

III-402

粒状体のせん断時の粒子接点角の変化とせん断ひずみの関係

(株)大林組技術研究所 正会員 山本 修一  
名古屋工業大学 正会員 松岡 元

**1. はじめに** 個別要素法 (DEM) <sup>1),2)</sup> によるアルミ棒積層体の二軸圧縮試験シミュレーション結果<sup>3)</sup> から、粒状体のせん断時の粒子接点角の変化について検討し、粒子の滑動とせん断ひずみの関係について考察した。

**2. 二軸圧縮試験シミュレーション** 長さ5cm、直径0.5cmおよび0.9cmの2種類のアルミ丸棒を混合重量比3:2の割合でランダム配置して作成した積層体(粒子数は約850個)の二軸圧縮試験(等方圧密後せん断)結果と、試験をできるだけ忠実にモデル化して行ったDEMシミュレーションの結果を比較して図-1に示す。実験および解析は初期粒子配置を変えて2ケース行った(ここではケース1の結果のみを示している)。実験結果と解析結果は定量的にもよく一致しているため、以下では解析結果をもとに粒子の滑動とせん断ひずみについて考察する。

**3. 粒子の滑動方向と滑動量の分布** 粒状体がせん断応力

( $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ )を受けた時、個々の粒子の動きは一見複雑で

あるが、平均的には主応力方向と粒子接点角の関係から図-2に示すように滑動する(粒子間軸の回転を含む)と考えるのが自然である( $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ はそれぞれ最大、最小主応力である)。実際には、せん断変形中に粒子と粒子が離れたり(接点の消滅)、接触していなかった粒子が新たに接触する場合(接点の発生)があるが、ここでは接触し続ける接点の滑動(接点角の変化)に着目して考察する。図-3に等方応力状態からの1接点当たりの平均的な粒子接点角増分 $\Delta\alpha$ の分布の例を示す。 $\alpha$ は粒子接面の垂直方向が最大主応力面となす角度(反時計回りを正とする)である。破線は、接点角 $\alpha$ の粒子接面に作用するマクロなせん断・垂直応力比( $\tau/\sigma_N$ )の分布(式(1)で示される)を最大値で正規化して示している。

$$\frac{\tau}{\sigma_N} = \frac{-(\sigma_1 - \sigma_3)\sin 2\alpha}{(\sigma_1 + \sigma_3) - (\sigma_1 - \sigma_3)\cos 2\alpha} \quad (1)$$

図-3から $\Delta\alpha$ の分布は( $\tau/\sigma_N$ )の分布とよく対応していることがわかる。このことは粒子の滑動がせん断・垂直応力比( $\tau/\sigma_N$ )—摩擦則—に支配されることを示しており、土のせん断特性を支配するのはモービライズド面(最大主応力面から( $\pi/4 + \phi_{mo}/2$ ))を成す面)であるという考えを支持するものである。次に、モービライズド面上の接点の接点角 $\theta$ を図-4に示すように定義し(せん断に抵抗する方向を正とする)、モービライズド面での接点角増分( $-\Delta\theta$ )の分布とその変化を図-5に示す。ここでは、最大主応力面から( $\pi/4 + \phi_{mo}/2$ )を成す面に平行な複数のモービライズド面上の接点を対象とした。図-5より、せん断過程を通して、 $\theta=0^\circ$ の接点の滑動量がほぼ最大となることがわかる。以上から、粒子の滑動方向は平均的には図-2で示されるように粒子接点角と主応力方向との関係で決まり、その大きさはモービライズド面に平行な接面を有する接点が最も大きく、主応力面に平行な接面を有する接点が最も小さいと言える。

**4. 粒子接点角増分とせん断ひずみの関係** モービライズド面上のミクロな回転角である粒子接点角増分( $-\Delta\theta$ )とマクロな回転角であるせん断ひずみ( $\gamma$ )との関係を見るために、粒子接点角増分の代表値として $\theta=0^\circ$ の接点角増分( $-\Delta\theta_0$ )を選び、初期粒子配置の異なる2ケースについて $-\Delta\theta_0$ と $\gamma$ との関係をプロットして図-6に示す。 $-\Delta\theta_0$ と $\gamma$ は応力比のピーク後も含めてよく対応しており、モービライズド面上のせん断ひずみ $\gamma$ がその面に平行な接面を有する接点( $\theta=0^\circ$ )の平均的な接点角増分で表せるようであり興味深い。

**5. まとめ** 以上は、2ケースの二軸圧縮試験のシミュレーション結果をもとに粒子の滑動について考察したもので、これらが普遍的な法則であるかどうかは今後の検討で明らかにする必要があるが、粒状体のせん断時の変形のメカニズムに関する有用な結果が得られたと考えている。今後、粒状体のせん断時の粒子接点の発生、消滅のメカニズムと併せて考察し、ひずみの大きさと粒子構造の変化について検討する予定である。

参考文献

- 1) Cundall et al; A discrete numerical model for granular assemblies, Géotechnique 29, No.1, 1979.
- 2) 山本他; スーパーコンピュータを用いた個別要素法による岩砕地盤の動的挙動解析, 構造工学における数値解析法シンポジウム, 1990.
- 3) 松岡他; 個別要素法による粒状体のせん断機構の微視的考察, 第28回土質工学研究発表会, 1993 (掲載予定)。

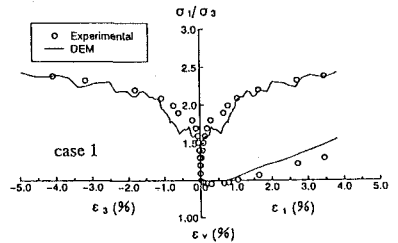


図-1 二軸圧縮試験結果とDEMシミュレーション結果の比較

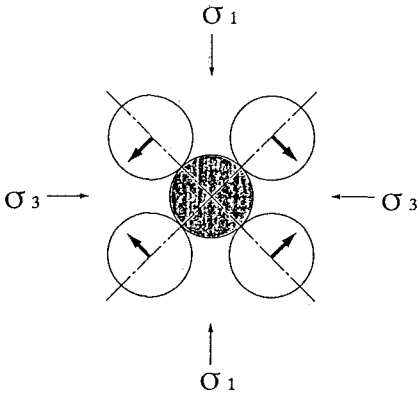


図-2 せん断時の粒子の滑動方向

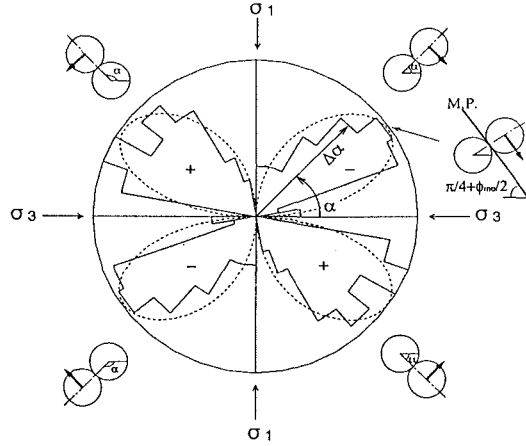


図-3 粒子接点角増分  $\Delta\alpha$  の分布

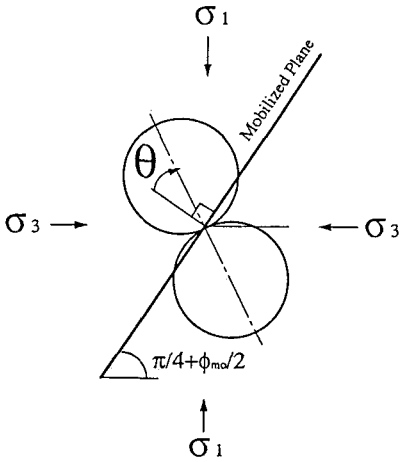


図-4 モービライズド面における粒子接点角

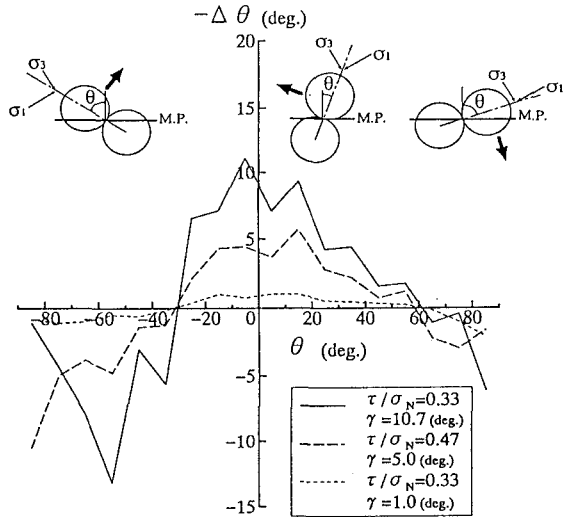


図-5 モービライズド面上の粒子接点角増分  $\Delta\theta$  の分布とその変化

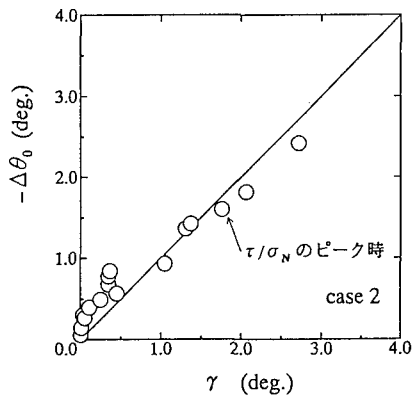
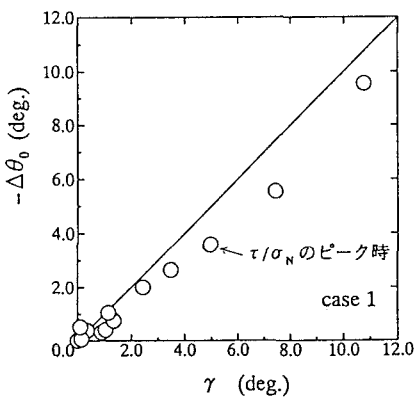


図-6 モービライズド面における  $\theta=0^\circ$  の接点角増分  $-\Delta\theta_0$  とせん断ひずみ  $\gamma$  の関係