

佐賀大学 理工学部 ○三浦 哲彦

北九州市役所

山添 和己

## 1. まえがき

砂質土斜面の表層すべりや模型実験の解析に際して土の強度定数を定めようとする場合には、時として $0.1 \text{ kgf/cm}^2$ より低い拘束圧下でのせん断試験を要求されることがある。このような低い圧力域での砂質土のせん断特性に関する報告は意外に少ないようである。<sup>1)</sup> 筆者らは、2つの観点から低圧下の砂質土のせん断特性を調べる必要に迫られた。1つは、土槽( $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$ )を用いた砂の土圧実験の結果を解析するため、<sup>2)</sup> 他のもう1つは砂質土の非粒子破砕領域を確認するためである。本報告では海砂およびまさ土に対して行った側圧 $0.02 \sim 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ の三軸圧縮試験の結果を示し、低圧下のせん断強度に及ぼす要因、特にメンブレンの強さ、粒子破砕、サクシオン、等の影響について述べる。

## 2. 実験方法

海砂( $G_s=2.65, D_{\max}=2.0 \text{ mm}, D_{50}=0.6 \text{ mm}, e_0=0.68$ )およびまさ土( $G_s=2.60, D_{\max}=4.76 \text{ mm}, D_{50}=1.20 \text{ mm}, e_0=0.68$ )のおおのについて、気乾および飽和度 $90 \sim 98\%$ の不飽和状態で実験を行った。まず、気乾試料を密に詰めて直径 $5 \text{ cm}$ 、高さ $12.5 \text{ cm}$ の供試体を作製した。このとき、メンブレンは $0.2 \text{ mm}$ 厚さのものを1枚(海砂)または2枚(まさ土)用いた。不飽和供試体は上述の気乾供試体の底部ペDESTALから水を約6時間供給して、海砂で飽和度 $91 \sim 93\%$ 、まさ土で約 $98\%$ のものを準備した。側圧 $\sigma_3$ は、 $0.5 \sim 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合は通常の方法で、また $\sigma_3=0.02 \sim 0.08 \text{ kgf/cm}^2$ の低い拘束圧は空気圧によって付加した。せん断試験は、約 $0.25 \text{ mm/min}$ の軸ひずみ速度で排水条件で行ったが、不飽和供試体の場合はせん断中ビューレットを低下させて排水水位を常に供試体中央に合わせ実験を行った。メンブレン補正はヘンゲル・ギルバートの方法で行った。メンブレンの圧縮係数は1枚で $0.396 \text{ kgf/cm}$ 、2枚で $0.680 \text{ kgf/cm}$ であった。

## 3. 実験結果

3.1 応力ひずみ曲線: 図1(a)(b)は $\sigma_3=0.02 \sim 0.08 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の応力ひずみ曲線を示す。海砂の場合、 $\sigma_3=0.5 \sim 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ では、気乾、不飽和両供試体の応力軸ひずみ関係はほとんど変わらないのであるが、側圧が $0.08 \text{ kgf/cm}^2$ 以下になると図1(a)のように明瞭な差が現われる。メンブレンの影響については、 $\sigma_3=0.5 \text{ kgf/cm}^2$ 以上では無視し得るが、 $\sigma_3=0.08 \text{ kgf/cm}^2$ の場合には図中に比較して示したようにピーク応力値で $11\%$ 、同じく $\sigma_3=0.02 \text{ kgf/cm}^2$ では $30\%$ もの誤差を与えることがわかった。

次に、まさ土の場合、 $\sigma_3=0.5 \sim 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ では不飽和供試体の $(\sigma_1 - \sigma_3)_p$ は気乾供試体のそれより $10 \sim 20\%$ 低くなる。これは先の研究で指摘したように粒子破砕によるところが大きい。しかし、 $\sigma_3=0.02 \text{ kgf/cm}^2$ のように粒子破砕の生じない条件下では不飽和供試体の方がより高い強度を示すようになる。

上述のように、低圧域では両試料ともに不飽和供試体の方が高い強度を示すが、これは後述するようにサクシオンの作用によるものと考えられる。

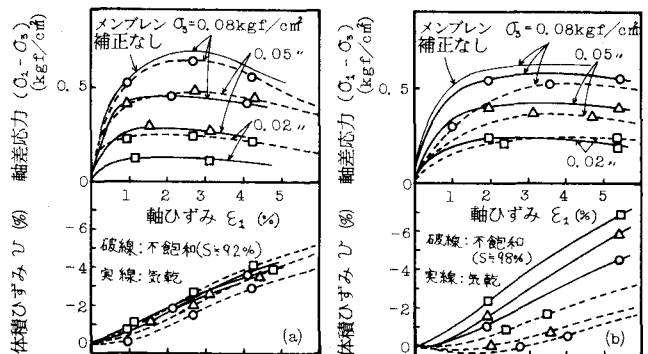


図1 超低圧下の三軸排水せん断試験結果: (a) 砂, (b) まさ土

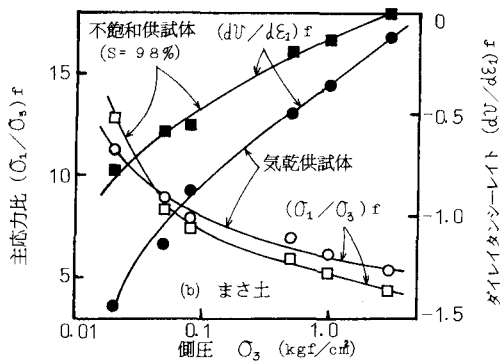
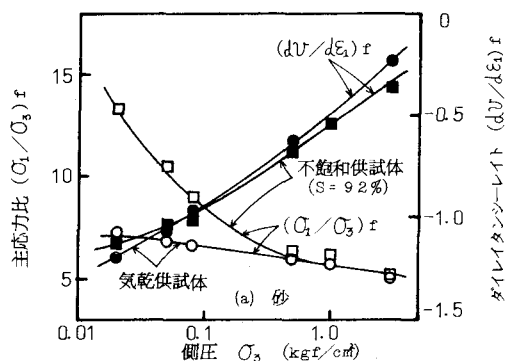


図2 側圧の変化に伴う主応力比とダイレイタンスーレイトの変化

### 3.2 ストレスダイレイタンスー特性: 図2(a)に示す

ように、砂の気乾供試体の主応力比は $\sigma_3$ の減少に伴って若干大きくなる。龍岡が指摘したように、さらに低い拘束圧下では $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は一定値に近づくのかも知れない。ところが不飽和供試体の主応力比は $\sigma_3$ の減少に伴って急速に大きくなる。両供試体の主応力比の差は主としてサクションによるものと考えられる。両者の差はすべてサクションに起因していると仮定すると、サクションによる有効側圧増加分は $0.02 \sim 0.03 \text{ kgf/cm}^2$ となる。

次に、まさ土の実験結果は図2(b)に示されている気乾供試体の場合は、 $\sigma_3$ の減少に伴って $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は徐々に大きくなっているが、これは図4(b)に示すように粒子破砕が次第に減少していくことと密接な関係がある。ぜい弱土粒子からなるまさ土では、図4(b)にみられるように、 $\sigma_3 = 0.02 \text{ kgf/cm}^2$ という超低圧になってようやくせん断中の粒子破砕が生じなくなるのである。まさ土の不飽和供試体においては、水分の作用で一層粒子破砕しやすくなっているの、気乾供試体よりも $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は低くなっている。

しかし、 $\sigma_3 = 0.02 \text{ kgf/cm}^2$ の圧力下では粒子破砕をほとんど生じないので(図4(b))、サクションの作用による有効側圧の増加によって、気乾供試体の $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ より大きくなると考えられる。図4(b)において、まさ土の非粒子破砕領域( $\sigma_3 \leq 0.05 \text{ kgf/cm}^2$ )でも両供試体の間に粒子破砕量の差が生じているのは、せん断前の供試体に水を供給したことによる粒子破砕量の差である。

### 4. まとめ

- 1)  $\sigma_3 \leq 0.1 \text{ kgf/cm}^2$ の低圧下での三軸試験を行う場合はメンブレンの強度補正が必要不可欠となる。
- 2) せん断特性に粒子破砕の影響が現れなくなるのは海砂で $\sigma_3 < 3.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、まさ土で $\sigma_3 < 0.1 \text{ kgf/cm}^2$ である。
- 3) 低圧下ではサクションの影響が顕著となる。サクションによる有効側圧の増加分は、飽和度 $S_r = 91 \sim 93\%$ の砂では $\Delta\sigma_3 = 0.02 \sim 0.03 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $S_r = 98\%$ のまさ土では $\Delta\sigma_3 = 0.01 \sim 0.02 \text{ kgf/cm}^2$ と推定された。

文献 1) 龍岡文夫: 土と基礎, Vol. 32, NO. 2, 1984 2) 三浦他: 山口大学工学部研究報告, Vol. 34, NO. 1, 1983 3) 三浦他: 山口大学工学部研究報告, Vol. 34, No. 2, 1984 4) Bishop・Henkel: The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test, 1962 5) 三浦他: 土木学会論文報告集, NO. 336, 1983

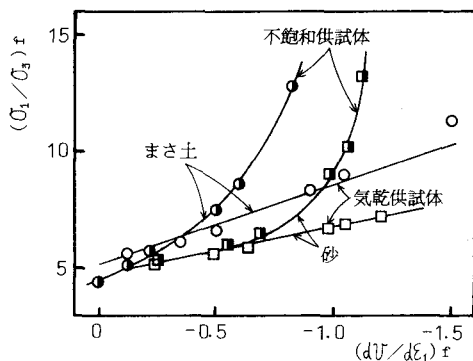


図3 ストレスダイレイタンスー関係

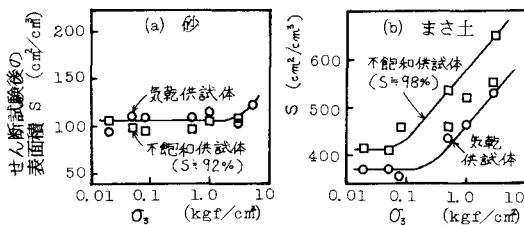


図4 低圧下のせん断試験における粒子破砕 (sの増加)