

混合径 2 次元積層体の個別要素解析

鳥取大学院 中本 崇
住友建設 ○ 濱村 康広
鳥取大学 木山 英郎, 藤村 尚, 西村 強

1. はじめに

本研究では、個別要素法¹⁾(Distinct-Element-Method, 以下 DEM と略す)の特性を利用し、円形要素によって構成される 2 次元積層体が破壊に至るまで 2 軸圧縮解析を行う。このとき破壊過程において、隣接要素間の接触法線方向および接触力方向の変化について調べる。そして、積層体を構成する円形要素の接触角 α を変化させた場合や異径要素が混入した場合にそれらがどのような変化をみせるか報告する。

2. 解析モデルの設定

解析は、図-1 のような、等径要素($r=1\text{cm}$)を規則的に配置したものを基本として、図-2 のように半径 $R(R>r)$ の要素が混入したときの圧縮特性を表そうとするものである。なお、図-2 中の A/A_0 は、混入要素の総面積 A を解析領域の総面積 A_0 で除したものである。図-1、図-2 のように、荷重および変位の条件が与えられるので、対称性を考えれば、図-3 のような全領域を取り扱っていることになる(陰影部が図-1 あるいは図-2 に相当する)。図-1 のような規則配列では、要素接触法線方向と載荷方向のなす角が、その特性を表す重要な因子であることは既に報告している²⁾。ここでは、図-1 のように α が 45° の例を中心に示すことにする。

3. 解析手順

左辺、上下辺の要素に法線方向固定、接線方向可動の境界条件を設定し、右边に拘束圧 σ_{x0} (1.0kgf/cm^2) を与えて静止状態を求める。その後、上辺の要素に一定変位増分を与えて、2 軸圧縮解析とする。このとき、最上段要素に作用する接触力の y 軸成分の総和を断面幅で除して軸方向圧 σ_y とする。側方拘束圧は、その合力($\sigma_{x0} \times h_0$)を右边の要素数 n で除した値 $f_0 = \sigma_{x0} \times h_0 / n$ を要素個々に荷重として作用させた。ただし、図 1 に示す右辺の最下段の要素は上下の対称線上にあるため、この要素に与える力は、他の右辺の要素に与える力の半分とする。また、混合径モデルにおいて、右辺に半径 R の要素が配置されても、側圧による半径 r の要素への作用力は f_0 のまま一定とする。そのため、半径 R の要素に作用する力は、側圧の合力が基本配列と同じになるよう調整されている。また、半径 R の異径要素と半径 r の要素の剛性比は、10:1 とし、今回の解析で用いた DEM の解析定数は表-1 に示す。

4. 積層体の圧縮解析

図 4 は、軸圧 σ_y を初期軸圧 σ_{y0} で除した値と軸ひずみ ε_y の関係を求めたものである。この図より、 A/A_0 の値、つまり、半径 R の要素を混入させると、ピーク荷重が低下し、それに達するまでのひずみ量も小さくなることがわかる。図-1、図-2 の例に対するピーク荷重時(a_0, c_0)の接触力の分布状況を示すと図-5 のようである。このような接触力の分布状況を接触法線方向と関連させてまとめると、図-6、図-7 となる。ただし、図-6 中の上記のグラフは、基本配列のもので、下記は混合配列のものであり、ピーク前後の変化を表わしている。また、図-7 は、上記に初期時、下記に破壊時のものをとっている。図-6 の基本配列では、 $\alpha = 45^\circ$ に集中

表-1 解析定数

Particle	
diameter	D: 2.0 (cm)
density	ρ : 2.65 (g/cm ³)
Young's modulus	E: 750 (kgf/cm ²)
Poisson's ratio	ν : 0.3
Time step	Δt : 1.0×10^{-4} (sec)
particle to particle	
K_n / ρ (cm ² /s)	3.64×10^4
η_n / ρ (cm ² /s)	1.53×10^4
K_s / ρ (cm ² /s)	0.91×10^4
η_s / ρ (cm ² /s)	0.76×10^4
μ	0.577

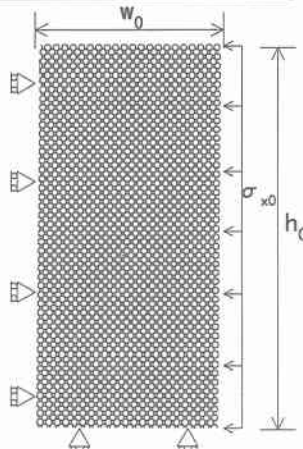


図-1 基本配列

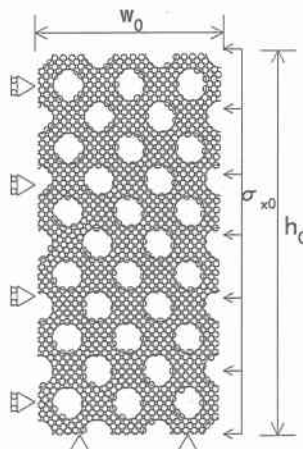


図-2 混合配列

するのに対し、混合配列では、若干の広がりを示しながらも $\alpha=45^\circ$ に卓越方向がみられ、基本配列の特徴を残していること、ピーク以後では、基本配列の法線方向は広範囲にわたっており、配列が乱れてきていること伺わせる。

図-7 の基本配列に注目すれば、接触力の卓越方向は、初期状態において図-6 の卓越方向と良く一致するが、ピーク時(a_2)では、 α が減少している。つまり、y 軸方向に移動していることがわかる。その移動量は 30° 程度であること、 $a_1 \rightarrow a_2$ 間で、接触法線方向分布に大きな変化がみられなかったことから、各接触点では摩擦角が動員されたら破壊に至ったと考えている。一方、混合配列では、初期(c_1)の分布は図-6 と良く一致するが、ピーク時(c_2)への変化は基本配列の例ほど明瞭ではないことがわかる。

5. 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、基本配列の圧縮強度に比べ、混合配列では、ピーク荷重の低下がみられた。さらに、混入要素量 A/A_0 の値に対応して、積層体の剛性や破壊時のひずみにも変化が生じた。また、接触力の卓越方向が 30° 程度、y 軸方向に移動していることと、 $a_1 \rightarrow a_2$ 間で、接触法線方向に大きな変化がみられないことから、粒状体モデルにおける破壊は、各接触点での摩擦角の動員によるものであると考えられる。

【参考文献】

- 1) Cundull, 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, pp. 167-174, 1987.

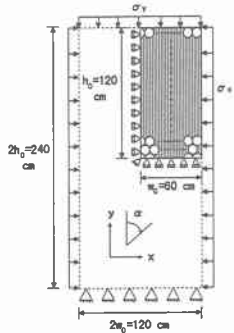


図-3 解析モデル

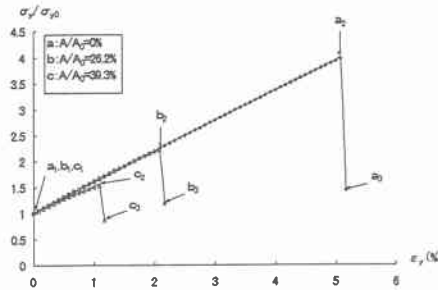


図-4 応力-ひずみ曲線

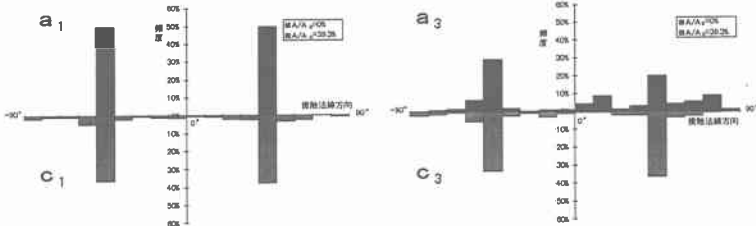


図-6 接触法線方向の比較

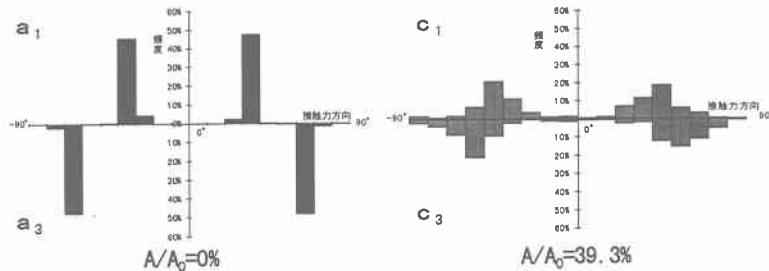
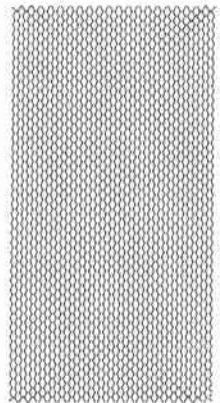


図-7 接触力方向の変化



基本配列 ($A/A_0=0\%$)



混合配列 ($A/A_0=39.3\%$)

図-5 接触力分布図