

乾燥砂の三主応力制御試験

東北大学工学部
東北大学工学部 諸戸靖史
東北大学工学部 河上房義

はじめに 三主応力制御試験機は、異なる三主応力を供試体に加えることが可能であるため、従来の円筒型三軸装置では不可能であった三主応力下の強度特性や応力-歪関係などに対して、有益なデータを提供してくれると思われる。以下では、新しく製作した三主応力制御試験機の概略と、この試験機により得られた三主応力下の乾燥砂の強度特性について報告する。

装置の概略 Fig.1は三主応力制御試験機の三軸室の概略図である。特徴とするところは、中を水で満たした rubber bag を通して $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 10\text{cm}$ の立方供試体に応力が作用されることにある。この為、①供試体に均一な応力を作用させることができる。②中間主応力の大きさを自由に变化させることができる。等が本装置の長所である。供試体と支切り骨組の間、隙間は、供試体の変形を考慮するなすどうしても必要である。その為、異なる圧力の rubber bag がこの隙間で直接接触することになるが、接触する可能性のある部分を特に補強することにより、差圧による rubber bag の破れを防止することができる。応力はブルドン管の目盛りより読み、一方各主方向の変形量は、各 rubber bag への水の出入りから、体積変化は先端部にポラス・ストーンとコリヤけたビニール管を通じて測定する。

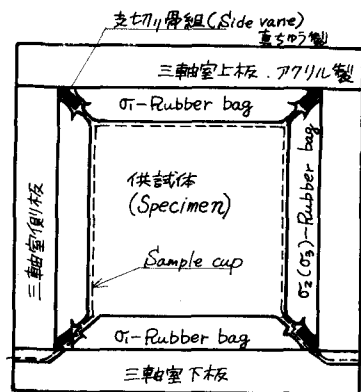


Fig.1 装置の概略

実験方法 実験に用いた試料は、乾燥状態の密着 ($e_0=0.65$) の豊浦標準砂である。供試体をセットした後、等方応力状態のまま各主応力を 1kg/cm^2 まで上昇させ、その後平均主応力が 1kg/cm^2 の条件下で破壊に至るまで断ち切る。各 stress path についてあらかじめ表を作成しておき、それぞれの応力点で変化量が止むのを待って、次の応力点に進む。stress path は μ (Lode angle $\mu = \frac{2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$, $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$) - 一定の他に、破壊曲線への stress path 依存性を調べる為、複雑な経路もとっているが、最大主応力の働いている面 (本実験では常に鉛直方向が σ_1) に途中で最小主応力が働くというような、応力が回転する経路はとっていない。円平面で言えば、圧縮 ($\mu=-1$) と伸張 ($\mu=+1$) の 60° の範囲のみに限定している。

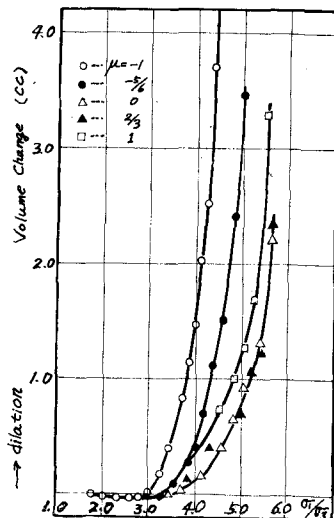


Fig.2 体積変化-応力比関係

実験結果及び考察 体積変化速度がそれぞれどの応力点における速度と比べて、それぞれ大きく、かつ変化が止むのにかなりの時間を要する応力点をもつて破壊点とする。この応力点では、ほとんどの試験で同時に絞り面の発生がみられた。

(強度特性) Fig.2は μ -一定試験の代表的な結果を $\Delta V - \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ 関係で整理したものである。 $\mu = -\frac{1}{2}$ から $\frac{1}{2}$ (ただし Fig.2では $\mu = -\frac{1}{2}, -\frac{1}{3}, \frac{1}{3}$ の結果は省略してある) の範囲では、体積変化は $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ のみで大体整理でき、破壊時の応力比 $(\frac{\sigma_2}{\sigma_1})_b$ もほぼ等しい値となっている。しかし $\mu=-1$ と $-\frac{1}{6}$ は、 $(\frac{\sigma_2}{\sigma_1})_b$ 並びに体積変化量の点で他の μ -一定試験とは

様相が若干異なる。 $\mu = -1$ では 体積は最も大きい。 逆に $(\frac{\sigma_3}{\sigma_1})_f$ は最も小さい。 破壊時における σ_3 方向の変形量を示したのが Fig. 4 である。 μ の方りの部分 ($\mu = -0.6 \sim 0.4$) で平面ヒズミ状態に近い変形をしていることがわかる。 平面ヒズミ試験では μ は変形に伴って変化するが、 豊浦砂を用いた市原・松沢の平面ヒズミ試験とも照合してみると $\mu = -0.5$ 付近に平面ヒズミ状態があることは、 十分な結果である。 Fig. 3 は強度定数(内部摩擦角) $\phi = \sin^{-1} \left(\frac{(\frac{\sigma_3}{\sigma_1})_f - 1}{(\frac{\sigma_3}{\sigma_1})_f + 1} \right)$ より求め、 μ に対してプロットしたものである。 ϕ は $\mu = -1$ で最小(約 $40^\circ 30'$) をとり、 $\mu = -0.6 \sim -0.7$ 付近まで増加する。 その後、一定のまま(約 $44^\circ 30'$) $\mu = +1$ に至る。 $\mu = +0.7$ 付近から若干減少する気配もないではないがほぼ一定とみなせよう。 従って本実験では伸張と圧縮で ϕ は一致しない。 μ -定試験より求めた破壊曲線の径路に依存しない。 つまり最終的な応力状態のみで決定されるものである。 二点を調べる為、 Fig. 3 に示すような μ -定とはかなり異なった4通りの径路を用いて試験をした。 結果は白丸で示されているが、 μ -定試験で得られた結果とほぼ一致している。 ϕ - μ 関係について今まで発表されたものも調べた場合、 ほぼ二つに分類できる。(Fig. 5) 一方は $\mu = -1$ から -0.5 付近まで増加し、 thereafter は一定である結果 (Green⁽²⁾, 筆者等) 他方は、 一旦は増加するが、 thereafter は減少し圧縮と伸張で ϕ が等しくなる結果 (Sutherland⁽³⁾ 他、 松岡⁽⁴⁾ の提案式) である。 この二方に途中までは一致しているのに 伸張状態に近づくにつれて ϕ が異なってくる原因は、 装置そのものの影響の他に、 初期異方性や ϕ (σ_3) に対する応力値、 特に σ_3 の誤差の影響(この影響は三軸圧縮に近づく程小さくなる)が考えられるのではなかろうか。

(3) 面形状 本実験では、 ほとんどどの実験でスベリ面の発生がみられた。 破壊したと思われた応力点で載荷をストップし、 0.2 kg/cm^2 の等方状態で除荷したあと、 真空で形を保持してから、 三軸室上板、 側板を取りはずすことにより、 スベリ面の発生をみることをできた。 その特徴は、 $\mu = -1, +1$ 以外の μ -定試験では、 スベリ面が σ_3 の方向と平行に発生した点である。 Fig. 6 にスベリ面の形状及び σ_3 が働く面との角度を示したが、 角度は $65^\circ \sim 67^\circ$ のものが多かった。 $45^\circ + \frac{\phi}{2} = 65^\circ \sim 67^\circ$ より ϕ を求めると $\phi = 40^\circ \sim 44^\circ$ となり、 破壊値より求めた内部摩擦角 ϕ とよく一致を示す。 この傾向は Cornforth⁽⁵⁾ の平面ヒズミ試験でもみられた。 だが注意しなければならぬことは、 発生領域が断面の高さの割程度に限定されていることである。 これは rubber bag を通じて載荷した為と思われ、 今後は 実験装置の相違がどのように影響するのかがについて検討しなければならぬ。

尚 本研究は昭和48年度 文部省科研費の援助に依るものであることを付記する。

参考文献

- (1) 市原・松沢: 平面ヒズミ状態と軸対称ヒズミ状態における乾砂のせん断特性 土木学会論文報告集 No. 173, 1970, p. 97~59
- (2) Green: Proc. of Roscoe Memorial Symposium 1971, p. 285~323 (on the Strength)
- (3) Sutherland and Mesdary: The influence of the Intermediate Principal Stress of Sand Proc. 7th. ICSMFE, 1969, p. 391~399
- (4) 松岡, 中井: 田中良三先生から土の力学への関係と研究条件 第9回土質工学会研究発表会, 1974, p. 163~166
- (5) Cornforth: Some experiments on the Influence of Strain Condition on the Strength of Sand Geotechnique, 1964, p. 143~166

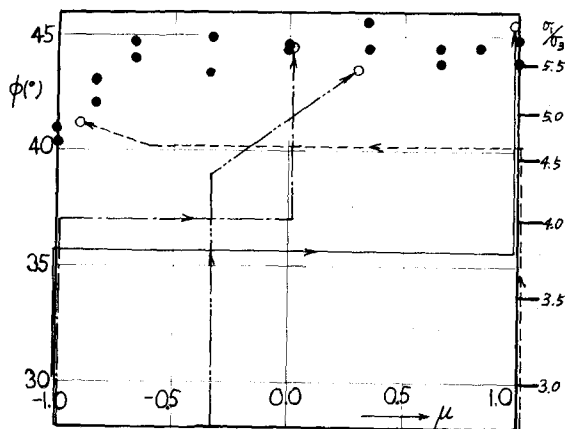


Fig. 3 内部摩擦角及び応力経路

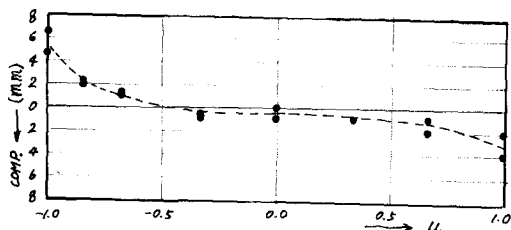


Fig. 4 破壊時における σ_3 方向の変形量

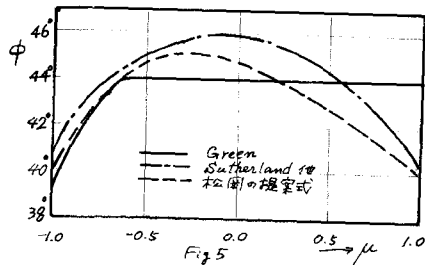


Fig. 5

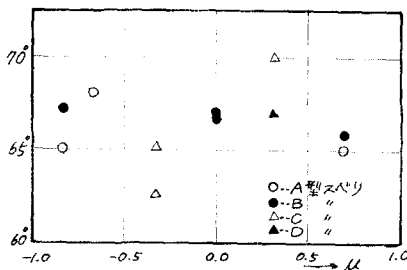
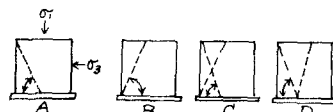


Fig. 6 スベリ面の形状及び角度