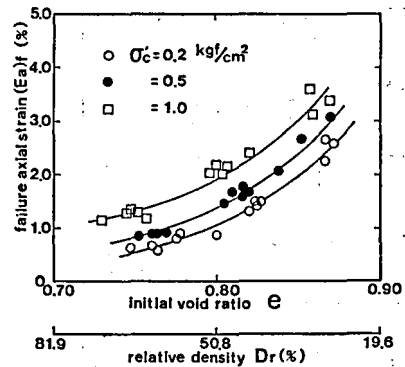


Fig. 5 a relationship between  $(\epsilon_a)_f$  and  $e$ ,  $D_r$

積膨張が著しくなる傾向が見られる。

以上のことより、飽和砂の排水セン断強さは、初期間隙比及び初期拘束圧が低い場合ほど大きくなるものと考えられる。その要因としては、双方の条件の場合ともセン断によって生じる体積圧縮量が低下するとともに、体積膨張の傾向が著しくなることが考えられる。

次に体積変化特性をさらに詳しく検討するために、Fig. 4 のように初期拘束圧と体積ひずみの関係を各々の軸ひずみごとに比較してみると初期拘束圧が低下するにしたがってセン断の初期の段階で体積膨張が発生していることが、明らかである。ここでは圧縮側の体積ひずみを正、膨張側の体積ひずみを負として表わしてある。したがって前述したように、初期拘束圧及び初期間隙比の低下に伴ってセン断強度が増加する原因は、セン断の初期の段階で正のダイレイタンスが発生するために、見かけのセン断強度が増加するためであると考えられる。

Fig. 5 は破壊時の軸ひずみと初期間隙比の関係を、初期拘束圧をパラメーターとして比較したものであるが、各々の拘束圧の場合とも初期間隙比が低下するとともに破壊時の軸ひずみは、小さな値を示す傾向があると同時に、初期拘束圧が低いほど破壊時の軸ひずみは、小さくなる傾向を示している。すなわち、密な供試体であるほどセン断の初期の段階で破壊が生じることになる。また、低拘束圧状態であるほど破壊はセン断の初期に生じることを示している。

故に、低拘束圧状態にある密な供試体ほど、変形に対してもろい性質があることがわかる。さらに破壊時の軸ひずみは、初期間隙比の増加に伴って急激に大きくなることが明らかであるとともに、破壊時の軸ひずみと初期拘束圧の間には、ある一定の比例関係が見られる。

次に初期間隙比と破壊時の応力比の関係を示した Fig. 6 を見ると、初期間隙比の増加に伴い破壊時の応力比が低下することが明らかである。また、初期拘束圧の低下に伴い破壊時の応力比が、小さくなる傾向

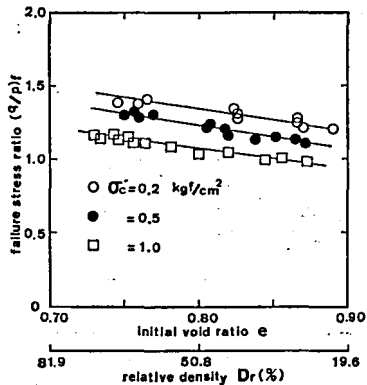
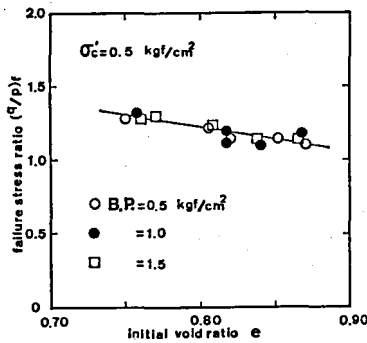


Fig. 6 a relationship between  $(q/p)_f$  and  $e$ ,  $D_r$

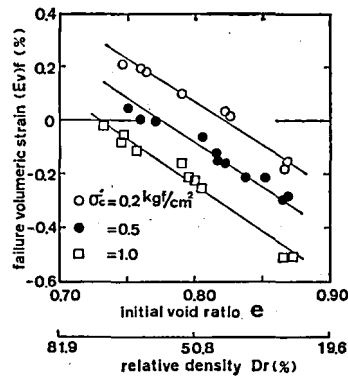


Fig. 7 a relationship between  $(\epsilon_v)_f$  and  $e$ ,  $D_r$

を示すことを図から読み取ることができる。したがって飽和砂のセン断強さは、初期間隙比及び初期拘束圧が低下するほど大きくなることが明らかであり、破壊時の応力比は初期間隙比の関数式で表わすことができそうである。

Fig. 7 は初期間隙比と破壊時の体積ひずみの関係を示したものであるが、初期拘束圧とは無関係に初期間隙比の増加に伴って、圧縮領域で破壊が発生する傾向が見られる。また、初期拘束圧が低い場合ほど破壊時の体積ひずみは、膨張領域にあることが明らかである。すなわちセン断によって発生する破壊は、初期間隙比が大きいほど圧縮領域で発生する傾向が見られるとともに、初期拘束圧の低下にともなって破壊の発生する領域は、圧縮側から膨張側へ移動してゆくことが明らかである。特に初期拘束圧が  $1.0 \text{ kgf/cm}^2$  以下の条件におけるセン断破壊は、膨張領域で発生する可能性が高いと思われる。

以上のことから飽和砂の排水セン断特性についてまとめると、次のような結論が得られる。

- (1) 飽和砂の排水セン断強さは、初期拘束圧及び初期間隙比の低下に伴って増大する傾向を示す。その原因として考えられることは、破壊時の体積ひずみが示すように、初期拘束圧及び初期間隙比の低下にともなって、体積膨張傾向が著しくなり見かけのセン断強度が増加することがあげられる。
- (2) 破壊時の軸ひずみについて初期拘束圧と初期間隙比の影響を検討した結果、初期拘束圧及び初期間隙比が低い場合ほど、破壊時の軸ひずみは小さな値を示す傾向が確認された。この結果は、初期拘束圧と初期間隙比が低いほど変形に対してもろくなることを示している。破壊時の体積ひずみと比較してみると、体積ひずみの膨張性が著しいもの、すなわちダイレイタンシー特性の著しい供試体ほど変形に対してもろい性質を有するものと考えられる。

### 3-2 排水セン断特性に及ぼす背圧の影響

排水セン断特性に及ぼすバックプレッシャーの影響を確認するために、各々の拘束圧と密度において、バックプレッシャーを  $0.5, 1.0, 1.5 \text{ kgf/cm}^2$  の三段階の大きさに分けて作用させ、破壊時の軸ひずみ、破壊時の応力比、破壊時の体積ひずみ及び内部摩擦角について比較、検討した。

Fig. 8 は破壊時の軸ひずみと初期間隙比の関係を、初期拘束圧が  $0.5$  と  $1.0 \text{ kgf/cm}^2$  の場合についてバックプレッシャーをパラメーターにして比較したものであるが破壊時の軸ひずみに対するバックプレッシャーの影響は、ほとんど認められなかった。次に、Fig. 6 の上段の図は初期拘束圧が  $0.5 \text{ kgf/cm}^2$  の場合について、破壊時の応力比に対するバックプレッシャーの影響を示したものであるが、各々の間隙比において多少のばらつきはあるものの、ほとん

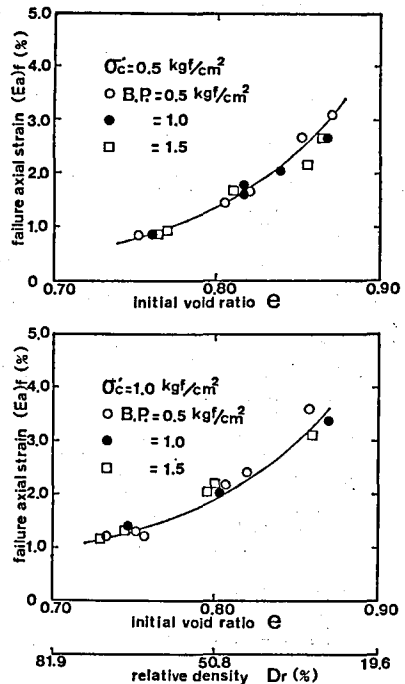


Fig. 8 a relationship between  $(ea)$  and  $e, Dr$

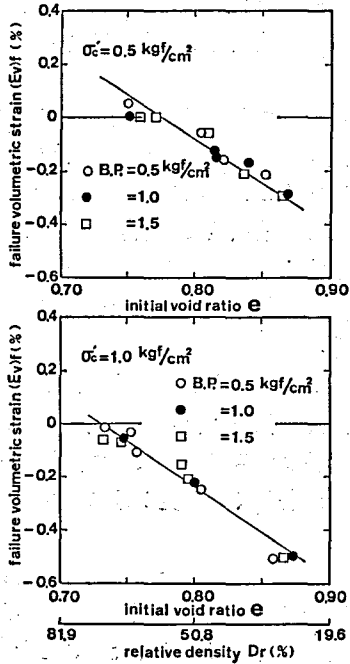


Fig. 9 a relationship between  $(\epsilon_v)f$  and  $e, D_r$

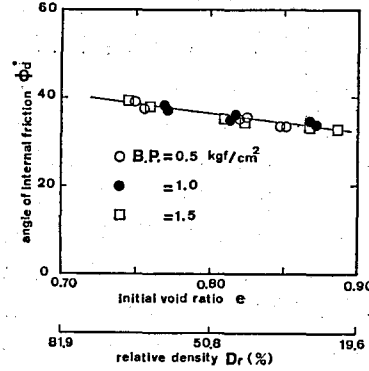


Fig. 10 a relationship between  $\phi_d$  and  $e, D_r$

どその影響は認められなかった。図中では、初期拘束圧が  $0.5 \text{ kgf/cm}^2$  の場合のみを示しているが、他の拘束圧に関しても同様の結果が得られた。Fig. 9 は破壊時の体積ひずみに対するバックプレッシャーの影響を初期拘束圧が  $0.5$  と  $1.0 \text{ kgf/cm}^2$  の場合について比較したものであるが、破壊時の体積ひずみに対するバックプレッシャーの影響は、ほとんど認められなかった。

以上のように、破壊時の軸ひずみ、破壊時の応力比、破壊時の体積ひずみといった飽和砂の強度特性及び変形特性に対するバックプレッシャーの影響を調べた結果、バックプレッシャーの大きさによる飽和砂の排水セン断特性への影響は認められず、初期拘束圧の大きさにも無関係であることが明らかとなった。しかし各々の間隙比における測定結果のばらつきは、初期間隙比が大きい場合ほど、その度合が大きくなる傾向が認められた。

さらに強度定数である内部摩擦角についてバックプレッシャーの影響を検討したものが Fig. 10 であるが、バックプレッシャーの影響は認められず、初期間隙比の増加に伴って低下する傾向を示している。

以上のことから得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 破壊時の軸ひずみ、応力比、体積ひずみ、内部摩擦角に対するバックプレッシャーの影響を検討した結果、飽和砂の排水セン断特性に対するバックプレッシャーの影響は、ほとんどないものと考えられる。
- (2) 飽和砂の排水セン断特性に対するバックプレッシャーの影響は、ほとんどないものと考えられるが、初期間隙比が大きくなるほど、すなわちゆる詰めになるほどデータのばらつきが大きくなることから、ゆる詰めの状態では、バックプレッシャーによって供試体内部に乱れが生じている可能性が考えられる。

#### 4 結 論

- (1) 低拘束圧領域における飽和砂の排水セン断特性は、初期拘束圧及び初期間隙比が低い

場合ほどセン断強度は増加する。その原因としては、初期拘束圧及び初期間隙比が低下するほど、セン断の初期の段階で体積膨張が発生し、正のダイレイタンスの効果によるものであると考えられる。したがって、実際の砂質土地盤においては、密度が高いほど、また浅い地盤であるほど見かけのセン断強度は増加する。

- (2) 破壊時の軸ひずみに着目して検討を加えた結果、初期拘束圧及び初期間隙比が低下するにしたがって、セン断の初期の段階で破壊が生じることが明らかとなった。すなわち初期拘束圧及び初期間隙比の低下に伴って、変形に対してはもろい性質を有するようになるものと考えられる。
- (3) 飽和砂の排水セン断特性に対するバックプレッシャーの影響を検討するために、破壊時の軸ひずみ、応力比、体積ひずみ及び内部摩擦角について比較を行なった結果、ほとんどその影響はないものと考えられる。しかし、バックプレッシャーの作用方法によっては、供試体内部に乱れを発生させる可能性があるため、バックプレッシャーは圧密と同時に作用させ、圧密後にバックプレッシャーを作用させることは避けることが望ましいものと考えられる。
- (4) 今後の課題としては、飽和砂の非排水セン断特性に対する拘束圧条件及び背圧の影響を検討するとともに、過圧密履歴、セン断履歴等が及ぼす影響についても検討していく予定である。

## 5 参 考 文 献

### 5-1 参考文献

- (1) Ponce, V.M. and Bell, J.M. : Shear strength of sand at extremely low Pressures Proc. of ASCE, vol. 97, No. SM4, pp625~638, 1971
- (2) Shinji Fukushima and Fumio Tatsuoka : Strength and deformation characteristics of saturated sand at extremely low Pressures, SOILS AND FOUNDATIONS, vol. 24, No.4, pp30~48, 1984
- (3) 小川正二, 山田俊昭, 井上尊詩 : 低側圧条件における飽和砂の臨界間隙比 第36回年次学術講演会, 1981
- (4) 石原研而, 菊池喜昭, 金谷守 : 低拘束圧下の砂の変形強度特性について 第37回年次学術講演会, 1982
- (5) 山下聡, 土岐祥介, 三浦清一 : 低圧力下における飽和砂の変形特性 第40回年次学術講演会, 1985
- (6) 坂本信, 龍岡文夫, 福島伸二 : 低拘束圧下の砂の三軸試験 第19回土質工学研究発表会, 1984

### 5-2 記号の説明

- |   |  |
|---|--|
| (1) $\epsilon_a$ : 軸方向ひずみ                           | (7) $D_r$ : 相対密度 ( $D_r = (e_{max} - e) / (e_{max} - e_{min})$ ) |
| (2) $\epsilon_v$ : 体積ひずみ                            | (8) $(\epsilon_a)_f$ : 破壊時の軸ひずみ                                  |
| (3) $q/p$ : 応力比                                     | (9) $(\epsilon_v)_f$ : 破壊時の体積ひずみ                                 |
| (4) $q$ : 主応力差 ( $q = \sigma_1 - \sigma_3$ )        | (10) $(q/p)_f$ : 破壊時の応力比   |
| (5) $p$ : 平均主応力 ( $p = (\sigma_1 + \sigma_3) / 3$ ) | (11) $\phi_d$ : 内部摩擦角  |
| (6) $e$ : 初期間隙比                                     | (12) $\sigma_c'$ : 有効拘束圧   |