

Ⅲ — 9 粒状体の両振り繰返しせん断のシミュレーションとその考察

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 繰返しせん断試験の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、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 $\sigma_0 = 1.5 \times 10^5$ 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-2に、応力比体積ひずみ関係を図-3に示す。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の推移 第1, 第5サイクルにおける各ステップ毎の散逸エネルギー増分 dW_p の推移を図-4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5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-3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-5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増分に占める割合 $P_{\max}$ の変化を調べたものである。図-4, 5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

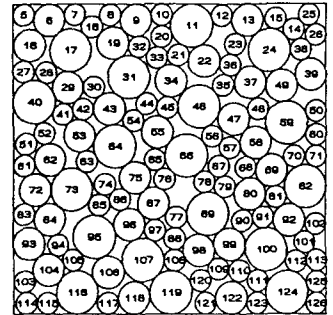


図-1 粒子パッキング

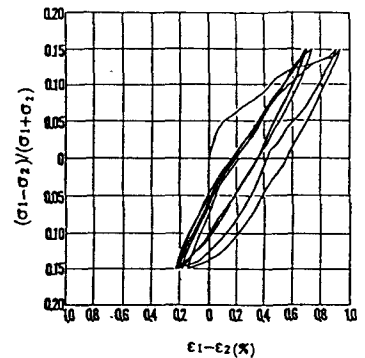


図-2 応力ひずみ関係

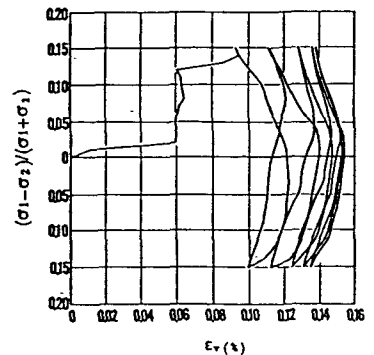


図-3 体積ひずみの推移

きな場合には、散逸を接触点の間で平均化して分担しようとするためと考えられる。つぎに、表-1は、接触点における散逸エネルギー増分の全増分に占める割合Pについて、上位5番目までを示したものである。表中のステップA, Bは、各サイクルにおける圧縮、伸張の最終ステップを示している。また、2つの粒子番号(図-1参照)の組は接触点を表す。初めてせん断を経験する第1サイクルにおいては、散逸を生じる個所がランダムであるのに対して、第4, 5サイクルにおいては大きな散逸の生じる個所が接触点38/39, 44/54, 79/89, 88/97等に限定され、ある散逸のモードが形成されていると考えることができよう。

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.

表-1 散逸の大きな接触点と散逸の割合

Cycle 1

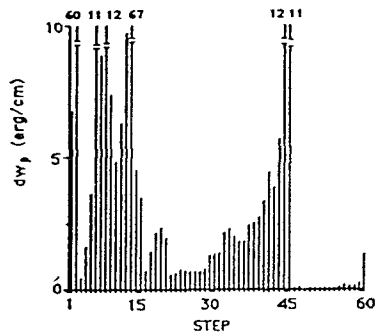
Step	順位	1	2	3	4	5
A	粒子番号	21/33	38/39	19/31	100/111	73/85
	P (%)	27	15	13	9	6
B	粒子番号	24/49	44/54	88/97	34/45	54/64
	P (%)	37	17	14	11	5

Cycle 4

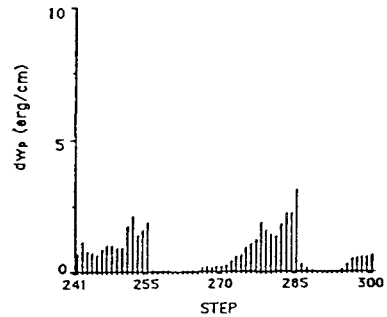
Step	順位	1	2	3	4	5
A	粒子番号	79/89	88/97	44/54	79/80	100/111
	P (%)	17	13	13	11	10
B	粒子番号	88/97	44/54	38/39	34/46	72/83
	P (%)	27	21	19	13	8

Cycle 5

Step	順位	1	2	3	4	5
A	粒子番号	79/89	88/97	44/54	38/39	100/111
	P (%)	17	16	14	13	11
B	粒子番号	38/39	88/97	44/54	21/34	72/83
	P (%)	23	21	18	13	8

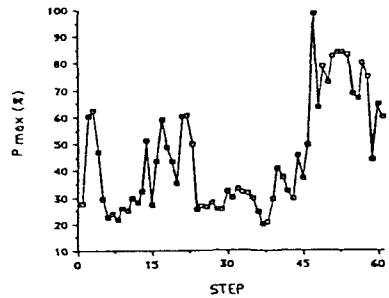


a) Cycle 1

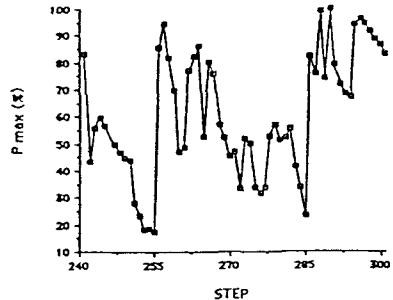


b) Cycle 5

図-4 散逸エネルギー増分



a) Cycle 1



b) Cycle 5

図-5 最大散逸の割合