

III-221

2次元粒状体モデル実験による個別要素解析の検討

名古屋工業大学 正会員 松岡 元
 北海道大学 正会員 三浦均也
 名古屋工業大学 学生会員 孫 徳安
 兵庫県 正会員 ○當舎良章

本研究では、①2次元粒状体のモデルとしての各種径のアルミ丸棒積層体を試料として二軸圧縮試験を行い、②粒子間の接触理論などに基づいて、可能な限り正確なアルミ丸棒粒子間の係数値を定め、③その試験条件に合わせた個別要素解析(DEM)を、その決定された係数値を用いて行うことを試みた。そして、①の試験結果と③の解析結果を総合的に比較検討することにより、個別要素解析が定量的な意味で有益な解析法かどうかを判断する。

1. アルミ丸棒積層体の二軸圧縮試験

アルミ丸棒積層体(径1.6mm、3mm、長さ50mm、混合重量比3:2と径5mm、9mm、長さ50mm、混合重量比3:2)を試料とし、0.5kgf/cm²まで等方圧密した後(この時の間隙比を初期間隙比eとする)、側圧 $\sigma_3=0.5\text{kgf/cm}^2$ として二軸圧縮試験を行った。なお、1.6mm×3=5mm、3mm×3=9mmのように、直径比は約3倍の相似律を満たす。図-1、2は、それぞれ径1.6mm、3mmと径5mm、9mmの試験結果を主応力比(σ_1/σ_3)~主ひずみ(ϵ_1, ϵ_3)関係で示したものである。これらの図より、粒径が相似的に(この場合は直径比3倍)大きくなっても、主応力比~主ひずみ関係は類似した挙動を示すのがみられる。

2. 個別要素法に用いるパラメーターの算出法

法線方向の弾性定数Knは、2円柱および、円柱と板の接触理論¹⁾から算出し、接線方向の弾性定数Ksは、表面に凹凸がある2円柱の接触理論²⁾に、二軸圧縮試験のアルミ丸棒1本当りの作用力を考慮して算出した。粒子間摩擦角 ϕ は、アルミ丸棒を斜面上ですべらせる実験により $\phi=20^\circ$ とした。

3. 個別要素法による解析結果と二軸圧縮試験結果の比較検討

本研究で決めたアルミ丸棒の係数値(表-1、左

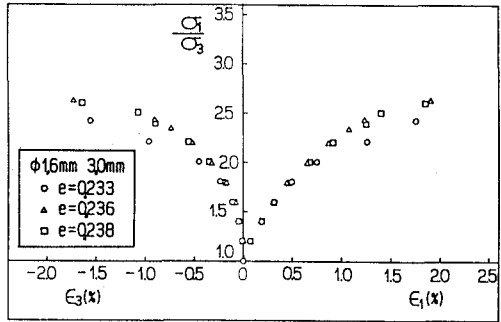


図-1 径1.6, 3mmのアルミ丸棒積層体の二軸圧縮試験結果

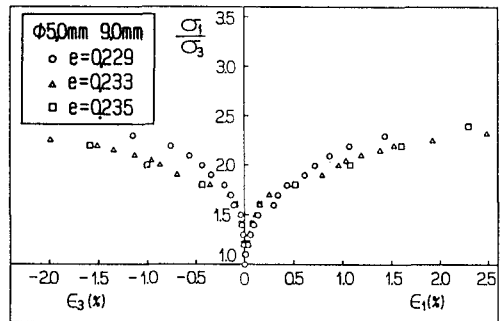


図-2 径5, 9mmのアルミ丸棒積層体の二軸圧縮試験結果

表-1 個別要素解析のパラメーター

		決定係数値	解析に用いた係数値
法線方向の弾性定数Kn (kgf/cm ²)	粒子間	9.0×10 ⁴	18.0×10
	粒子と壁	18.0×10 ⁴	
接線方向の弾性定数Ks (kgf/cm ²)	粒子間	1.67×10 ⁸	9.0×10
	粒子と壁	3.34×10 ⁸	
粒子の直径 (mm)		1.6, 3.0	1.6×10 ⁶ , 3.0×10 ⁶
粒子間摩擦角 φμ		20°	20°
比重 Gs		2.7	2.7
垂直減衰率 η ⁿ (kgf·sec/cm ²)			0.7
接線減衰率 η ^s (kgf·sec/cm ²)			0.7
質量減衰比 p			0.7

欄)を用いて、平均主応力 $\sigma_m=0.5\text{kgf/cm}^2$ とし、個別要素法解析を行ったが、解は発散して得られなかった。そこで、弾性係数を小さくし粒径を大きくさせて(表-1,右欄)解析を行った。その理由は次の通りである。個別要素法の解析値は、運動方程式を時間領域で積分して求められ、収束させるためには解析の時間刻み dt を、 $dt(T/\pi)=1/(\Lambda\pi)=2\sqrt{m/k}=2\sqrt{\rho\pi r^2/k}$ としなければならない(T :周期, Λ :振動数, m :粒子質量, k :バネ定数, ρ :密度, r :粒子半径)。よって、バネ定数 k を小さくし粒子半径 r を大きくすることにより、解析の時間刻み dt を大きくさせ解を収束させている。図-3は、カンドールら³⁾による個別要素解析結果⁴⁾(実線, $\phi\mu=20^\circ$, $e=0.23$)と、解析条件(表-1,右欄)の中で粒子間摩擦角 $\phi\mu$ の値だけを変化させた解析結果(点プロット, $\phi\mu=0^\circ, 10^\circ, 30^\circ$)と、図-1の試験結果のうち初期間隙比に近い結果(白丸プロット, $e=0.236$)の比較を示している。解析結果($\phi\mu=20^\circ$)と試験結果は比較的良好に対応するように見えるが、これはたまたま両者がほぼ一致する例と考えるべきである。なぜなら、粒子個数が少ない(161個)ため、載荷方向などによって解析値は大幅に異なるからである。また、粒子間摩擦角 $\phi\mu$ の値だけを変化させた解析結果は、どういうわけかほとんど変化しない。

図-4に $\phi\mu$ が相当異なるアルミ丸棒積層体(径5mm, 9mm, 長さ50mm、混合重量比3:2)とテフロン丸棒積層体(径5mm, 9mm、長さ50mm、混合重量比3:2)の試験結果を示すが、両者の実測値はかなり異なるのがみられる。なお、アルミ丸棒とテフロン丸棒の粒子間摩擦角 $\phi\mu$ の値はそれぞれ $\phi\mu=18^\circ\sim 21^\circ$, $\phi\mu=8^\circ\sim 11^\circ$ という実測結果が得られている。図-3の個別要素解析結果は、図-4のような自然な実測値の傾向を説明できない。

図-5は、解析結果($\phi\mu=0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$)を滑動面上の応力比(τ/σ_N)~ひずみ増分比($-d\epsilon_N/d\gamma$)関係で示したものである。図中には、従来よりよく用いられているアルミ丸棒積層体の試験結果の直線関係(勾配 $\lambda=0.9$, 縦軸切片 $\mu=0.19$)を示すが、両者は比較的近く興味深い。しかし、 $\phi\mu$ の値にかかわらず解析値はほとんど変化しない。

以上より、個別要素解析は、現状では単に粒子の定性的な挙動が説明できるだけであり、係数値を厳密に合わせた解析値と実際の粒子の挙動との定量的な比較については、今後の課題であるといえよう。

参考文献

- 1)Roark(1965):"Formulas for stress and strain" 4th edition, pp.319-321.
- 2)船橋・内藤(1975):"潤滑" 第20巻、第11号、pp.783-790.
- 3)Cundall and Strack (1979):Géotechnique, Vol.29, No.1, pp.47-65.
- 4)三浦・土岐・上野(1989):第24回土質工学研究発表会講演集、177、pp.467-470.

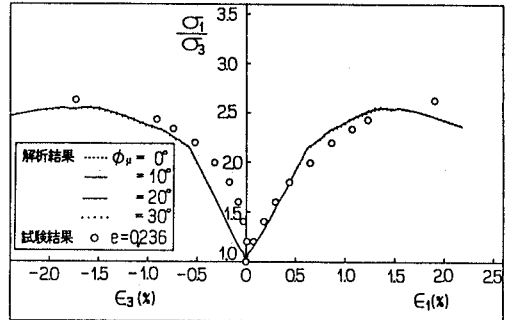


図-3 解析結果($\phi\mu$:各種)と試験結果($e=0.236$)

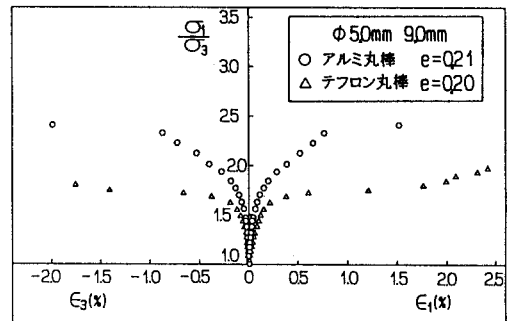


図-4 アルミ丸棒とテフロン丸棒の試験結果

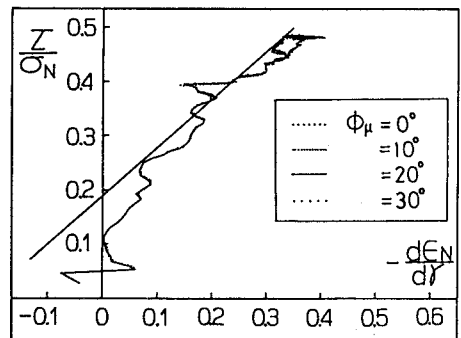


図-5 滑動面上の応力比~ひずみ増分比関係の解析結果