

東北大学 学生員 ○鹿子嶋 康 博
同 上 正 員 佐 武 正 雄
同 上 正 員 岸 野 佑 次

1. まえがき

繰返し荷重を受ける粒状体の構成則を合理的に定めるためには、粒状体内部の変形機構を明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、粒状体の準静的な力学特性を調べるために開発した粒状要素法¹⁾を用いて2次元粒状体の両振り繰返しせん断のシミュレーション解析を行い、繰返しせん断に伴う粒状体の変形機構を散逸エネルギーに基づいて考察した。以下にその概要を示す。

2. 解析方法

繰返しせん断のシミュレーションに用いた粒状体モデルの粒子数は122個、粒径は6, 9, 12mmの3種、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 1×10^8 および 7×10^7 dyn/cm、粒子間摩擦角は 25° 境界との摩擦角は 0° とした。載荷は排水条件下で行い、平均応力は一定値 $\sigma_c = 1.5 \times 10^5$ dyn/cmとした。応力振幅比は $|\sigma_1 - \sigma_2|_{\max} / (\sigma_1 + \sigma_2) = 0.15$ 、各載荷ステップにおける軸差応力増分は $\Delta |\sigma_1 - \sigma_2| = (\sigma_1 + \sigma_2) / 100$ とした。

3. 結果とその考察

(1) 応力ひずみ関係 応力比軸差ひずみ関係を図-1に、応力比体積ひずみ関係を図-2に示す。図-2で、初期において急激な圧縮が生じているが、これは粒子数が多くなく、局所的に不安定な粒子構造が崩れたため生じたものである。これらの図より繰返しせん断が進むにつれて各ステップの描くループが小さくなり、変形特性が定常的になることが観察される。この傾向は実際の砂の実験とも良く対応している²⁾。以下にこのような特性を散逸エネルギーに基づいて考察する。

(2) 散逸エネルギー増分¹⁾の推移 第1、第9サイクルにおける各ステップ毎の散逸エネルギー増分 $d w_p$ の推移を図-3に示す。この図より、各サイクルにおけるせん断応力が正負の最大値に近づくにつれて散逸増分が徐々に大きくなることや、せん断応力反転直後の散逸増分はほとんど零であることが共通的に観察される。また、第1、第9サイクルの比較より、繰返しが進むと散逸レベルが全体的に小さくなっている。このことは、図-2からわかるように、せん断を繰返すことにより、粒状体が、密詰め状態となり、弾性的力学特性に近くなることに対応している。

(3) 散逸エネルギーの分布特性 図-4は、各載荷ステップ毎に最大のエネルギー散逸が生じる接触点に着目し、この接触点における散逸エネルギーの増分の全散逸エネルギー増分に占める割合 $P_{\max}$ の変化を調べたものである。図-3b)、4の比較より、総じて大きな散逸を生じるステップにおいては $P_{\max}$ が小さい。これは散逸が大きな場合には、散逸を接触点の間で平

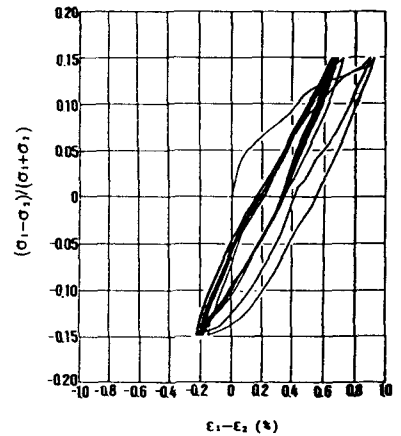


図-1 応力ひずみ関係

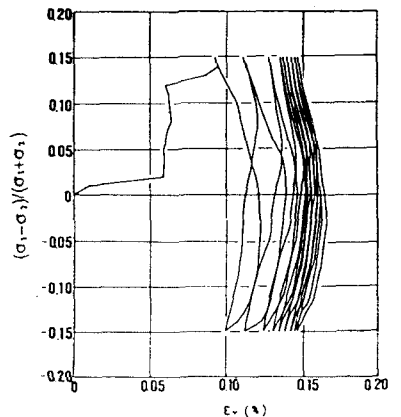


図-2 体積ひずみの推移

均化して分担しようとするためと考えられる。つぎに、図-5は、第9サイクルの圧縮、伸張の最終ステップにおいて散逸エネルギー増分の生じた接触点について、上位5番目までを示したものである。図中の矩形は各接触点における接触力の大きさと作用方向を示し、番号は順位を示す。この図より、散逸は比較的接触力が小さく、小粒径の粒子が関与している接触点に集中して生じる傾向にあることがわかる。これは、大粒径の粒子は接触点数が比較的多いために拘束が大きいのに対して、小粒径の粒子は拘束が少なく動きやすいためと考えられる。このような散逸の生じる接触点は載荷初期においてはステップ毎にランダムに変化するが、第9サイクル目においては同図に示されるように、圧縮側、伸張側共通して大きな散逸を生じる接触点が存在するなど、散逸が局所化する傾向にある。また、このような接触点においては圧縮側と伸張側で接触力の接線方向成分の向きが逆になっていることも注目される。

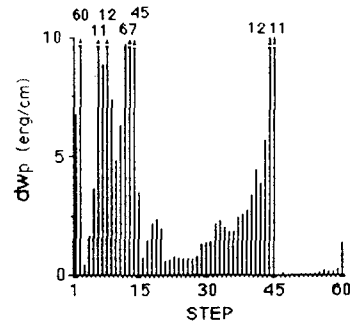
以上のことから、排水繰返し載荷が進むと、大きな接触力を弾性的に支える安定的な粒子と、滑りながら接触力を伝達する比較的少数の粒子が共存することになると結論づけることができよう。

4. あとがき

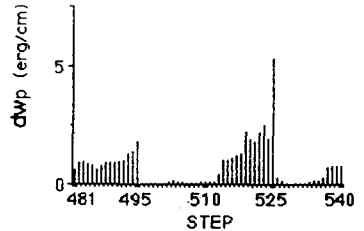
以上、シミュレーション解析により繰返し荷重を受ける粒状体の変形機構の考察を行った。シミュレーションを通して可能となる散逸エネルギーの分布特性の把握は粒状体の構成則を定める上で重要な手掛かりを与えるものと考えられる。今後、広範な応用を通して、さらに研究を進めたいと考えている。

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，投稿中。

2) Tatsuoka, F. and Ishihara, K. : Drained deformation of sand under cyclic stresses reversing direction, Soil and Foundations, 14, 3(1974), pp. 51-65



a) 第1サイクル



b) 第9サイクル

図-3 散逸エネルギー増分

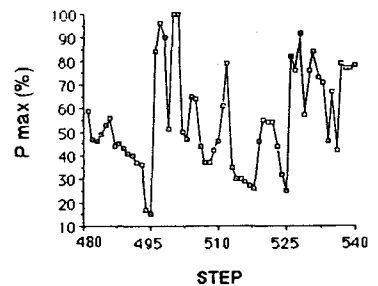
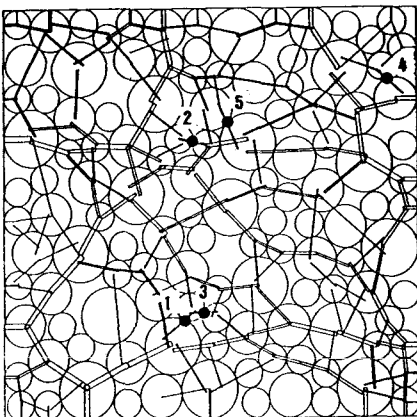
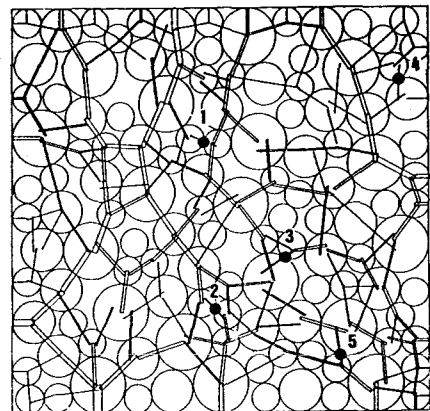


図-4 最大散逸の割合
(第9サイクル)



a) 圧縮側最終ステップ



b) 伸張側最終ステップ

図-5 接触力分布と主な散逸箇所（第9サイクル）