

鳥取大学 学生員 O西村 強
鳥取大学 正会員 木山英郎
鳥取大学 正会員 藤村 尚

1. はじめに

本研究は、カンダルの開発した離散剛要素法 (DBM) による単純せん断試験のシミュレーションを行い、得られた内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c から、逆に、DBMにおける要素定数 K , η を評価しようとするものである。

2. せん断モデルの設定

単純せん断試験を必ず制御等圧の条件下で行なうことを念頭に、以下に述べるモデルを設定した。

せん断試験機として図-1に示す長方形OABC (40cm×20cm) を考え、半径1cmの円形要素 (粒子) を200個程度充填・圧密することにより供試体とする。粒子充填は粒子間ならびに粒子-壁面間に極く僅かな間隙を残した非接触の浮遊状態から時間増分 Δt 間隔で計算を開始し、粒子を静止状態に至らしめるものである。

このとき、辺OC, 辺OA, 辺ABは固定壁と識別され、BC間は、開かれたものとして粒子の通過を許すように識別される。次に、辺BC上に等分布荷重 q を仮定して Δt 間隔で計算を続行し、辺BCの静止をもちいて圧密終了と判断する。圧密終了が確認されると、辺OC, 辺ABをそれぞれ点O, 点Aを中心として回転させることにより供試体にせん断変形を生じさせる。そして、供試体に加えられているせん断力として辺OC', 辺BC'に作用する力のx方向の成分を取り出す。このとき、辺BC'は供試体の変形に応じてx方向のみ変位し、回転変位は生じないものとする。

法線方向のスプリングの剛性定数 K_n , ダッシュポットの粘性定数 η_n は次式(1), (2)より求める。

$$K_n = \frac{\pi E}{2(1-\nu^2)(\frac{2}{3} + \ln(4r/b))} \quad (1)$$

$$\eta_n = 2\sqrt{\pi cr^2 K_n} \quad (2)$$

ここに、E: ヤング率, r: 粒子半径, ν : ポアソン比, b: 接触幅, ρ : 密度

接線方向の定数 K_s , η_s は、 K_n , η_n に対して適減率 δ を用いることにより次式(3), (4)より求める。

$$K_s = K_n \cdot \delta \quad (3)$$

$$\eta_s = \eta_n \cdot \sqrt{\delta} \quad (4)$$

健全な岩石質材料のヤング率は 4.9×10^7 KPa程度であるが、この場合計算ステップを示す時間増分は 1.0×10^{-5} (sec)となり、解析に膨大な計算量を要する。そこで、 $E = 7.35 \times 10^4$ KPaという小さい値を採用することにより、 $\Delta t = 1.0 \times 10^{-4}$ (sec)とした。砂粒子を想定し、 $\rho = 2.65 \text{ g/cm}^3$, $\nu = 0.3$ を、さらに、 $\delta = 0.25$ を用いるとモデル定数は表-1のように求められる。粒子間摩擦角として 30° ($\mu = 0.577$)、また、壁面-粒子間摩擦角として上下壁に対して 45° ($\mu = 1.0$)、側壁に対して 5° ($\mu = 0.087$)を用いる。

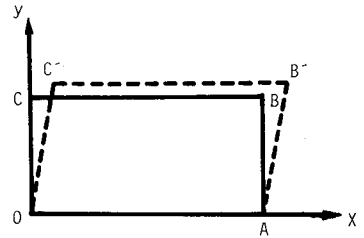


図-1
せん断モデル

表-1
モデル定数

	粒子-粒子	粒子-壁面
$K_n / \rho g \text{ (cm)}$	3.64×10^4	7.28×10^4
$\eta_n / \rho g \text{ (cm} \cdot \text{s)}$	1.53×10	3.06×10
$K_s / \rho g \text{ (cm)}$	0.91×10^4	1.82×10^4
$\eta_s / \rho g \text{ (cm} \cdot \text{s)}$	0.76×10	1.53×10
$\Delta t \text{ (sec)}$	1.0×10^{-4}	

3. 解析結果

解析の一例として、図-2(a)のような粒子配列について示す。この図は、粒子を左右対称にして最下段に16個、その上に15個の順に規則正しく配列した場合の静止状態を表わすものである。この状態より、上辺に等分布荷重 $\sigma/p = 7.5 \text{ (cm)}$ を作用させ、圧縮を行なうと同図(b)に示す状態に至る。図中の線分は接触点における法線方向および接線方向の接触力の合力をベクトル表示したものであり、線分長はベクトルの大きさを表わし、図中の要素直径分が約2.4個(=7.5/π)に相当する。さらに、この状態よりせん断速度60 (cm/min.) で供試体にせん断変形を与えると、同図(c), (d)に示す状態に至る。図(c)は水平変位 $\delta = 1.2 \text{ (cm)}$, 図(d)は $\delta = 2.4 \text{ (cm)}$ の状態を示している。同様の手順を種々の荷重状態について行なうことにより図-3に示す τ - δ 線、 Δh - δ 線、さらに、図-4に示す τ - σ 線が得られ、 $c = 11.0 \text{ (g/cm}^2\text{)}$, $\phi = 18^\circ$ なる値が求められた。

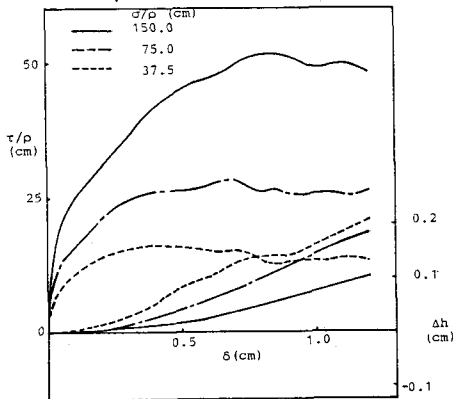


図-3 τ - δ 線 Δh - δ 線

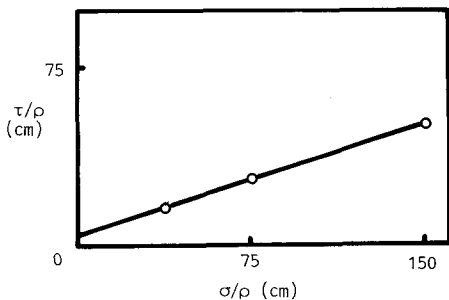


図-4 τ - σ 線

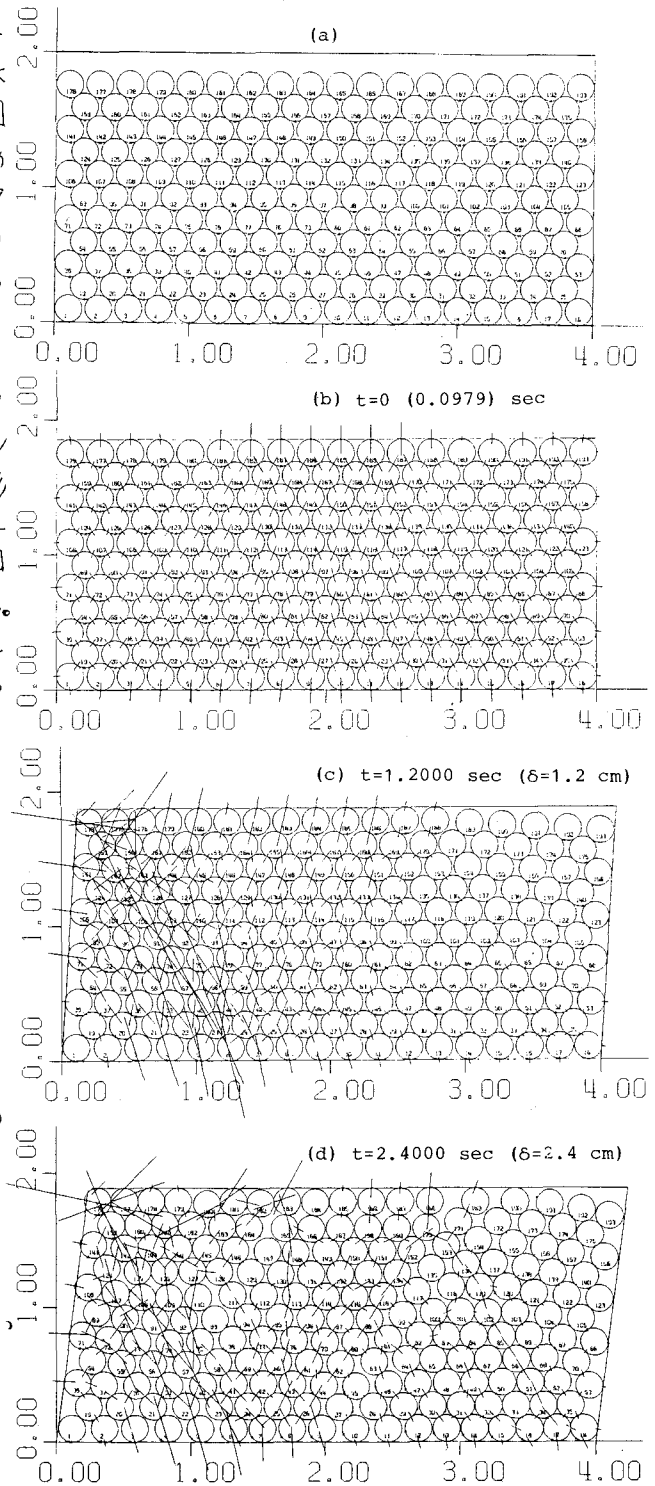


図-2