

III-3

シミュレーションによる粒状体の散逸機構の解析

東北大学 学生員 ○鹿子嶋 康 博

同上 学生員 末 吉 牧 人

同上 正 員 岸 野 佑 次

1. まえがき

粒状体の構成則を合理的に定めるには、粒状体内部の変形機構を明らかにすることが重要であると考えられる。本研究においては、粒状体の変形機構にともなうエネルギーの散逸機構を明らかにするために、粒状要素法¹⁾を用いて2次元粒状体の排水および非排水条件下におけるせん断試験のシミュレーションを行った。散逸機構の解析を行うに当たっては、塑性変形と弾性変形を分離するために、粒子間のすべりを止め、補助的に解析を行った。

2. 解析方法

シミュレーションに用いた粒状体モデルを図-1に示す。粒子数は122個、粒径は6, 9, 12 mmの3種類を用いており、面積比は1:1:1とした。法線および接線方向の粒子間バネ剛性は1000 kgf/cm および 700 kgf/cm、粒子間摩擦角、境界との摩擦角はともに 25° とした。また、平均応力は一定の $\sigma_y = 1.5 \text{ kgf/cm}$ 一定とし、軸差応力増分は $\Delta |\sigma_y - \sigma_x| = 0.02 \sigma_y$ とし、以上の条件は同一に保ち排水および非排水の条件下に対応する境界辺の平行性を保つ以外に境界を拘束しない応力制御による载荷を行った。また、得られた载荷曲線上の点から粒子間のすべりを止めて分岐の载荷を行うことにより弾性変形を分離した。さらに、同一の点から除荷、再载荷も行った。これらの解析は応力比 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 の5点において実行した。

3. 結果とその考察

(1) 応力ひずみ関係 図-2 (a) に排水条件下、図-2 (b) に非排水条件下における応力ひずみ関係を示す。これらの図には応力比 0.15 の点で上述のすべり拘束、および除荷・再载荷を実行したものである。図-2 (a) の排水の場合、すべりを拘束すると軸差応力と最大せん断ひずみはほぼ直線関係となっていることが観察される。また、体積は膨張する傾向にあり、除荷においては圧縮、再载荷においては膨張が生じた。これに対して図-2 (b) の非排水の場合には、排水の場合の圧縮・膨張に対応して、平均有効応力の減少・増加が生じているのがわかる。これは、排水の場合、間隙が減って圧縮を生じるのに対し、非排水の場合には、体積が一定に保たために間隙圧が大きくなり、その分だけ平均有効応力は減少するためである。

(2) 変形分散テンソル²⁾ 図-3 には、変形分散テンソルを示す。平均的に線形変換で表せたとしたときの変形後の粒子の位置座標を $\underline{u}$ 、実際のデータから得られる粒子の位置座標を $\underline{\tilde{u}}$ とする

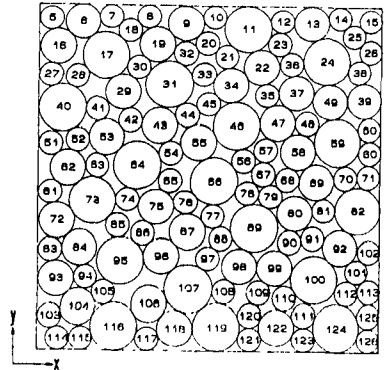
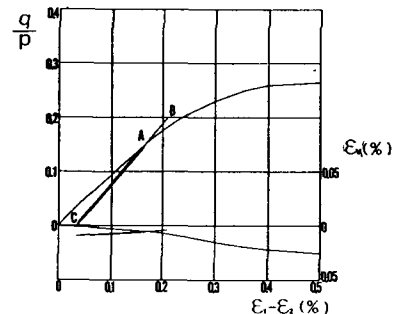
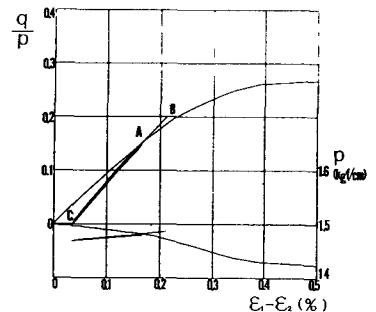


図-1 パッキングモデル



(a) 排水条件下



(b) 非排水条件下

図-2 応力ひずみ関係

と、位置の偏差 $\Delta \dot{\mathbf{u}}$ は次のようになる。

$$\Delta \dot{\mathbf{u}} = \dot{\mathbf{u}} - \bar{\mathbf{u}} \quad (1)$$

$$\mathbf{T} = \frac{1}{N} \sum \Delta \dot{\mathbf{u}} \Delta \dot{\mathbf{u}} \quad (2)$$

ここで、 N は粒子数である。また、このテンソルを、変形分散テンソルとよぶ。排水の場合も非排水の場合も、すべりを拘束した場合としない場合とで変形分散テンソルの最小主値はほぼ同一の値をとる、これに対して最大主値は大きく異なっており、すべり非拘束の場合はモールの半径が著しく大きなものとなっている。このことから、すべり非拘束の場合はある特定の方向に卓越して変形のばらつきが生じる傾向にあるということがいえる。この場合、変形のばらつきによる間隙が不可逆的に減少する方向に構造変化が生じると考えられるので、すべりを拘束した場合のような体積膨張や間隙圧の減少はみられない。粒状体の変位が平均的に線形変換で表せたとしたときの変形後の粒子の位置と、実際のデータから得られる粒子の位置の変位の偏差から二成分間の共分散を求めたテンソルによりモールの円で表示したものである。排水の場合も非排水の場合も、すべりを拘束すると載荷曲線上におけるモールの円の最小値に近い値をとる。載荷曲線上ではある一定の方向に卓越してばらつきが生じるが、すべりを拘束した直線上では比較的、等方的にばらつきが生じて、排水では膨張し、非排水では間隙圧が減少する。

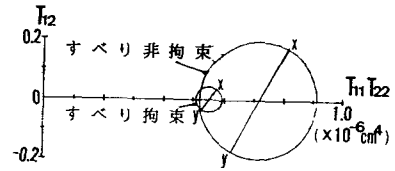
(3) 傾きと最大ひずみ関係 図-4には、ABの傾き α 、ACの傾き β を示す α 、 β の値は応力比の増加を伴わずに減少するがほぼ一定の値を示している。このことは、変形に含まれる弾性的性質は大きく変化しないことを示している。元の載荷曲線の接線の傾き γ は徐々に小さくなっており、これはこの粒状体モデルの硬化特性に対応していると考えられる。

4. あとがき

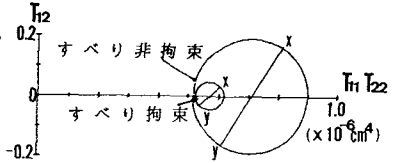
以上より粒状体の変形に伴うエネルギーの散逸特性について詳細な解析を行ったが、このような解析は粒状体の巨視的な力学特性と微視的な変形特性とを結合する上で重要であると考えられる。今後さらに種々の条件下で解析を進め考察を行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 岸野佑次：新しいシミュレーション法を用いた粒状体の準静的挙動の解析，土木学会論文集 Vol.406/III-11, pp.97-106 1989
- 2) 岸野佑次：不均一材料における統計論散力学量とその粒状体への応用に関する研究，東北大学博士学位論文，1983

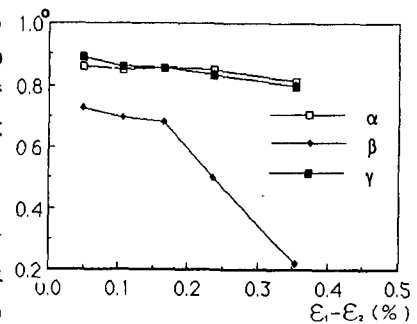


(a) 排水条件下

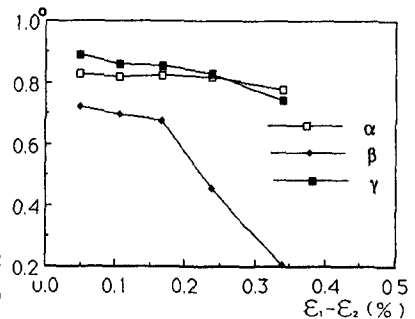


(b) 非排水条件下

図-3 変形分散テンソル



(a) 排水条件下



(b) 非排水条件下

図-4 傾き最大せん断ひずみ関係