

III-105

圧密試験における圧縮曲線を表現するDEMモデル

鳥取大学 正 木山英郎 正 藤村 尚 正○西村 強

1. はじめに

個別要素法(離散剛要素法, 以下DEMと略す)において, 間隙水と連成させて圧密現象を解析する原理と手法については先に報告した<sup>1)</sup>. その際, 円形要素の規則配列に対し, (1)従来の弾・粘性型DEMでは, 要素の接触力-接触変形関係が大部分弾性的であるため,  $e-\log p$  曲線における除荷-再負荷過程における履歴曲線が表現できないこと, (2)そのために開発した弾・塑性型DEMでは, ある程度の履歴特性を表現できるが, 塑性定数の設定に大きく依存し, やや人為的に過ぎるきらいのあることが明らかとなった. すなわち, 圧密の履歴特性を支配する永久塑性成分を表現するためには, 骨格構造(要素配列)の崩壊を表すモデルの導入が不可欠となる. その一つは, 多角形要素のランダム配置による壊れ易い骨格構造を用いる方法であるが, これは系統的な数値実験のためには, 不向きである. そこで, 円形要素の規則配列を基本にして, 適当な要素の剛性を荷重レベルに応じて減少(最終的には消去)する方法を用いて, 任意の空隙の創成と壊れ易い骨格構造をモデル化する方法を考えた. その原理は, 先に報告したトンネル掘削過程のDEM解析で用いたトンネル要素と同様である<sup>2)</sup>.

2. 解析モデルと剛性変化の設定

表-1は解析に用いた定数を示している. 遞減要素の剛性係数は, 図-1に示すように,  $\log p$  に応じて変化するものとした. この図では, 縦軸に通常の剛性(表-1)に対する比( $\Delta$ )を用い,  $p=0.1(\text{kgf/cm}^2)$ のときを剛性低下のない基本の状態とし,  $p=1.0(\text{kgf/cm}^2)$ となったとき通常剛性の1/100となるように,  $p$  と  $\Delta$  の関係を両対数紙上で直線で与えたものである. たとえば,  $p=0.4(\text{kgf/cm}^2)$ のとき, 同図より,  $\Delta=0.06$ となり,  $kn'/\rho g=kn/\rho g \times 0.06=2184(\text{cm}^2)$ と決定される. ただし, 除荷のとき, 要素剛性はもとの値に復することはなく, 最大圧縮履歴によってのみ決まるものとしている. このような関係は, 理論的な計算に基づいた唯一のものではなく, 後出の $e-\log p$  曲線が再現されるように仮定したものである. また, 剛性の変化に伴う接触変形の仮定等についてはさきに報告した通りであるが, 要素重量は初期の値を保つとして

表-1 解析定数

|                 |                                              |
|-----------------|----------------------------------------------|
| radius          | $r=1(\text{cm})$                             |
| time step       | $\Delta t=1.0 \times 10^{-4}(\text{s})$      |
| $Kn/\rho g$     | $3.64 \times 10^4(\text{cm}^2)$              |
| $\eta n/\rho g$ | $1.53 \times 10(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ |
| $Ks/\rho g$     | $0.91 \times 10^4(\text{cm}^2)$              |
| $\eta s/\rho g$ | $0.76 \times 10(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ |
| $\mu$           | 0.577                                        |

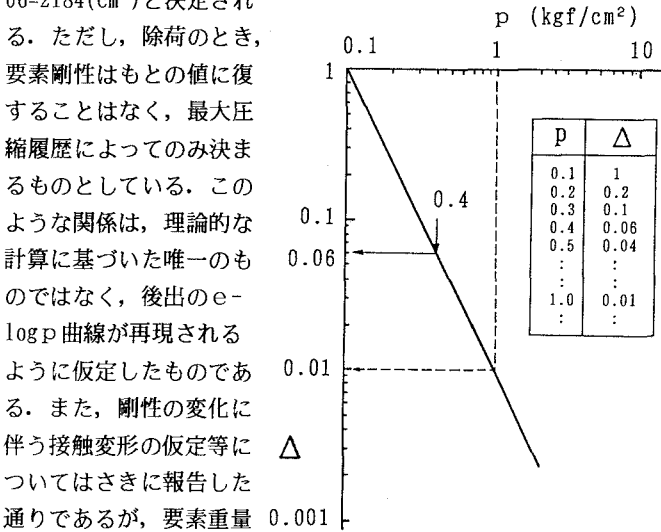


図-1 剛性変化と荷重の関係

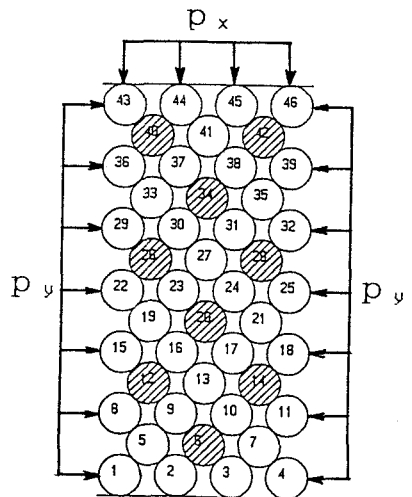


図-2 解析モデル

いる.

図-2は、解析に用いたモデルであり、陰影を施した要素が上記の仮定にしたがって、荷重段階の進行とともに、剛性を低下させる要素を表している。このモデルでは、上面は、上下方向にのみ可動な剛板であり、下面は固定剛壁であるとしている。また、側面は液圧がゴムスリプを介して作用するかのごとく等分布荷重  $p_y$  が作用しており、変形の自由度を高めている。解析は所定の剛性低下率のもとで、等方的 ( $p_x = p_y = p$ ) に応力を作用させて、全要素を静止させる。そのときの要素間の接触変位を継いで、次の荷重段階へ進むものである。

### 3. 解析結果

図-3は、今回の解析をまとめたものである。図-4は、図-3のA点に対応する初期平衡状態で、 $p=0.1(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ のときの要素ならびに接触力の分布の様子を示している。このとき、すべての要素の剛性は同一であり、低下させたものはない。A点からE点に至る過程は、比較のために、剛性を低下させずに解析を実施したときの結果である。E点においても、要素の配列等に変化は生じず、接触力をベクトル表示している線分が長くなるだけである。したがって、E点より除荷を行ってもA点に復することは1. で述べた通りである。

図-3において、 $A \rightarrow B \rightarrow C$ と至る過程は、 $p$ を0.2, 0.4...と増加させ、それとともに2. で述べたように要素剛性を低下させた場合である。 $\Delta$ の具体的な数値については、図-1中の表に示している。図-5は、B点に対応するものであるが、もはや接触力の分布は一樣ではなく、剛性低下要素を取り囲む要素の荷重負担が大きくなっていること、とくに、下面付近で周辺要素同志が接触するなど、 $A \rightarrow E$ 過程では見られなかった骨格構造の変化が生じている。

次に、B点より除荷を行い、 $p=0.1(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ としたときの状態を図-6に示す。この場合、図-5で見られたような配列の変化が不可逆であるため、 $e-\log p$ 曲線上ではA点には復さず、D点に至る。また、D点より再負荷をおこなうと、 $e-\log p$ 関係はBD線上をたどり、さらに、B点以降ではさきに求めている  $A \rightarrow B \rightarrow C$ と至る曲線と一致することを確かめている。今後、配列等の条件を変化させて骨格構造と圧密曲線の関係を検討していく予定である。

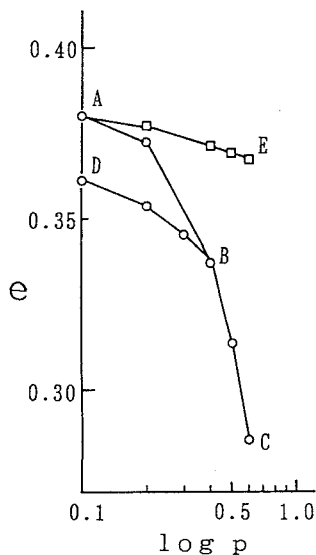


図-3  
 $e - \log p$  曲線

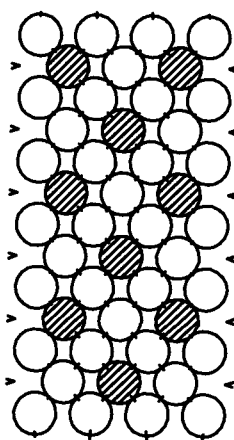


図-4  
初期状態  
( $p = 0.1 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ )

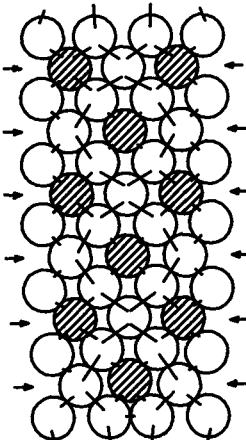


図-5  
DEM解析結果  
( $p = 0.4 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ )

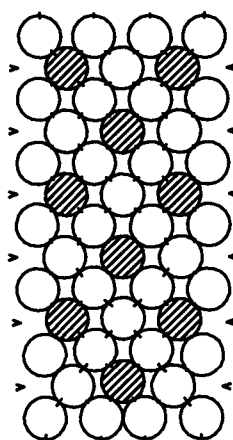


図-6  
DEM解析結果  
( $p = 0.1 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ , 除荷)

#### 参考文献

- 1) 西村強他：弾塑性型DEMを用いた圧密モデルの解析，第22回土質工学研究発表会発表講演集，pp.935-936, 1987.
- 2) 木山英郎他：DEM解析によるFenner-Pacher型支保特性曲線の実現と考察，土木学会論文集，第394号／Ⅲ-9，pp.37-44，1988.6.