

混合径2次元積層体の圧縮特性に関する個別要素解析

鳥取大学大学院 ○ 中本 崇
鳥取大学 正 木山 英郎 正 藤村 尚
正 西村 強
大阪大学 正 川崎 了

1. はじめに

本研究は、円形要素を用いて2次元積層体の圧縮特性に関する個別要素解析¹⁾を行ったものである。解析では、円要素（半径 r ）が規則的に配列されたモデル（基本配列）を基準に採って、半径 $R(R>r)$ の要素が混入したとき（混合配列）の2軸圧縮下の剛性破壊荷重や破壊ひずみの変化を示そうとするものである。特に、本文では、混入要素の量（円要素の総面積比 A/A_0 ）、配置（千鳥状、方眼状）および大きさ（半径比 R/r ）等に注目した解析例を報告する。

2. 解析モデルの設定

図-1に、等径要素 $r(=1\text{cm})$ を一層ごと交互に s 個、 $s-1$ 個、 s 個…と規則的に配置した積層体を示している。これが、基本配列となる。このような基本配列の特徴は、接触法線方向の x 軸からの傾きで要素接触角 α を定義すれば、 α がこの規則配列を安定に保つことのできる軸圧 p_y と側圧 p_x の比を決め、当然、 α が大きい程、軸圧 p_y / 側圧 p_x の値は大きくなる。この比は要素表面の特性として与えられる摩擦角によってある程度の幅を有することができる。さらに、このような粒状体のモデル化では、配列は応力比のみならず、強度定数 c 、 ϕ にも影響を与える因子となる²⁾。

図-2は、今回の解析における混入要素の配置の様子を例示したものであり、図-2(a)を方眼状配置、図-2(b)を千鳥状配置と呼ぶことにする。この図のように対称性のある配置を仮定して、図-1を図-2(a),(b)の右上1/4断面として解析する。したがって、図-1の右上および下上の要素は、それぞれの辺の法線方向に対して拘束、平行方向に可動の変位境界条件が与えられる。所定の一定側圧 p_x の作用のもとで最上段要素に一定の変位増分 ($-y$ 方向) を与え、最上段要素に作用する接触力の y 方向成分の総和を断面幅で除して軸方向圧 p_y とする。要素に与えた定数は表-1のとおりである。又、接触剛性、ヤング率等の解析定数は、全要素に対して表-1の様な値を与えている。

3. 混合径積層体の圧縮解析

図-3は $R=8\text{cm}$ の要素を混入した例であり、(a)は方眼状配置、(b)は千鳥状配置である。解析は2.で述べたとおり1/4断面で行った。図-4(a)および(b)は図-3に対応して、軸圧 p_y が最大値 $p_{y\max}$ を示した後の破壊形態の様子を示している ($p_x=0.7\text{kgf/cm}^2$)。接点の線分は接触力をベクトル表示しており、接点を挟んで作用力と反作用力をあらわし、両者は大きさが等しく方向が逆で一本の線分となる。

図-5は、軸方向圧縮ひずみ ε_y （上辺要素の強制変位量 δ_y を初期高さ h_0 で除した量）と軸圧を側圧で相対化した p_y/p_x の関係をまとめたものである。この図において、 A は混入要素の総面積 ($=\pi R^2 \times \text{個数}$)、 A_0 は半径 r の要素の総面積であり、 A/A_0 は混入量を面積比で捉えようとしたものである。この図より、混合配列では基本配列に比べ、①初期ひずみ段階においては、剛性が大きくなるが、千鳥状、方眼状の配置による違いはあまり見られないこと、 p_y/p_x のピーク時を破壊と定義す

表-1 解析定数

Particle	
radius	$r : 1.0 (\text{cm})$
density	$\rho : 2.65 (\text{g/cm}^3)$
Young's modulus	$E : 750 (\text{kgf/cm}^2)$
Poisson's ratio	$\nu : 0.3$
Time step	$\Delta t : 1.0 \times 10^{-4} (\text{sec})$
particle to particle	
$K_n / \rho g (\text{cm}^2)$	3.64×10^4
$\eta_n / \rho g (\text{cm}^2 \cdot \text{s})$	1.53×10
$K_s / \rho g (\text{cm}^2)$	0.91×10^4
$\eta_s / \rho g (\text{cm}^2 \cdot \text{s})$	0.76×10
μ	0.577

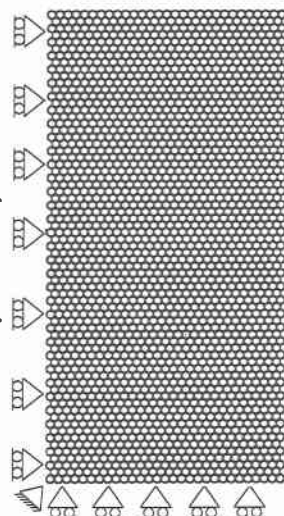
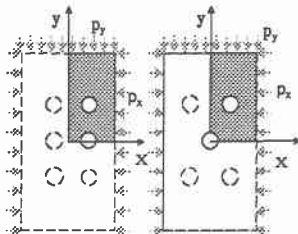


図-1 基本配列



(a)方眼配置 (b)千鳥配置

図-2 混合径積層体

れば②破壊時のひずみ ε_f は小さくなり、その傾向は両配置において見られるということ、③破壊時の p_f/p_i には、要素混入の影響が顕著に見られないことなどが結果として読み取れる。

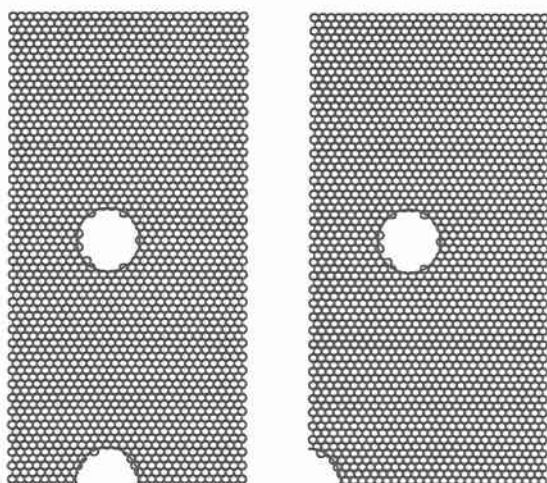
これを、基本配列の破壊強度 q_0 および破壊ひずみ ε_0 を基準値にとり、 p_{fmax}/q_0 、 $\varepsilon_f/\varepsilon_0$ と A/A_0 との関係をまとめるとそれぞれ、図-6 及び図-7 のようになる。結果として、混入量の増加とともに、破壊時のひずみが小さくなることが図-7 に示されている。

4. まとめ

本研究では、混合径 2 次元積層体の圧縮特性に関する個別要素解析を行った。その結果、混入要素の量（円要素の総面積比 A/A_0 ）によって剛性や破壊ひずみに変化の生ずることが示された。しかし、ここに示した結果は、ごく限られた条件下のものであるので、今後、混入要素 R と基本要素 r の剛性比、半径比 R/r 、混入量 A/A_0 などに注目し、礫岩などの複合体の力学特性に解析的な検討材料を提供できるよう系統的に進めて行きたいと考えている。

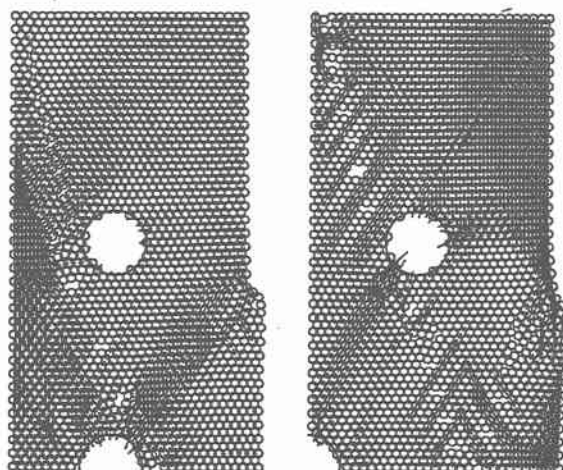
(参考文献)

- 1) Cundall, P.A. : Symp., ISRM, Nancy, France, Proc., Vol. 2, pp.129-136, 1971.
- 2) 木山 英郎、藤村 尚、西村 強 : 土木学会論文集、第382号/III-7、167-174、1987.



(a) 方眼状配置 (b) 千鳥配置

図-3 混合径積層体 ($R=8\text{cm}$)



(a) 方眼状配置 (b) 千鳥状配置

図-4 破壊形態図 ($R=8\text{cm}$)

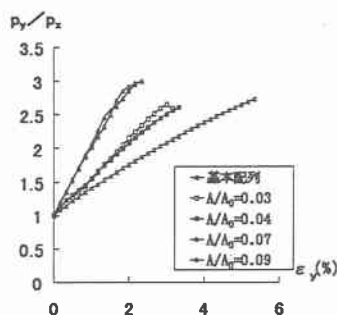


図-5 軸圧 p_f/p_0 ~ 軸ひずみ $\varepsilon_f/\varepsilon_0$ 関係図

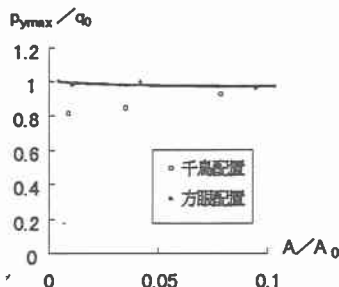


図-6 p_{fmax}/q_0 ~ A/A_0 関係図

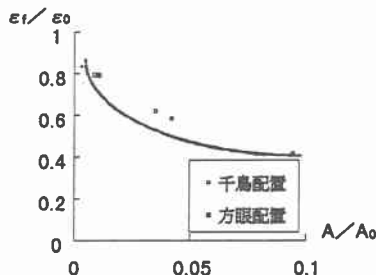


図-7 $\varepsilon_f/\varepsilon_0$ ~ A/A_0 関係図