

III-265 粒状体におけるエネルギーの散逸特性

東北大学 正員 岸 野 佑 次

1. はじめに 粒状体内部における散逸機構を明らかにすることは、粒状体の構成則を誘導する上で重要なことと考えられる¹⁾。本文においては、粒状体のシミュレーション解析結果²⁾より得られたデータの詳細な解析を行い、せん断変形に伴う粒状体の散逸特性の変化を調べたものである。

2. シミュレーション解析の概要 図-1 に示す粒状体モデルについて平均応力一定ひずみ制御排水2軸せん断試験を行った^{2), 3)}。用いた定数は、接触点における法線および接線方向バネ剛性： $10^8, 7 \times 10^7$ dyn/cm, 粒子間および境界との摩擦角：25, 0度, 初期間隙比：0.26, 平均応力： $\sigma_0 = 1.5 \times 10^5$ dyn/cm である。また、1ステップのせん断ひずみ増分を $d(\epsilon_1 - \epsilon_2) = 0.05\%$ とし、100 ステップ、5%までひずみを与えた。応力-ひずみ関係を図-2 に示す。

3. 散逸エネルギーの推移 粒子接触点の散逸エネルギーは、摩擦則に基づき、接触力と滑りにより算定される。外部応力のする仕事および全散逸エネルギーの変化を図-3 に示す。両者の差は粒子間バネの弾性エネルギーに等しい。散逸エネルギーとせん断ひずみとは区分的にはほぼ線型な関係となっている。また、グラフ中の段差は急激な圧縮ひずみが生じた個所に対応している。粒子数を増やせば、このような段差は平均化され、対応するグラフは下に凸な非線型なものになると考えられる。

以後せん断ひずみ 2.8% (D点) までの考察を示す。B, C 点はせん断ひずみ 0.45, 1.8% の点であり、B, C, D点までに、それぞれ、9, 36, 56 ステップまでが含まれている。

4. 散逸エネルギーの分布特性 接触点における散逸エネルギー増分が全散逸エネルギー増分 dD に占める割合 P の最大値の変化を図-4 に示す。ステップによっては、50% に達する場合もあることが注目される。 P と dD との関係を図-5 に示す。不連続な圧縮ひずみの生じた 1, 14, 46 ステップにおいては dD の値が大きく、 P との関係は直線的である。その他のステップについての両者の関係も、 dD の小さな部分で、線型に近い対応を示している。粒状体内部の不安定な構造が壊れる際には、粒状体の形を保たせるために外部より作用している拘束圧縮応力により、不可逆な圧縮ひずみが発生すると考えられる。上述の散逸エネルギーの特定の接触点への集中は、このような崩壊が局所的に生じていることを示している。散逸エネルギー分布の不均一性を調べるために、散逸の割合が P 以上になっている接触点の数 N と P との関係を調べた。図-6 には散逸エネルギー増分の値で 20 位まで（これらの点の散逸エネルギーの合計は99% 以上）を両対数でプロットしてある。せん断を経験していない初期のステップ1の分布はフラクタル的である。安定的に変形を進行しているステップ5では散逸が均等化する傾向にある。

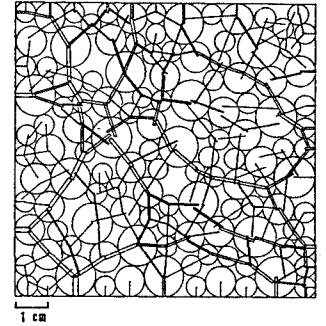


図-1 粒状体モデル

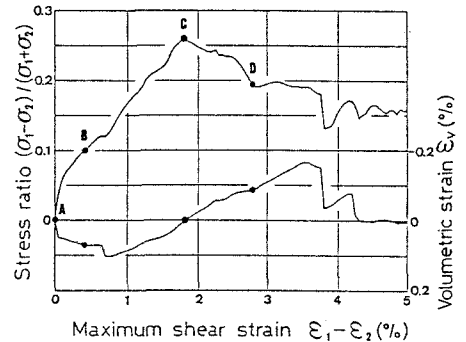


図-2 応力-ひずみ関係

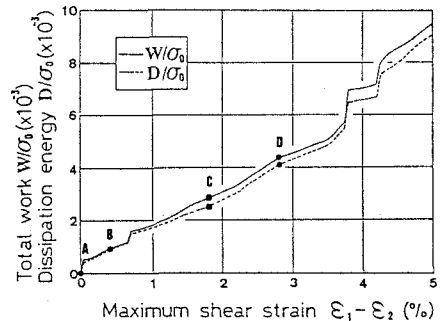


図-3 外部仕事と全散逸エネルギー

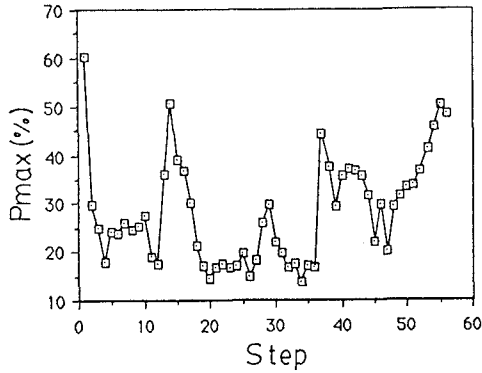


図-4 最大散逸エネルギー増分の最大値

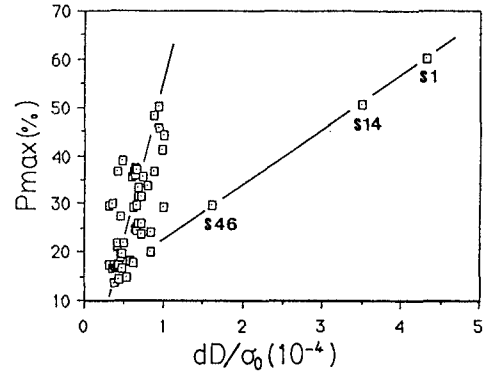


図-5 全散逸エネルギー増分と最大値との関係

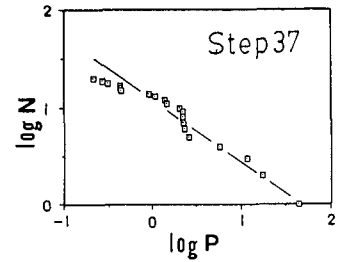
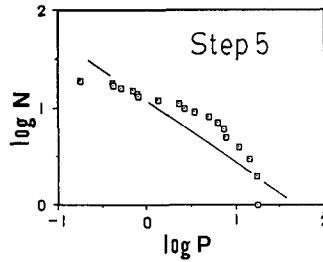
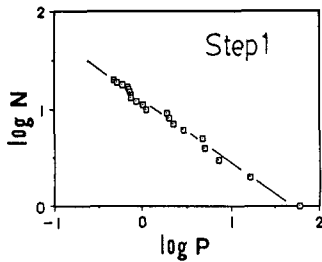


図-6 散逸エネルギー増分の分布

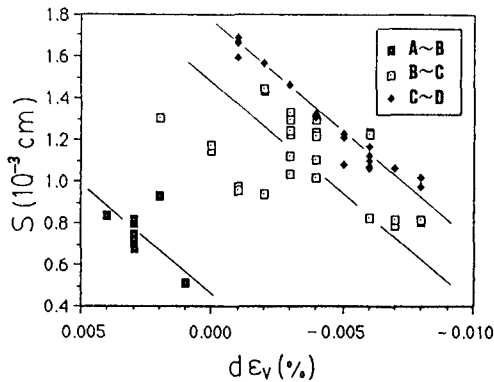


図-7 ダイレイトンシーと変形標準偏差の関係

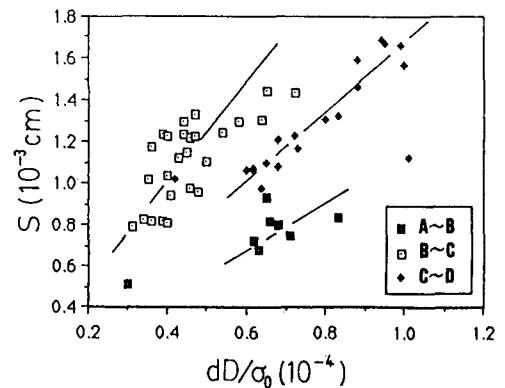


図-8 散逸エネルギー増分と変形標準偏差の関係

5. 変形の標準偏差との関係 変形の不均一性を調べるために変形の標準偏差 $S^3)$ を算定した。図-7より、変形のステージ毎に、ダイレイタンシーが大きい程 S が小さくなる傾向を示している。これは、圧縮ひずみが構造変化に対応するためと考えられる。また、図-8は変形が不均一な程散逸エネルギーが大きいことを示している。粒状体の変形の記述には、ひずみの他にこのような量も必要であろう。

参考文献 1) 岸野：散逸関数に基づく粒状体の流れ則の誘導，土木学会論文集，投稿中 2) Y. Kishino：Disc Model Analysis of Granular Media, Proc. of US-Japan Seminar on Micromechanics of Granular Materials, Sendai/Zao, 1987, in press 3) 岸野：シミュレーションによる粒状体の散逸機構の解析，土木学会第42回年次学術講演会講演概要集，第3部，1987，252-253