

京都大学防災研究所

正員

北村良介

同上

正員

足立紀尚

1. 概要

筆者らは、粒状体の力学現象に対するエネルギー的考察を前々回¹⁾、前回²⁾と行ってきたことあり、粒レベルでの粒状体の変形機構を解析し、構成関係を確立していくに際し、エネルギーという物理量が非常に重要な役割を果たしていることを明らかにしてきた。今回の発表では、側圧一定試験、平均有効主応力一定での種々の応力経路を有するせん断試験及び静的向張り試験結果について、粒状体になされた仕事量に焦点を絞り、これらの一連の成果をまとめることにする。

2. 実験手順

実験に用いた装置は試作修正三軸装置といわれるものであり、通常の三軸セル内に新たな載荷装置を挿入することにより相異なる主応力を発生させることができる。また、ペタスタイルキャップを取り換えることにより、直径5cm、10cm、高さ10cmの円筒形供試体及び一辺10cmの立方体供試体による実験が可能になっている。試作修正三軸装置に関する詳しい説明は別の機会に行う予定である。ここに発表するデータは、すべて飽和砂の排水条件でのせん断試験結果であり、側圧一定圧縮試験では直径10cm、高さ10cmの円筒形供試体が、また、その他の試験では一辺10cmの立方体供試体が用いられている。載荷方法は側圧一定試験ではひずみ制御であり、その他の試験では応力制御方式が採用されている。用いた試料は豊前標準砂であり、突き棒による突き固め回数の方々に供試体の初期間隙比を調整している。供試体は所定の圧力で等方圧密した後、せん断を開始している。主応力が異なる一般応力状態での試験は平均有効主応力を一定(2kg/cm²)とし、主応力空間における静水圧軸に垂直な平面(正八面体面)において、図-1に示すような放射状の応力経路が用いられている。また、これらの試験における初期間隙比は密な場合が0.65~0.70、緩い場合が0.80である。

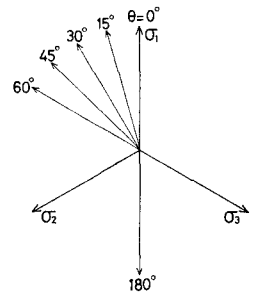


図-1

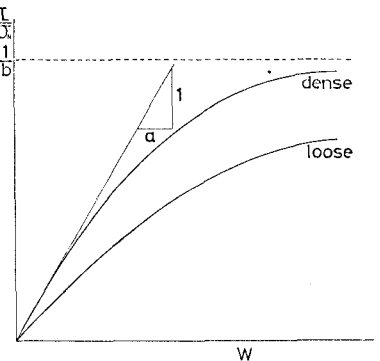


図-2

3. 実験結果

一般に、粒状体になされた仕事量 W と応力比 σ_{α} との関係も定性的にあらわすと図-2のようになる。ここに、 σ_{α} は松岡ら³⁾が提案している空間モーザイスト面上のせん断・垂直応力比であり、次式であらわされる。

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{I_1 I_2 - 9 I_3}{9 I_3}} \quad I_1, I_2, I_3: \text{応力の1次, 2次, 3次の不変量。} \quad (1)$$

また、 W は次式を用いて計算されるものである。

$$W = \sum \sigma W = \sum (\sigma_1 \cdot d\epsilon_1 + \sigma_2 \cdot d\epsilon_2 + \sigma_3 \cdot d\epsilon_3) \quad (2)$$

ここに、 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: 主応力、 $d\epsilon_1, d\epsilon_2, d\epsilon_3$: 主ひずみ成分。

いま、せん断試験の結果を $W/(\sigma_{\alpha})$ と W の関係で整理してみると、図-3、4、5、6のようになる。これらの図をみればわかるように、 $W/(\sigma_{\alpha})$ と W の間には直線関係が存在する。すなわち、応力比 σ_{α} と仕事量 W の関係

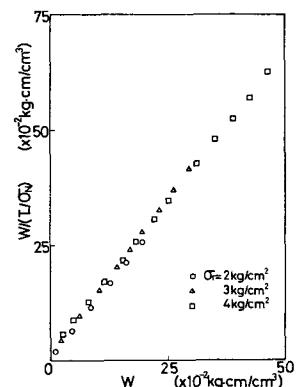


図-3

が次の双曲線関係式であらわされる。

$$\frac{\tau}{W} = \frac{W}{a + b \cdot W} \quad (3)$$

ここに、 a ：図-2に示すように $\tau/W \sim W$ 関係における初期接線勾配の逆数であり、図-3~6における縦軸切片。 b ：図-2に示すように $\tau/W \sim W$ 関係における τ/W の漸近線の逆数であり、図-3~6における直線の勾配。

(3)式中の係数 a 、 b は一般的には粒状体の初期間隙比、粒子構造、粒子表面での物理化学的性質に依存するものと考えられる。図-3は側圧一定条件での試験結果であり、図より係数 a 、 b は拘束圧に依存しないことがわかる。図-4は図-1に示された応力経路をもつ密な供試体による試験結果である。図より係数 a 、 b は図-1のような応力経路には依存せず、1回一定値をとることがわかる。図-5は両取りくり返し試験における載荷過程での τ/W と W の関係を示したものである。図より第1回目の載荷過程のみならず、第2、第3回目の載荷過程においても(3)式で示される双曲線関係が存在することからわかる。図-6は $\theta = 0^\circ$ (圧縮)での密詰め供試体と緩詰め供試体の試験結果である。図によれば、間隙比の差によって、(3)式中の係数 a 、 b に差が生じている。すなわち、間隙比が大きくなるにつれて、 a 、 b ともに大きくなっていく。このことは図-2に示した密詰め、緩詰め供試体の定性的な関係に対応している。

以上、図-3~6より単純載荷過程、両取り試験における載荷過程では応力比 τ/W と粒状体になされた仕事量 W との関係は、(3)式で示される双曲線関係で表現できることがわかる。また、図-2に示す初期接線勾配 $1/a$ 、漸近線 $1/b$ については多少のバラツキはあるが、図-3~6の応力条件における試験結果より(3)式中の係数 a 、 b は拘束圧や応力経路に影響されず、間隙比に依存する係数であると考えられる。

4. 結語

3報にわたって粒状体の粒子レベルでの変形機構の解析及び構成関係の誘導に際して、粒状体になされた仕事量が果たしている役割について述べ、応力比と仕事量の関係を表現する式として(3)式が有用であることを、これよでの実験結果より明らかにしてきた。今後は(3)式中の係数 a 、 b の合理的かつ簡便な決定法について考察を加えていきたいと考えている。

(参考文献)

- 1) 北村, 足立: 工学全書講, Ⅱ-39, 1977.
- 2) 北村, 足立: 工学全書講, Ⅱ-1, 1978.
- 3) 松岡, 中井: 京大防災年報, 第17号B, 1974, pp. 319-333.

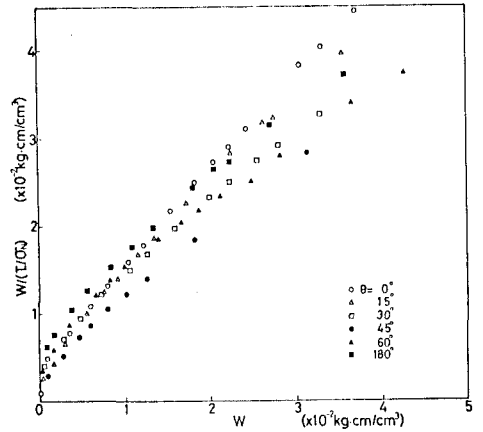


図-4

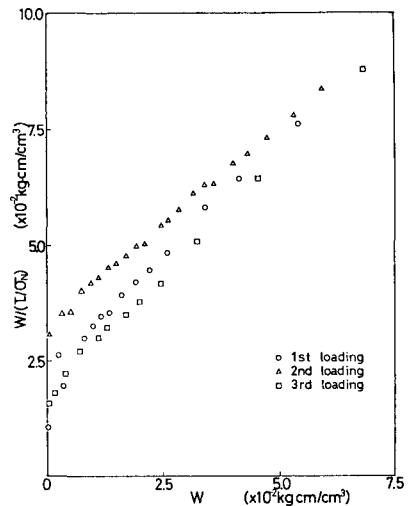


図-5

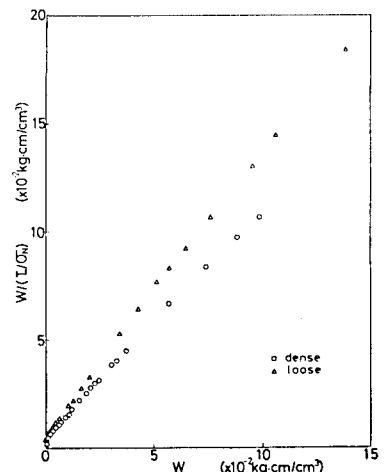


図-6