

Ⅲ—1

簡単なモデル実験による粒状体の変形機構の考察

八戸工業大学 学生員 〇石母田 雅之、大谷盛睦
丸山 志功
八戸工業大学 正会員 飛田 善雄

1. はじめに： 簡単な単純せん断試験装置を制作し、様々な試験条件の元での応力・ひずみ関係を求めた。特に、せん断棒を引っ張る等径の粒状体について、粒状体の内部構造の変化と粒子個々の運動をスライド撮影し、それを解析した結果について報告する。

2. 試験装置と実験条件： 製作した単純せん断試験装置を図-1に示す。アクリル板を通して、単純せん断時のせん断棒の中の粒子の動きを写真撮影した。作成したスライドを映写して、粒子の運動をトレースすることにより、粒子の運動・内部構造の変化について検討した。検討項目は、①個々の粒子の接触状況の変化、②個々の粒子の中心における変位、③個々の粒子の回転の程度である。粒子としては、市販されている木の丸棒（直径10mm, 8mm, 5mm）を用いた。断面を塗装し、十字印をつけ、粒子の回転量を調べた。

応力・ひずみ関係に及ぼす実験条件の影響を調べるために、次の項目について検討した。①せん断力を加える方法：せん断棒全体を水平に引っ張る場合と上部載荷板のみを水平に引っ張り、載荷板と粒子との接触状況を様々に変化させた場合の差異、②上載荷重を変化させた場合、③粒子の組成（均一径の場合、混合した場合など）④積み上げ高さ h を変えて実験を行った場合。

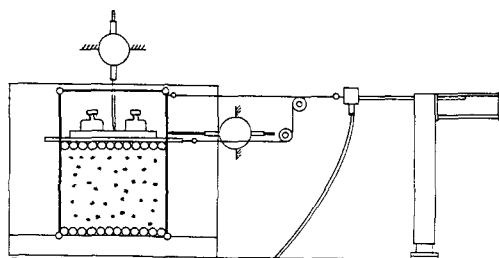


図-1：単純せん断試験装置全体図

3. 実験条件が応力・ひずみ関係に及ぼす影響

摩擦性材料にとって、最も基本的な上載荷重の影響について行った実験の応力・ひずみ関係を図-2に示す。この実験では、せん断棒全体を引っ張っており、粒子組成は均一径である。 $h=10.5\text{cm}$ で実験を行っている。上載荷重が大きくなることにより、発揮されるせん断荷重は大きくなる傾向をしめすが、ダイレイタンの傾向をほぼ同じである。

その他の実験条件が応力・ひずみ関係に及ぼす影響を簡単にまとめると、

①せん断棒を引っ張る条件では、積み上げ高さが高いほど、大きなせん断力が発揮される。これは、「せん断棒を引っ張る試験では、力の一部が水平方向の運動を拘束している板を介して伝達されること、必ずしも単純せん断モードで変形は進んでいないこと」を示唆するものと考えられる。

② 上部載荷板のみを引っ張る試験では、砂を接着剤により固定した方法が、最も効果的であり、大きなせん断ひずみを与えることができる（他に、ピンを使う方法、載荷板に紙ヤスリを張り付ける方法、粒子とし

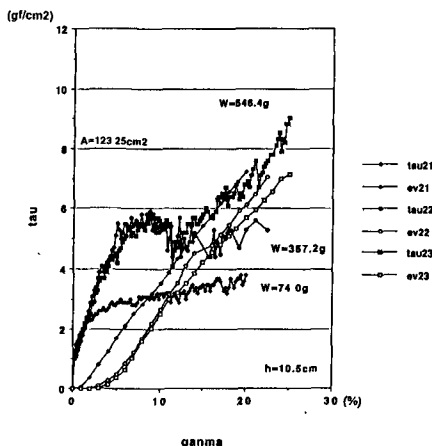


図-2：上載荷重が変化したときの応力ひずみ関係

て用いた丸棒を張り付ける方法などを試みた)。

③ 粒子の組成を変化させても、今回の実験では、発揮されるせん断力に大きな変化はなかったが、混合粒子の方が、ダイレイタンスーが小さくなる傾向があった。

4. 単純せん断時の内部構造の変化と粒子の動き

試験条件として、せん断棒全体を引っ張る、上載荷重： $w=685.4gf$ 、均一粒径を用いた場合の図-3の応力・ひずみ関係を示す試験について詳細に検討した。図-4は、粒子の接触状況に関するコンタクトテンソルを $C_{ij} = \sum E(\theta) n_i n_j$ により求めた結果を示している。ここに、 $E(\theta)$ は、確率密度関数であり、 n_i は接触法線ベクトルである。この結果は、最初の方であったものが、載荷の仮定で異方性が増し、その変化は、変形前期のひずみ硬化時に大きく、変形後期では、あまり大きくないことを示している。

図-5は、個々の粒子の変形中の(図-3における①→②における回転量)の回転の程度を示している。かなりの粒子が回転していることが解る。特に、①せん断棒左上部(せん断は左から右)で大きな回転が起こっていること。②対になって、歯車の様に(隣合う粒子が反対方向に)回転する粒子が多いことが解る。尚図-5は、実際の回転角度を3倍して図示している。①の特徴は、粒子中心の変位、その変位を初期状態の配置に関して、有限要素法の線形要素と同様の手法を用いて(中心の変位を接点変位と考えた)求めたひずみの分布でも言えることである。

5. むすび

簡単な単純せん断試験装置を製作し、種々の条件下における応力・ひずみ-ダイレイタンスー関係を求めた。今回は、せん断棒全体を引っ張り、均一な径を有する場合について、詳細な内部構造の変化、ひずみの分布、個々の粒子の回転を調べた。その結果、
① 単純せん断試験時の粒状体の内部状態は、要素試験で要求される均一な変形モードからは程遠く、せん断棒の中でどこに位置するかで、大きくその運動・構造が異なる事。特に、せん断棒全体を引っ張る場合に、変形の不均質性が高いことが解った。
② 個々の粒子の回転がかなり生じており、特に隣合う粒子が反対方向に運動するモードが観察された。

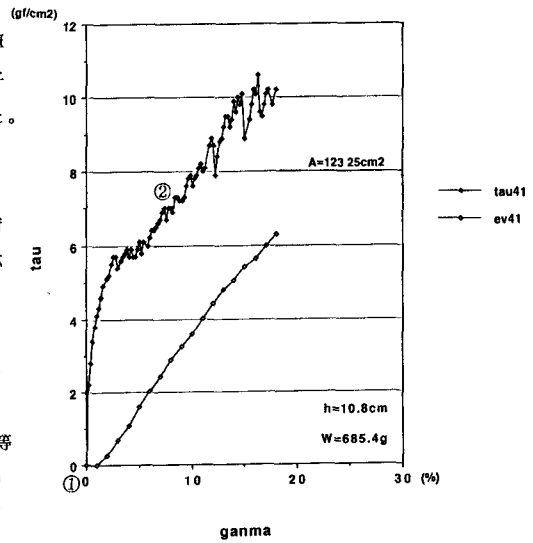


図-3：解析に用いた応力ひずみ関係

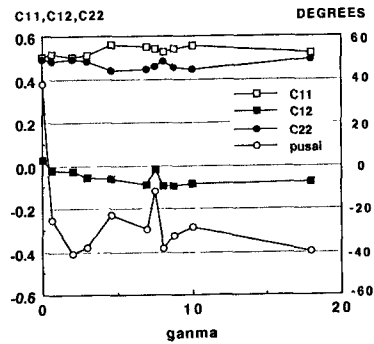


図-4：コンタクトテンソルの変化

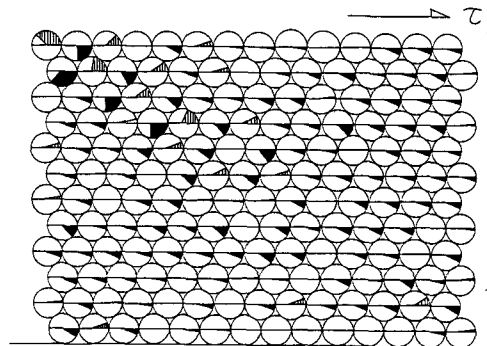


図-5：変形中の粒子の回転