

繰返し載荷をうける粒状体の非共軸的変形の解析

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った。解析は全ての応力成分を完全に制御する方法で行い、非共軸的な変形の進展を調べることとした。

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子数は122個、粒径は6、9、12mmの3種類で、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 ϕ は 25° とし、粒子と境界との摩擦角 ϕ_b は 0° を標準として行った。載荷は排水条件下で行っており、平均応力を一定値 $\sigma_0 = 1.5 \times 10^5$ dyn/cmとした。軸差応力振幅は $|\sigma_y - \sigma_x|_{\max} = 0.3 \sigma_0$ 、各載荷ステップにおける軸差応力増分は $\Delta |\sigma_y - \sigma_x| = 0.02 \sigma_0$ とした。図-2(a)に示す従来の境界の制御方法²⁾においては、図-1のx、y方向の伸縮のみを許していたので、応力の主軸が必ずしもx、y方向に一致せず、結果としてせん断応力 τ_{xy} が生じるため完全な応力制御とすることができなかった。そこで、本研究においては、図-2(b)のようにこのせん断応力 τ_{xy} を除くため、境界辺の移動にせん断変形も許すような制御方法を採用して解析を行った。なお、境界辺自身も領域の変形に応じて伸縮を与えることとし、また、縦と横の境界辺の回転角は常に等しくなるように制御した。

3. 結果とその考察

(1) 応力ひずみ関係 図-3に応力比と $\varepsilon_y - \varepsilon_x$ の関係、図-4に体積ひずみ ε_v の推移を示す。これらの図より、第1サイクルにおける圧縮載荷の応力比0.09~0.14付近で、それぞれのひずみに大きな変化がみられる。これは初めてせん断を経験する第1サイクルで、圧縮載荷の応力比0.09~0.14で局部的に不安定な粒子構造が崩れ、急激にせん断変形が生じたためと思われる。また、大きな変形が生じた第1サイクルの後、体積ひずみは引き続き増加している。

(2) 各ひずみ関係 図-5に解析ステップとせん断ひずみの関係を示す。縦軸は3種類のせん断ひずみ量、つまり、 $|\varepsilon_1 - \varepsilon_2| = \sqrt{(\varepsilon_y - \varepsilon_x)^2 + \gamma_{xy}^2}$ 、 $\varepsilon_y - \varepsilon_x$ 、 $-\gamma_{xy}$ を示す。なお、横軸に示されているように1つの繰返し載荷の解析ステップ数は60である。

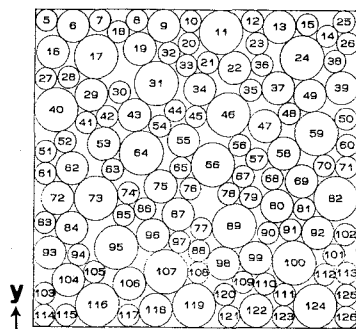
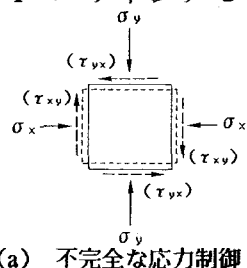
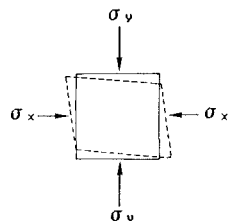


図-1 パッキングモデル

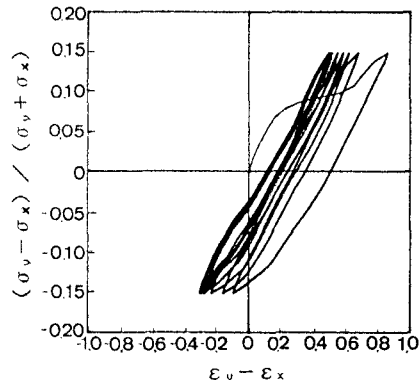


(a) 不完全な応力制御



(b) 完全な応力制御

図-2 応力制御方法

図-3 応力比と $\varepsilon_y - \varepsilon_x$ の関係

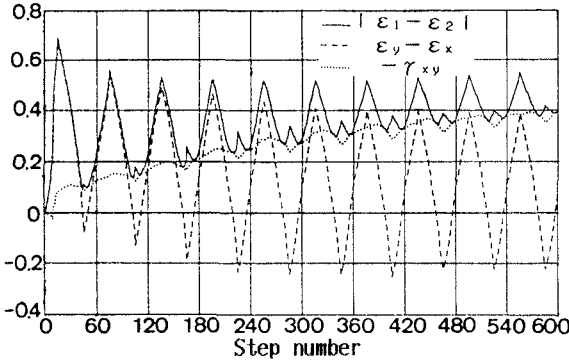


図-5 解析ステップとせん断ひずみの関係

繰返しに伴い、最大せん断ひずみ $|\varepsilon_1 - \varepsilon_2|$ の平均値は大きく変化しないが、振幅が徐々に小さくなっている。また、この全せん断ひずみに占める γ_{xy} の割合が徐々に大きくなっていることが注目される。応力の主軸に対し全ひずみの主軸が一致するのは $\gamma_{xy} = 0$ の場合であるので、この図は、はじめ共軸的であった変形が徐々に非共軸の方向に進んでいることを示している。このような非対称的な変形の進行は、変形の局所化の一因になり得るものと考えられる。

(3) 他の制御方法との比較 以上の解析結果を図-6 (a) の不完全な応力制御の場合²⁾と比較してみると、圧縮ひずみの生じ方に大きな差がみられる。すなわち、図-6 (a) の場合には、はじめに大きなひずみが生じた後、5サイクルまでにひずみの生じ方が急に減衰しているが、図-4においてはこのような傾向が10サイクルまでに見られていない。これは完全応力制御の場合、図-5に示すようなせん断残留ひずみが生じ続けるためであると考えられる。

次に、図-6 (b) の境界における摩擦角を 25° とした場合と比較すると、この場合には圧縮ひずみの大きさが極端に小さいがこれは剛性境界辺に支えられたことによる影響と考えられる。このように、境界条件の設定によりかなり力学特性が変化するので、実験結果をもとに構成則の設定する際にはこのようなことを充分考慮する必要がある。

4. あとがき

以上、粒状要素法を用いた解析により粒状体の排水繰返しせん断について考察を行った。本文のようなシミュレーション解析は、実際の実験においては困難な制御方法を容易に設定することができ、構成則を考察する上で有用であると考えられる。

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) 鹿子嶋康博ら：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，土木学会第44回年次学術講演会講演概要集 III-3, pp.506~507 (1989)

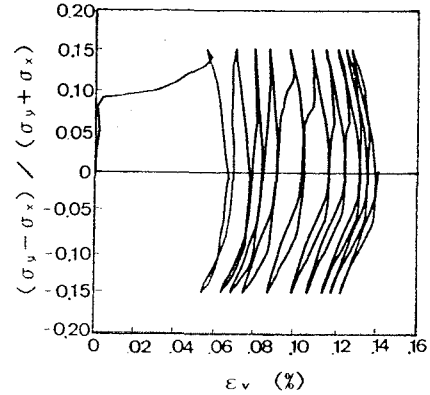
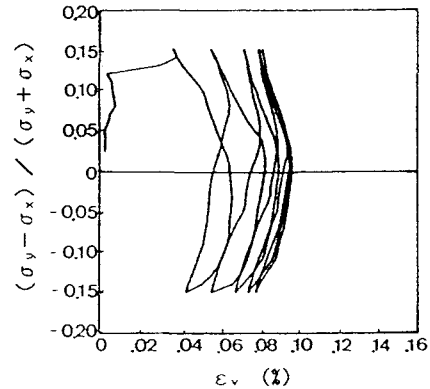
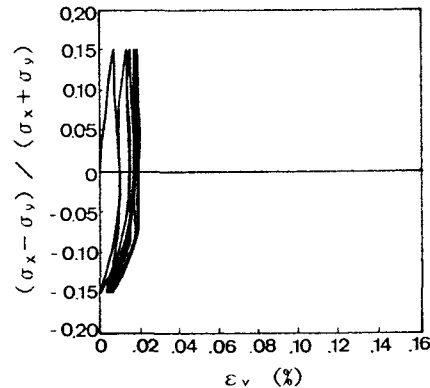


図-4 体積ひずみの推移



(a)不完全な応力制御($\phi_b = 0^\circ$)



(b)完全な応力制御($\phi_b = 25^\circ$)

図-6 体積ひずみの推移