

1. まえがき：土のような粒状体が力を受けて大変形すると、その変形はせん断層と呼ばれる狭い領域に集中することが知られている。この現象と粒子構造との関連を調べるために、個別要素法的な離散解析モデルである粒状要素法¹⁾を適用してアルミ丸棒積層体の二軸圧縮試験を2次元でシミュレートした。

2. 計算方法：接触力と接触剛性はHertzの接触理論^{2),3)}に従って各接点ごとに算定した。計算に用いた材料定数は、アルミ丸棒の密度 2700kg/m^3 、ヤング率 $7.1 \times 10^{10}\text{N/m}^2$ 、ポアソン比 0.34、摩擦角 16° 、鉄製載荷板のヤング率 $2.1 \times 10^{11}\text{N/m}^2$ 、ポアソン比 0.28、アルミ丸棒と鉄製載荷板の間の摩擦角 10° である。図1に示すのは、鉛直方向および水平方向に $4.9 \times 10^4\text{N/m}^2$ の応力をかけた状態で、粒子径 0.9、0.5cm (重量比 2:3) の粒子 866 個の集合体が形成されている。鉛直方向の応力は上板に作用する鉛直方向の力の和を上板の幅で割った値とした。水平方向の応力は、ゴムスリーブを介した载荷を想定し、鉛直方向に 1mm ごとに最外端の粒子を識別して、応力から算定される内側向きの水平力を粒子の中心に与えることにより制御した。図1を初期状態とし、水平方向の応力を一定として、鉛直方向の応力を増加させてせん断した。上板は回転させず、上下方向にのみ平行移動させた。下板はこれに作用する水平方向の力がゼロとなるように横方向に移動させた。なお、計算には全体剛性行列を用いた。また、変形によって新たな粒子の接触が生じた場合には、その接触点で算定される力が十分に小さな値となるように全体の変形増分を線形に戻す操作を計算に取り入れた。計算で与えた鉛直方向の応力増分は $1.8 \times 10^{-2}\text{N/m}^2$ 、逐次解析の終了条件として設定した各粒子の力の釣り合いの精度は $9.8 \times 10^{-2}\text{N}$ である。

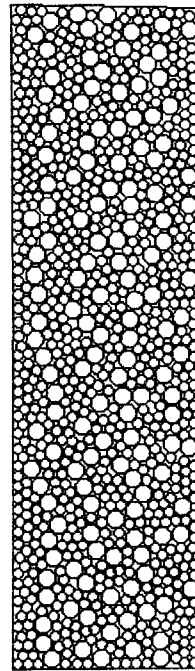
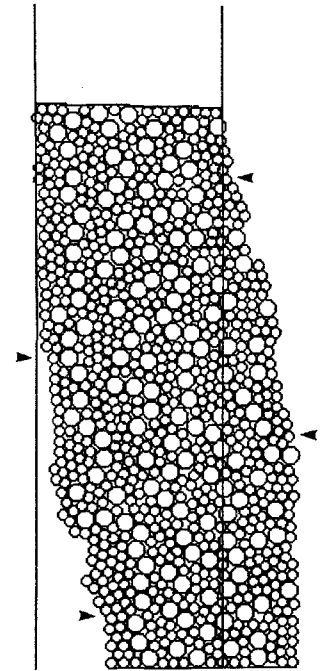


図1 せん断前

図2 軸ひずみ $\varepsilon_1=15\%$

3. 計算結果：図2は鉛直方向の軸ひずみ ε_1 が 15%に達したときの粒子配置である。初期の粒子

配置と比較するために、鉛直方向の線分を図1の場合と同じ位置に描いた。矢印を付けた4点で囲まれる領域はせん断層に相当すると考えられる。せん断層の幅は粒子径の 10~20 倍であり、従来報告されている砂の実験結果と一致している。図3は得られた応力比と鉛直方向の軸ひずみとの関係で、横軸に軸ひずみ、縦軸に応力比を示している。図の中でプロットが水平方向に長く続く部分が数箇所ある。この部分では与えられた応力に対する逐次計算の終了条件は満たされていない。図4は下板の右向きの水平方向変位 h と鉛直方向の軸ひずみとの関係である。軸ひずみ ε_1 がおよそ 7%に達した後に軸ひずみの増加に対する水平方向変位の増加割合が大きくなっている。この段階で変形の局所化が顕著になったものと考えられる。

キーワード：粒状体、個別要素法、せん断帯

(群馬県前橋市上佐鳥町 460-1・電話 027-265-7305・ファックス027-265-3837)

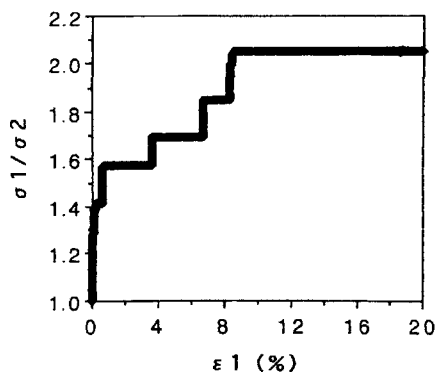


図 3 応力比と軸ひずみの関係

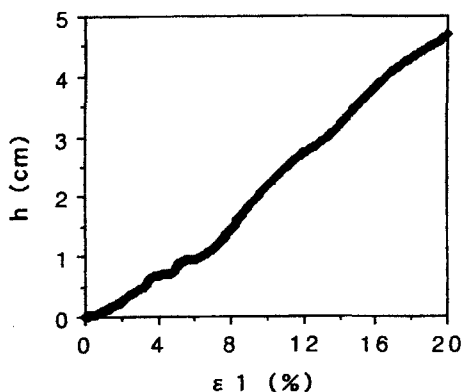


図 4 下板の水平方向変位

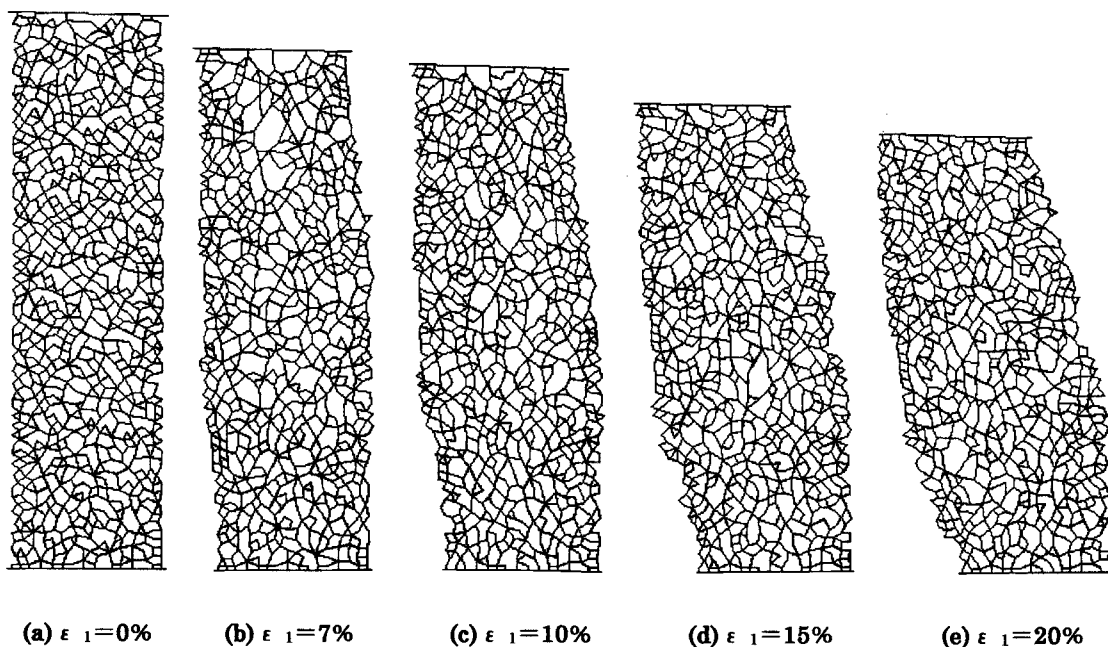


図 5 粒子構造のグラフ化

4. 粒子構造のグラフ化：図 5 は、接触する粒子の中心点を線分（枝）で結んで描いたグラフである。ただし、1 粒子当たりの接触の数が 1 つしかない場合は、その接触点に作用する力はごく小さいと判断できるので枝は描かなかった。せん断にともなつて枝の方向は鉛直方向に集中するが、変形の局所化が顕著になると、せん断層中の枝の方向は鉛直軸から反時計回りに回転した方向へとずれる傾向がみられる。

5. あとがき：粒状要素法で柔な境界を用いてアルミ丸棒積層の二軸圧縮試験のシミュレーションを行い、せん断層とみられる領域をとらえた。粒子構造をグラフ化してみると、せん断層とみられる領域内では接触法線を表す枝の方向の載荷方向（鉛直方向）への集中が崩れていることがわかった。

参考文献：1)岸野：新しいシミュレーション法を用いた粒状体の準静的挙動の解析，土木学会論文集，No.436，pp.111-120，1991. 2)Mindlin：Compliance of elastic bodies in contact，J. Appl. mech.，pp.259-268，1949. 3)Young：Roark's formulas for stress and strain，McGraw-Hill Book Company，pp.650-651，1989.