

Ⅲ－２ 粒状体の変形特性に及ぼす微視的不均一性の影響

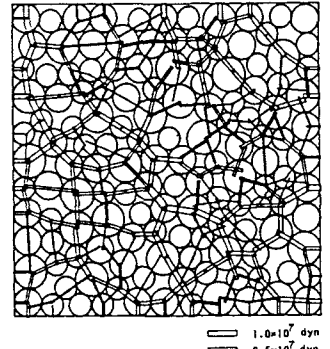
東北大学工学部 学生員 ○西村 元男
 同 上 正 員 佐武 正雄
 同 上 正 員 岸野 佑次

1. ま え が き

本文は、シミュレーションから得られた結果を基に、粒状体の変形特性に及ぼす内部の微視的不均一性の影響について解析を行ったものである。ひずみ硬化時には重要な構成則である応力比－ひずみ増分比関係を粒子の変位形態と関連させて考察を行い、応力比ピーク後の不安定変形過程においては、領域内部の散逸エネルギーの発生特性の変化について調べた。

2. シミュレーションの概要

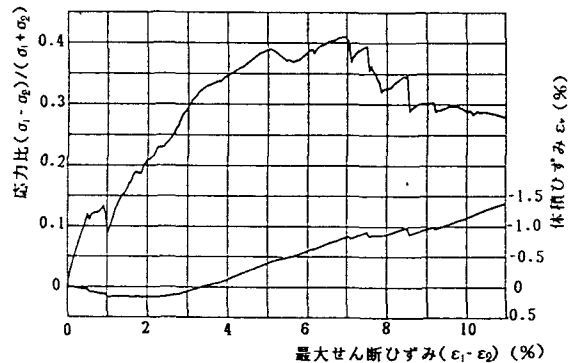
図－１に示す二次元円粒子粒状体モデルで、平均応力一定のひずみ制御排水二軸せん断試験のシミュレーションを行った。本モデルは、粒径 0.8, 1.0, 1.2 cmの三種の粒子を面積比が等しくなるように混合したものである。用いた定数は、接点における法線及び接線方向バネ剛性： 10^8 , 7×10^7 dyn/cm, 粒子間及び粒子－壁の摩擦角： 25° , 0° , 平均応力： $\sigma_0 = 3.6 \times 10^5$ dyn/cm, 初期間隙比：0.24, 各ステップのせん断ひずみ増分： $d(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) = 0.05\%$ である。応力－ひずみ関係を図－２に示す。数力所で急激な体積の減少がみられる。これらは接触力分布の著しい変化を伴う粒子構造変化を起こしたステップである。



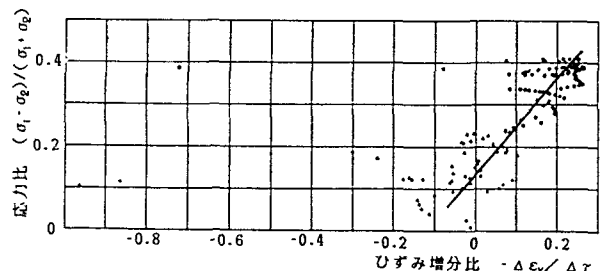
図－１ 粒状体モデル

3. 応力比－ひずみ増分比関係

図－３にひずみ硬化過程における応力比－ひずみ増分比関係を示す。傾き 1 の直線付近にデータは集まるが、大きく圧縮側にはずれるものも存在する。これらの点は図－２の急激な体積減少の起こるステップに対応する。これは、一定の平均応力で拘束をしながらせん断変形を加えるために、粒子構造の変化の際に局所的に圧縮が起きるためであると考えられる。また、このとき、内部粒子の回転量が大きくなる傾向があり、構造変化に際して粒子は転がりながら相対変位をすることを表していると思われる。図－３において、大きく圧縮側に外れるものを除けば、応力比－ひずみ増分比関係は傾き 1 の直線で近似可能である。これは、図－４に示す外部仕事とせん断ひずみとの関係が区間的にほぼ直線となっていることに対応する。図－４の段差は急激な圧縮の起きたステップに現れる。粒子数が増えれば局所的圧縮は平均化され、外部仕事とせん断ひずみの関係は下に凸の滑らかな曲線になることが予想される。



図－２ 応力－ひずみ関係



図－３ 応力比－ひずみ増分比関係

4. エネルギー散逸機構の変化

各粒子接点において、散逸されるエネルギーは、摩擦則に基づき接触力と粒子間相対すべり量とから求めるものとする。図-5に、ある変形過程における大きなエネルギー散逸の起こる接点とその大きさを示す。散逸エネルギーの大きさは各ステップの全散逸エネルギーに対する割合Pで表す。また、P以上の散逸を生じる接点数をNとし、両対数で散逸エネルギー分布も示す。ここに現れた散逸エネルギーの合計は全体の99%以上であり、粒状体のエネルギー散逸はごく限られた十数個の接点によって支配されていることがうかがわれる。図-6には各接点の散逸エネルギーの平均値をステップごとに示すが、せん断初期など、粒子構造変化の際に大きな値となるものを除けば、硬化過程ではほぼ一定した小さな値となる。これに対して、軟化過程では比較的大きな値となる。このことより、応力比ピーク点を境に、各接点で散逸されるエネルギーが大きくなるのがわかる。また、散逸を起こす接点の場所的分布状況を調べるため、次の $\bar{S}$ を計算する。

$$\bar{S} \approx \frac{1}{n} \left[\frac{\sum_i E_i (x_i - x_0)^2}{\sum_i E_i (y_i - y_0)(x_i - x_0)} \right] \quad (1)$$

$$x_0 = \frac{\sum_i E_i x_i}{\sum_i E_i}, \quad y_0 = \frac{\sum_i E_i y_i}{\sum_i E_i} \quad (2)$$

ここで、 (x_i, y_i) は散逸を起こす接点の座標、 E_i はその点での散逸エネルギーである。 $\bar{S}$ をモール円表示したものが図-7である。硬化過程と比較すると、軟化過程においてはエネルギー散逸が場所的に偏って起こることがわかる。

5. あとがき

ここでは、ひずみ硬化時の応力比-ひずみ増分比関係と応力比ピーク後の不安定変形について、微視的不均一性と関連させて考察を行った。今後は粒状体の微視的機構の巨視的応答について、さらに考察を進めたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 岸野佑次：粒状体におけるエネルギーの散逸特性，土木学会第43回年次学術講演会講演概要集(1988)

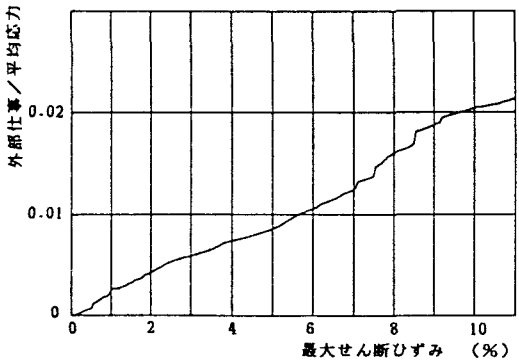


図-4 外部仕事

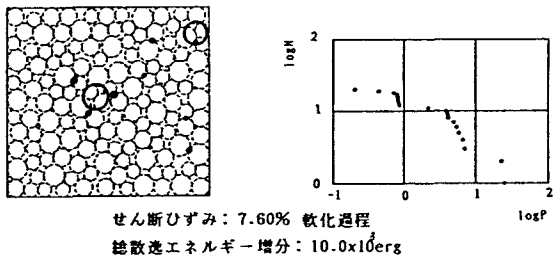


図-5 エネルギー散逸状況

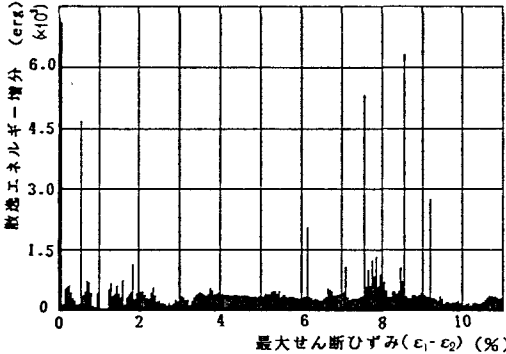


図-6 散逸エネルギー増分

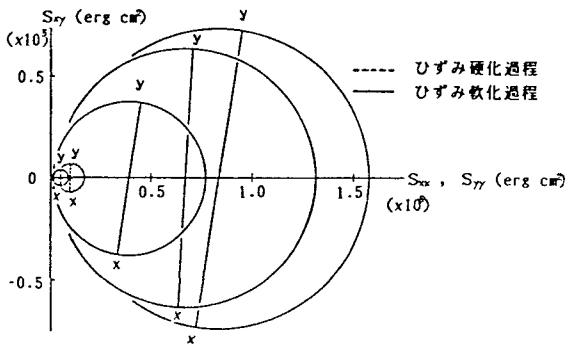


図-7 散逸を起こす接点の場所的偏り