

繰返し荷重を受ける粒状体の変形挙動のDEM解析

鳥取大学大学院 学生員 ○脇本 公朋  
鳥取大学工学部 正会員 木山 英郎  
同 正会員 西村 強  
同 正会員 藤村 尚

1. まえがき

粒状体を初めから、”粒子”の集合体としてモデル化し、数値解析する試みが多く報告されている。これらにおいては、粒子を円形に簡略化し、異なる径の要素をランダムに配置して粒状集合体を表現している例が多いようである。

著者らは主に等径規則配列を用いてDEM解析を実施してきているが、等径規則配列を仮定することにより、モデルの条件設定、およびその条件に対する結果の評価を、例えば要素間接触角などを用いて、類型化して行える。本研究では、一例を図-3に示すように規則配列の中に他の要素に比べ、接触剛性と重量を低下させた要素を混入させたモデルを考えた。これに繰返し荷重を作用させたときの骨格構造の変化、それに伴う間隙比の変化の様子について述べる。

2. 要素の剛性変化と接触定数の設定

図-1は剛性の異なる要素の接触変形に関する仮定を表している。Aが通常剛性要素、Bが剛性低下要素を表す。図-1(a)のAA接触における接触剛性定数を $K_{AA}$ 、(b)のBB接触における接触剛性定数を $K_{BB}$ とすれば、それらは、A要素、B要素それぞれの剛性に比例する。仮定は、(c)のAB接触において、接触変位量が $u_{AB} = u_{AA}/2 + u_{BB}/2$ で表されるものとする。このとき、AB接触の接触定数を $K_{AB}$ とおけば、 $K_{AB}$ が次式のように求められる<sup>1)</sup>。

$$K_{AB} = \frac{2 K_{AA} K_{BB}}{K_{AA} + K_{BB}}$$

一部の要素の剛性を1/10、1/100と変化させ、剛性低下とともに重量を低下させる。ここでは、水との相互作用を考えているので、間隙の透水係数も変化させている。これらの定数の変化の割合は理論的な根拠はなく、計算が安定するように決めたものである。定数の変化の割合を図-2に示す。

3. 解析モデル

図-3は解析に用いたモデルであり、斜線を施した要素は、剛性および重量を低下させた要素である。このモデルでは、上面は上下方向のみに可動な剛板であり、また下面は固定剛板であるとしている。また、側面は、液圧がゴムスリプを介して作用しているかのごとく等分布荷重が作用しており、変形の自由度を高めている。

解析は、等方的に応力を作用させて、全要素を静止に至らしめる。そののち、平均主応力一定の条件下で、軸圧 $\sigma_a$ 、側圧 $\sigma_r$ を位相をずらして同時に変化さ

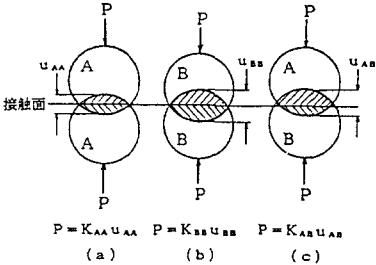


図-1 接触変形の仮定

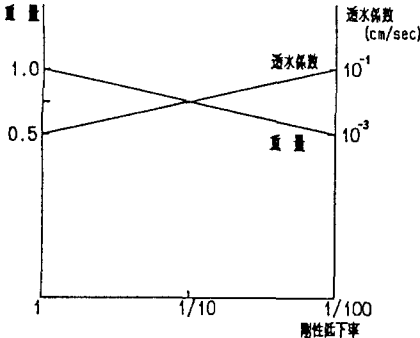


図-2 剛性低下による定数変化

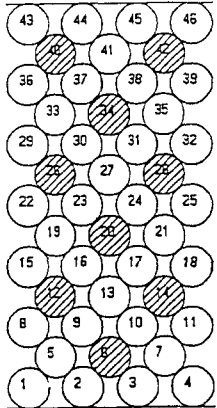


図-3 解析モデル

せるものである。本例では、 $\sigma_a = \sigma_r = 1(\text{kgf/cm}^2)$ として等方圧縮したのち、応力振幅 $\Delta\sigma_a$ 、 $\Delta\sigma_r = 100, 80, 60, 40(\text{gf/cm}^2)$ 、周波数 $f = 3, 5, 10(\text{Hz})$ を種々組み合わせて、実施している。表-1に基準となる要素定数を示している。

表-1 DEM解析における諸定数

|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| $K_n / \rho g(\text{cm})$     | $3.64 \times 10^4$   |
| $\eta_n / \rho g(\text{cm})$  | $3.28 \times 10^4$   |
| $K_s / \rho g(\text{cm})$     | $3.64 \times 10^4$   |
| $\eta_s / \rho g(\text{cm})$  | $3.28 \times 10^4$   |
| $\Delta t \quad (\text{sec})$ | $1.0 \times 10^{-4}$ |
| 要素半径 (cm)                     | 1.0                  |

#### 4. 解析結果

図-4に剛性低下した要素のないとき、図-5に1/10に低下させた要素を混入させたときの初期状態を示している。図中の接触点における線はバネの力をベクトル表示している。

図-4ではほぼ均一に力が分布しているのに対して、図-5では剛性を低下させた要素の力の負担が少なくなっており、その要素を取り囲むように大きな力が発達している。図-6、7は $f = 5(\text{Hz})$ 、 $\Delta\sigma_a = \Delta\sigma_r = 60(\text{gf/cm}^2)$ として、図-4、5より約1秒間解析を実施したときの状態を示している。図-6と図-7を比較してみると、図-6ではほとんど骨格の変化はみられないが、図-7においては下部で非接触の要素が接触していくなど骨格が変化していく傾向がみられる。図-8は、図-7の解析から得られた間隙水圧の経時変化を示したものである。繰返し荷重を載荷していくごとに、間隙水圧が上昇していく様子がわかる。

#### 5. あとがき

間隙水圧が圧縮応力と等しくなるような状態は再現できなかったが、今後、配列、剛性低下要素の混入率、あるいは位置を変化させて解析を実施し、データの蓄積を行いたい。

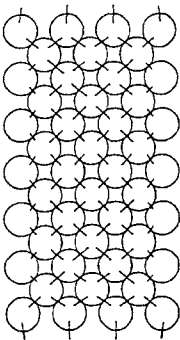


図-4 初期状態  
(剛性低下なし)

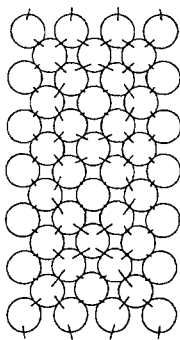


図-5 初期状態  
(剛性低下1/10)

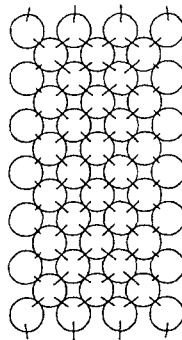


図-6 解析終了時  
(剛性低下なし)

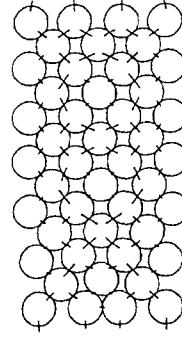


図-7 解析終了時  
(剛性低下1/10)

#### 《参考文献》

- 1) 木山英郎 他：DEM解析によるFenner-Pacher型支保特性曲線の再現と考察，土木学会論文集，1988,6

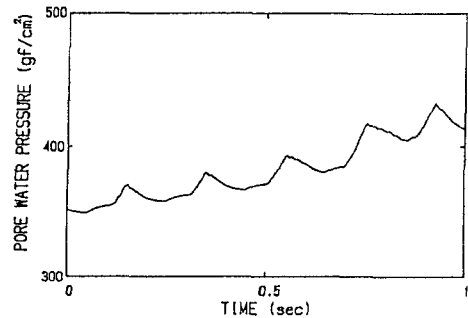


図-8 間隙水圧の経時変化