

単純せん断モデルの個別要素解析

鳥取県庁 ○小原 陽治 鳥取大学工学部 木山 英郎
鳥取大学工学部 藤村 尚 鳥取大学工学部 西村 強

1. はじめに

個別要素法 (Distinct Element Method, 以下 DEMと略記) は, 解析対象を分離した剛体要素の集合体としてモデル化し, 個々の剛体要素が重心に関する運動方程式に従って, 新たな位置へ移動する。これを微小時間刻みで繰り返し, 各々の要素の運動を追跡し, 解析対象全体の変形を表現する解析法である。DEMにおいては, 接触状態にある要素間では弾性スプリングとダッシュボットから成るVoigtモデルが仮定され, 接触力の算定に用いられる。それらの係数が, 要素運動ひいては集合体全体変形に影響を与えることは言うまでもない。それとともに, 剛体要素が逐次移動することを考えれば, どのような要素配置 (配列) により集合体特性を解析モデルに取り込んでおくかと言うことも重要な事柄となる。このようなことから, 円形要素の規則配列を基本とした解析により, 要素配列の接触力分布や集合体特性としてのせん断強度定数 c , ϕ との関係といった点を中心に検討している。ここでは, その考察を一步深めるため, 上記の事柄に解析に用いられる要素数が如何なる影響を及ぼすかについて単純せん断モデルの解析を示して検討する。

2. 解析方法

解析では, 高さ h , 幅 b の長方形領域 (図-1) に要素を規則的に配列してゆく。本解析で用いられる配列, 供試体のサイズを表-1にまとめて示した。表中, 例えば17/18配列というのは, 最下段に18個, その上に17個と交互に積み上げたものであり, その他についても, 同様に各層当たりの個数により配列を表現したものとなっている。図-2に定義する要素間接触角 α を併記したが, この値が大きい程, 配列は扁平となり, 水平方向への力の伝達が卓越し, 小さい程, 鉛直方向の力の伝達が卓越するようになる。この α の値を用いれば, 供試体サイズが変化したとしても, 一連の結果の評価が可能になると考えている。なお, 要素数は概数であり, 各モデル内において, 配列に応じて若干の変化が生じている。解析手順は従来の研究[1]と同様であり, 初期静止状態の作成→所定の上載荷重下での静止 (圧密終了に相当) →せん断, という過程で行なうことにした。設定した荷重レベルは応力に換算して, 0.4, 0.2, 0.1(kgf/cm²)に相当するものである。単純せん断変形は, 図-1のように側壁の回転に伴って, 上板は水平方向に一定速度で移動して与える。このとき, 上板の回転は拘束して, 図中に示したように, ひずみ ϵ_x, γ_{xy} を定義した。用いたせん断ひずみ速度は $\dot{\gamma}_{xy}=0.5$ というかなり速いものである。この値は $h=20\text{cm}$ の場合, 上板が 1cm/s ($\Delta t=10^{-4}\text{sec}$ とすれば, 0.0001cm/step) なる速度で移動することになる。

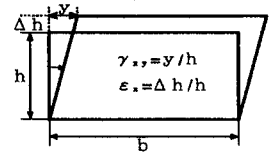
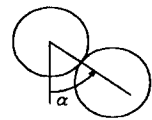


図-1 単純せん断モデル

図-2 要素間接触角 α

3. 解析結果及び考察

図-3～図-5は各Modelにおける静止, せん断の状態を示したものである。ここでは紙面の都合上 $\alpha=34^\circ$ となる17/18, 35/36, 8/9配列を代表例として示した。せん断については $\dot{\gamma}_{xy}=2\%$ の変形状態を図示している。図中接触点における線分は, 接触力の大きさを表しており, 図-3では, 要素直径が75個分の要素重量に, また, 図-4, 5では, 図中の $\square 50$ の線分が50個分の要素重量に

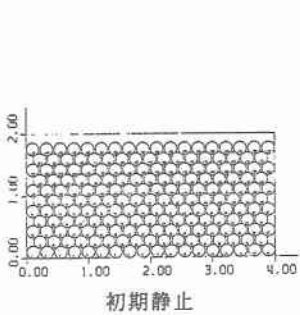
表-1 解析モデルの設定

	要素数	半径 (cm)	供試体(cm)		要素間接触角と配列			
			h	b	34°	40°	47°	59°
Model-A	200	1	20	40	17/18	15/16	13/14	11/12
Model-B	400	1	40	80	35/36	31/32	27/28	23/24
Model-C	800	1	10	20	8/9	7/8	6/7	

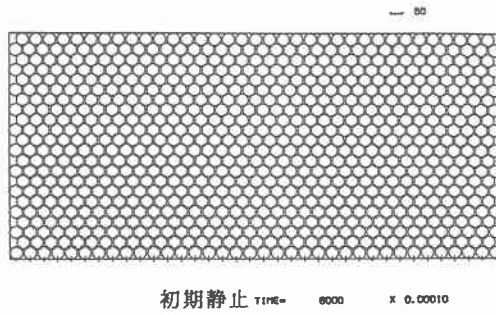
相当している。

応力比 τ_x/σ_x のピークを供試体の破壊時と考えて、強度定数 c 、 ϕ を求め、 α との関係を示したのが図-6である。この図から、内部摩擦角と要素間接触角は密接に関係しており、本解析の結果からは、ほぼ比例関係にあると考えられる。なお、図中の直線は最小二乗近似によって求めたものである。この図から同一の α を有する要素配列であっても、要素数が増えると ϕ が大きくなる。また、用いる要素数によって回帰直線の傾きが変化することもわかる。規則配列という限定された条件下で求め得た結果であることに留意した上で、今後のDEM解析の結果評価の一資料としたい。

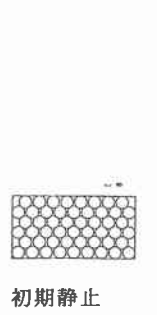
参考文献 [1]木山他，土木学会論文集，No.382/III-7，PP.167-174，1987.



せん断 ($\gamma=2\%$)
図-3 解析結果(17/18配列)



せん断 ($\gamma=2\%$)
図-4 解析結果(35/36配列)



せん断 ($\gamma=2\%$)
図-5 解析結果(8/9配列)

表-2 DEM解析定数

「要素」	
半径 (r):	1.0(cm)
密度 (ρ):	2.65(g/cm ³)
ヤング係数 (E):	750(kgf/cm ²)
ポアソン比 (ν):	0.3

「DEM材料定数」		
	要素間	壁-要素間
$K_n / \rho \text{ g (cm)}$:	3.64×10^4	7.28×10^4
$\eta_n / \rho \text{ g (cm} \cdot \text{s)}$:	1.53×10	3.06×10
$K_t / \rho \text{ g (cm)}$:	0.91×10^4	1.83×10^4
$\eta_t / \rho \text{ g (cm} \cdot \text{s)}$:	0.76×10	1.53×10

「時間間隔」	
Δt (sec):	1.0×10^{-4}
(但し、Model Dは 5.0×10^{-5})	

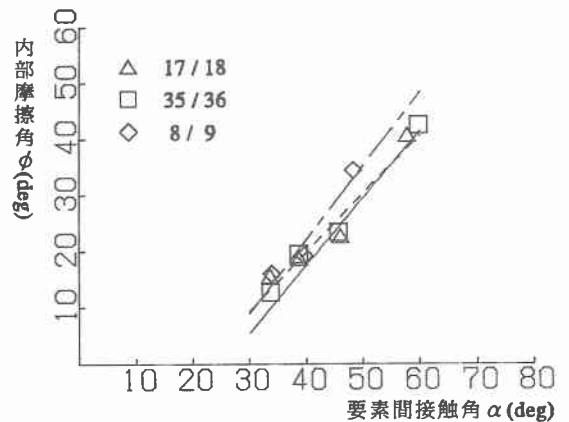


図-6 内部摩擦角と要素間接触角の関係