

前橋工科大学 学生会員 小板橋 武

前橋工科大学 学生会員 板橋 和登

前橋工科大学 正会員 土倉 泰

1. まえがき：アルミ丸棒積層体に対する一面せん断試験のシミュレーションにおいて、境界の動きを遅くすると変形特性に明確な差が現れ、強度は低下する¹⁾。粒径 4.0mm のガラスビーズ集合体に対して標準型一面せん断試験を行っても、載荷速度を遅くした場合に通常の場合に比べて強度が低下する結果が得られている²⁾。本文では、載荷速度によって生じるこの差を変形・強度特性に対する動的効果と位置付け、この動的効果が生じるメカニズムに関し、シミュレーションで得られる接触力の分布図をもとに考察する。

2. 計算手法とパラメーター：計算には2次元粒状要素法を用い、接触力と接触剛性は Hertz の接触理論に則り各接点で算定した。計算に必要な材料定数は、表-1 に示す。上載圧 49kPa 一定のもとで下箱を水平方向に動かしてせん断を与えた。図-1 は計算の初期状態であり直径 5mm と 9mm の円を質量比 3:2 で混合したものである。図の中に描いた黒い線は粒子間に作用する力を表している。線の長さは接触する粒子の半径の和、線の方向は力の作用方向、太さは力の大きさに比例したものとなっている。上載圧 σ は、上板に作用する力の鉛直方向成分の和を下箱底面の長さで割った値とし、せん断応力 τ は、上箱内に作用する力の水平方向成分の和を底面の長さで割ったものとした。境界条件に下箱のせん断応力(下箱内に作用する力の水平方向成分の和を底面の長さで割ったもの)を与える応力制御法でせん断した。ただし、下箱には水平変位増分の限界値を設け、変形がこの値に達した場合にせん断応力を増加させて行く計算を行った。これにより擬似的な動的載荷を行うことができる。変形増分の限界値を小さくすれば速い載荷となる。実際にアルミ丸棒を使って行われた一面せん断試験³⁾の応力比 τ/σ ～水平変位関係の初期勾配を求め、この勾配とシミュレーションで境界に与える応力増分から算定される水平変位を先述の限界値と定め、1mm/min 程度を想定した通常の載荷とした。また、これと比較するために、水平変位限界値を通常の載荷の 10 倍とした遅めの載荷も行った。なお、力の釣合いの精度は 1 粒子当たり 98mN とした。

3. 計算結果及び考察：図-2 は、水平変位に対する応力比と上板の鉛直変位の変化を示す。■は通常の載荷、□は遅めの載荷を表す。遅めの載荷の場合、強度が低くなっている。図-3, 4, 5, 6 は図-2 の A, B, a, b 点の接触力分布を表し、A, a 点、

表-1 材料定数

	アルミ丸棒	上板
ヤング率	71GPa	208GPa
ポアソン比	0.34	0.28
摩擦角	16°	16°
密度	2700kg/m ³	*****

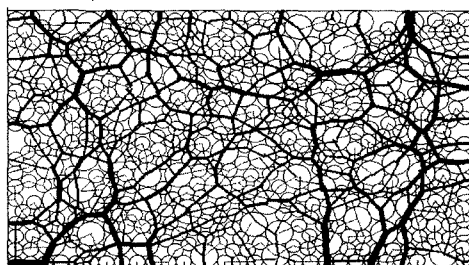


図-1 初期状態における接触力分布

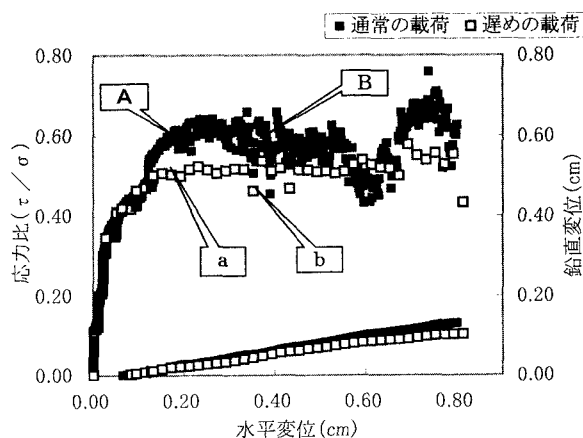


図-2 水平変位と応力比・鉛直変位の関係

キーワード：一面せん断試験、シミュレーション、粒状要素法

連絡先：〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460-1 前橋工科大学工学部建設工学科 TEL027-265-7305

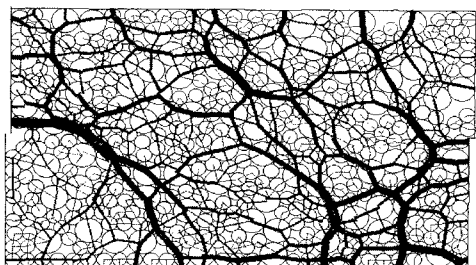


図-3 A点の接触力分布

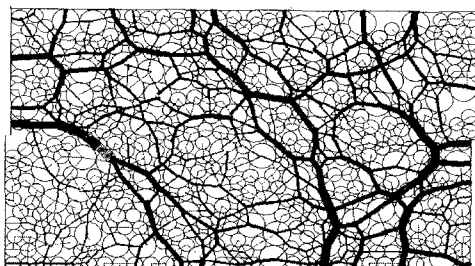


図-4 a点の接触力分布

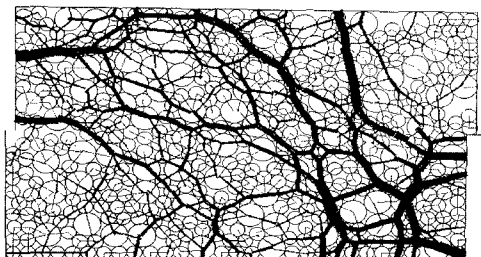


図-5 B点の接触力分布

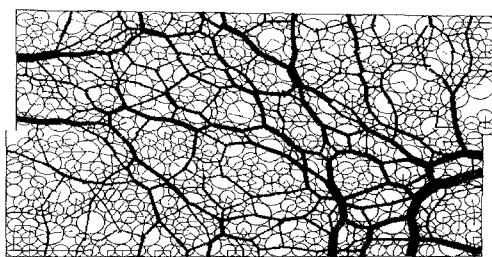


図-6 b点の接触力分布

B, b 点はそれぞれ水平変位がほぼ等しいところを選んでいる。a, b 点の応力比は A, B 点の応力比より小さいのに対応して、図-4, 6 では図-3, 5 と比べて太い線(大きな力)が目立たない。せん断速度が遅めの場合、大きな力の柱ができないために応力比が上昇しないのである。通常の载荷の場合に大きな力の柱が形成されるのに対し、遅めの载荷の場合にこれができない原因を以下に考察する。ここで行った計算モデルは箱の中の粒子数が少ないため、応力比のピーク前に構造変化(力の伝達経路の再構成)に向けて動き出した粒子が境界面で制止され、構造変化が未完のままとなる。ある程度境界に動的な変位を与え続ければ、このような境界の拘束を端緒として大きな力の柱がつかい棒のように形成される。しかし、遅めの载荷では、変化が未完であるために不安定となっている構造が崩れるのである。境界に拘束されることなく構造変化が完結し、十分大きなせん断に抵抗できる安定な構造が作られる条件下にあれば、载荷速度に依らず粒子集合体の応力比は上昇するものと考えられる。なお、図-3, 5 において力の大きさの分布が図-4, 6 のそれより不均一になっていることに着目し、各変形段階での接触力の大きさの変動係数を求めたのが図-7 である。通常の载荷の場合に変動係数が大きくなることがわかる。

4. あとがき：まえがきで述べた動的効果のメカニズムについて考察した。ピーク前に生じる、粒子の接触構造の急激な変化が、境界に拘束される場合に、载荷速度による強度差が生じるようである。このような動的効果の有無を粒子数の異なるモデルで調べていくことにより、粒状体の解析に最低限必要な領域の大きさ(粒子数)を明らかにできるのではないかと考えられる。

【参考文献】1) 土倉：粒状要素法を用いたアルミ丸棒積層体の一面せん断試験の再現，第32回地盤工学研究発表会 pp. 501-502, 1997. 2) 板橋，小板橋，土倉：粒径の異なるガラスビーズの一面せん断試験，土木学会第28回関東支部技術研究発表会，2001. 3) 松岡：アルミ丸棒積層体の要素試験結果と支持力試験結果・DEMのためのブラインドテストの結果・地盤の破壊とひずみの局所化に関するシンポジウム発表論文集，地盤工学会，pp. 17-24, 1994.

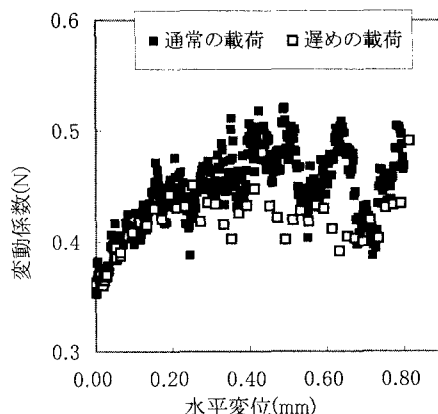


図-7 接触力の大きさの変動係数