

III-13 ニ次元積層体によるせん断中の粒子移動特性について

長崎大学工学部 正員 〇落合 英俊
九州大学工学部 正員 山内 豊 助
長崎大学工学部 正員 棚橋 由 秀

1. まえがき 土は個々の粒子の集合体であると考え、微視的観察よりその力学的特性を検討することは、特に砂礫のような粒状体のせん断特性の解明にあって有用な方法であるが、そのためにせん断中の粒子移動特性も正確に把握する必要がある。実際の土のせん断試験ではそれは非常に困難であるため、スチールボールや丸棒の二次元モデルを用いる方法がよく行われてゐる。ここでアルミ丸棒の積層体を用いることとし、その降次のような真の考慮してすべり面を規定せず軸方向と横方向より加ふる二次元せん断試験を行つた。つまり粒状体の変形は性質の異なるいくつかのゾーンが生じ、その境界において変形が集中すると考えられるのですべり面が規定され、その面付近の変形しかとりあつたに付、直接せん断試験よりも一般的に粒状体の変形についてとりあつた。さらにこのような二次元せん断試験は通常の三軸試験もかたがうよくシミュレートできると考えられるので、三軸試験と同様になる上下載荷板付近のとりあつた、すなわち、三軸試験結果の解釈に役立つものと考えられる。ところで粒状体の変形も同様にする場合、各種の支配要因のうちどの要因とりだすかが重要である。最上、村山、松岡らの研究からみて、間デキ比分布、粒子間接触角、粒子間伝達力の3つは最低必要な要因であると考えられるが、ここでは試験の都合上粒子間伝達力を考慮しないこととし、粒子の移動方向と接触角とをあげ、それらをも供試体全体に關するものと、供試体もいくつかのゾーンに分け、各ゾーンに關するものについて考へてみた。供試体もいくつかのゾーンに分けることは上に述べたように粒状体の変形は性質の異なるいくつかのゾーンが生じるといふことも肉付するものであり、最上の間デキ比分布の概念にも関係があるのではなからうかと考えられる。

2. 試験方法 試験には長さ5.0cm、直径2.3, 5, 7, 10mmの5種類のアルミ丸棒(比重2.7)の重量比で1:3:8:3:1の割合で混合し、0.10, 0.15, 0.20 kg/cm²の

側圧に対して毎分1mmの軸変位速度で二次元的に圧縮せん断した。試験後直に上下バシールされ、外周への変形が拘束されて11.5mmのゴムスリーブ内筒(直径7.0cm)内へアルミ丸棒を詰め込み、側圧はゴムスリーブ内に空気圧を加ふることにより実現し、軸圧荷は5×10cmのフクリル製板を介して載荷するものである。

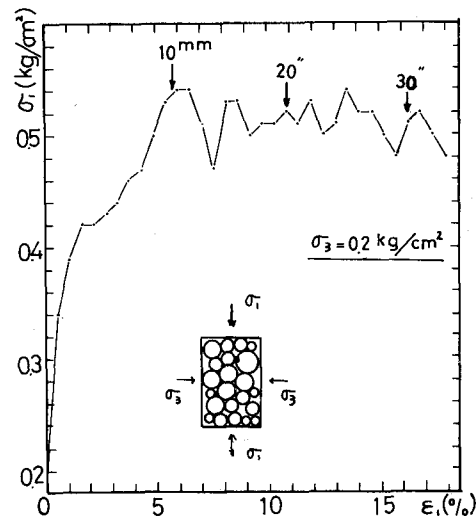


図-1. 応力-ひずみ関係

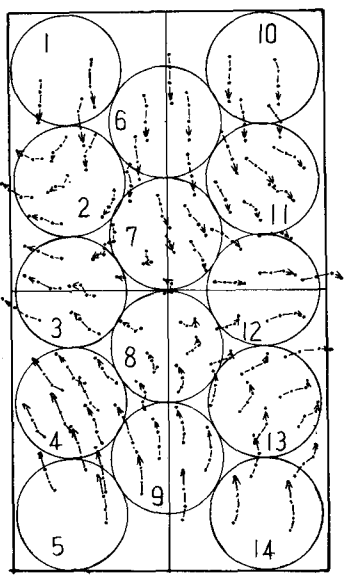


図-2. 粒子の移動方向

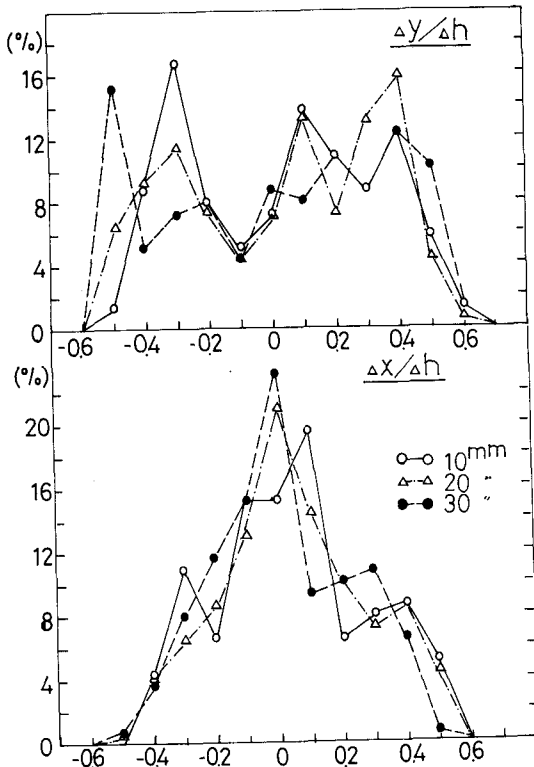


図-3. 粒子移動方向の度数分布 (a) 供試体全体

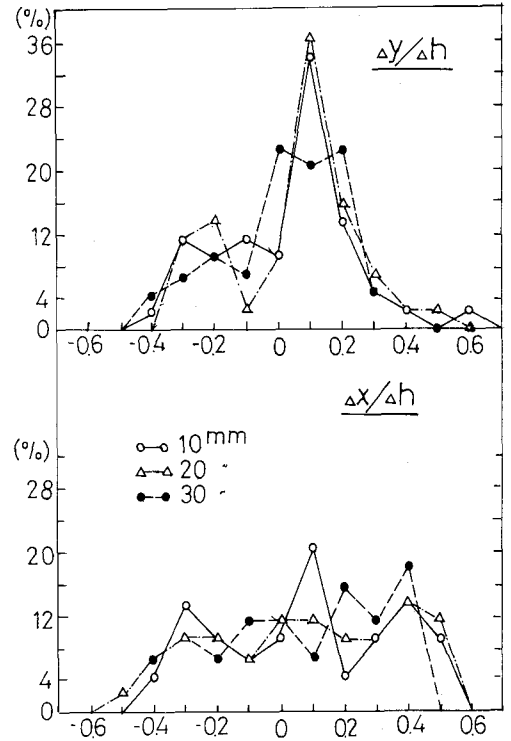


図-3 (b) Zone II

なお、試料と載荷板との間にはシリコングリースを塗布したゴムスリーブ(厚さ0.2mm)を挿入して摩擦を軽減した状態で二次せん断試験を行なった。また供試体断面面積は約10cm²、高さ20cmである。試験終了後は軸変位は自動記録計で、軸変位1mm毎に写真撮影を行なった。粒子移動等の整理は写真上で行なった。なお本文中は側圧0.2kg/cm²の場合を一例を示して説明を行なう。

3. 試験結果と考察 供試体内のゾーン分けにまずバケツ状のようにならざるを得ない。一般に供試体内で変形性状が異なるので、それを表わすものとして一つの粒子に注目し、その粒子に接触する粒子数とをとりあげ、供試体内から約50ヶの粒子を選び之から粒子に接触する粒子数と数える。変形の入まり切った荷重比変化が伴うので、変形終り込み状態の場合には荷重比が大きくなる。つまり軸変位の増大に伴って接触粒子数は少なくなる。このような方式で終り込み時の基準に軸変位10mm、30mmの時の接触粒子数の増減についてこの等高線を描くと、供試体内でおおまかに3つのゾーンに分けられることがわかった。つまり上下載荷板付近のクサビ部分、供試体中央部分、その両部分に分けられる3つである。そこでこれらの部分の境界を定めるために表わされるようにするのために供試体内に14ヶの円を描き、供試体を14ブロックに分ける(図-2参照)。円番号1, 5, 6, 9, 10, 14をゾーンI、2, 7, 8, 12をゾーンII、3, 4, 11, 13をゾーンIIIとし、図-1はこのことと一致したものを示す。図上矢印で示した10, 20, 30mmは軸方向変位で、軸方向変位Δh=10mmは荷重0.60-F、Δh=20, 30mmは0.7-F以後の残荷状態に相当する。以下データの整理はこれらの軸変位に相当する数について行なった。軸変位の進行に伴う供試体内の粒子移動方向はΔh=0, 10, 20, 30mmの場合について図-2に示す。せん断前の供試体中央部を素土とし、

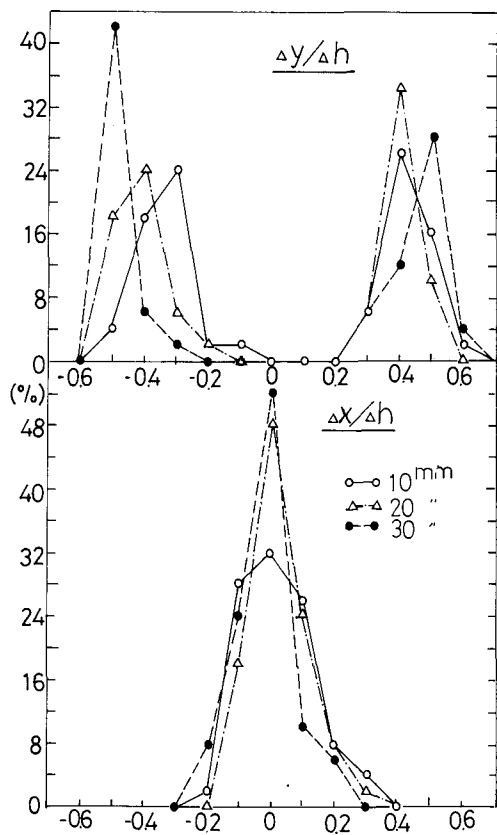


図-3 (c) Zone I

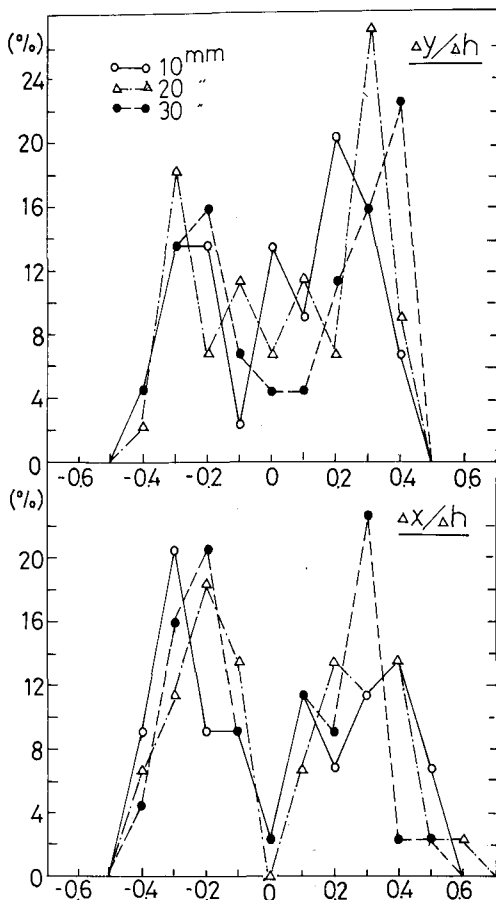


図-3 (d) Zone III

の方向(軸方向)をy軸、y方向(横方向)をx軸と

する直交座標軸とし、軸変位Δhに対するx方向への変位Δxの比 $\Delta x/\Delta h$ 、y方向への変位Δyの比 $\Delta y/\Delta h$ を138ヶの粒子について示したものが図-3であり、縦軸は相対度数である。供試体全体で特に $\Delta x/\Delta h$ についてほぼ正規分布に近似できるように特徴ある傾向を示してゐるが、各ゾーン別のものと対比させてみると、それほつゝゾーンA合計したものとして特徴ある分布を示してゐるわけ、この全体的なものから粒状体の変形特性を論ずることは意味が薄い。これは $\Delta y/\Delta h$ についても同様である。ゾーンIではx方向への移動は少なくて、y方向への移動が大半を占め、このゾーンはクサビに押込まれる領域であることがわかる。供試体中央部のゾーンIIでは偏りの影響が多少みられるがy方向への移動は比較的少なくて、x方向への移動は大体均等に分布してゐる。ゾーンIIIでは多少ばらつきがあるが、 $\Delta x/\Delta h$ 、 $\Delta y/\Delta h$ ともに±0.3付近にピークをもつ分布を示してゐる。このことは圧力のピーク以後の方向に対して大体±45°付近の方向に粒子の移動が生じてゐることを示すものであり、すべりがこの領域で生じてゐると思われる。それゆゑせん断特性を論ずるにはこの領域について行かう必要がある。次に粒子間接触角について考へてみる。供試体より80ヶの粒子を選び、その粒子に接触するすべての粒子との間の中心線の角度をy方向に対して時計回りを180°、反時計回りを-180°測定した。このようにして行つた角度の測定数は約550ヶである。図-4は供試体全体に用いる接触角の度数分布を示すものである。粒子径が異なり、詰め込み時の向きも分布が不均

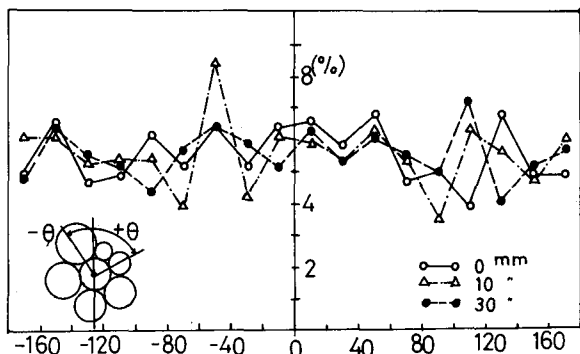


図-4. 粒子間接触角の度数分布 (供試体全体)

のため、せん断前の θ の度数分布に一定性がみられる。せん断前 $\Delta h = 0 \text{ mm}$ を基準として $\Delta h = 10, 30 \text{ mm}$ の場合との相対度数の差を、とる。ここで、

図-5 にあって円はせん断前の状態を示し、放射状線は注目している粒子中心の周りの方向に對し、

時計回りに 20° 間隔で 180° 以内に各方向の中央値である。相対度数の増減は円の外側に同か、

減少分は内側に同か、をプロットし、破線は $\Delta h = 10 \text{ mm}$ 実線は $\Delta h = 30 \text{ mm}$ の場合である。供試体全体とゾーン

Ⅲと比較よりわかるように接触角の度数分布の変化状態はかなり異なることがわかる。粒子移動方向より

ずれるが生じていると推測されるゾーンⅢを注目されることは、

応力のピーク状態より残留状態に対するため、

この角と粒子移動方向 $\Delta x / \Delta h$ 、 $\Delta y / \Delta h$ が ± 0.3 付近にピークをもつことも合わせて考えると、粒子移動方向と接触角との間に一定の差がみられる。粒状体の変形を説明する手がかりになると考えらる。この点について今後詳細に検討していただくことである。

4. あとがき 粒状体の一般の変形状態を説明するに際しては対象として、供試体もいくつかのゾーンに分け、各ゾーンに分けて検討することが必要であり、試験結果の解釈にあたり、この点も考慮しなくてはならない場合も生じてくるであろう。ここで用いたアルミ丸棒の積層体については、供試体内に4ヶ所の円を描き、その円を適当に組み合わせてゾーン分けを行ない、各ゾーンについて検討してみると、ゾーンⅢにおいてずれるが生じていることがわかり、粒子移動方向と粒子接触角の間に粒状体の変形を説明する手がかりなりさうな関係にあるように推測される。このようなゾーン分けをもつてある。しかし他の組合せもあると、と顕著な関係が得られる可能性もあり、また他の正確なしかも簡単なゾーン分け方法もあるであろうから、有限要素法による変形状態とも関連させて粒状体の一般の変形問題について検討していただくことである。なおこの関係についても併せて今後検討した。

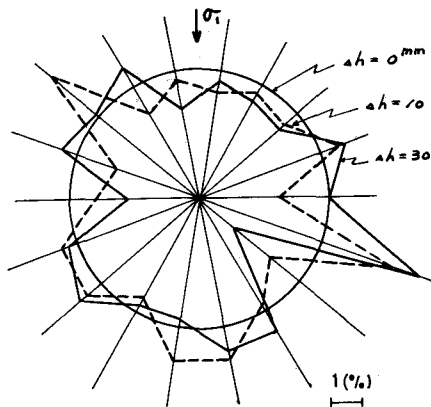
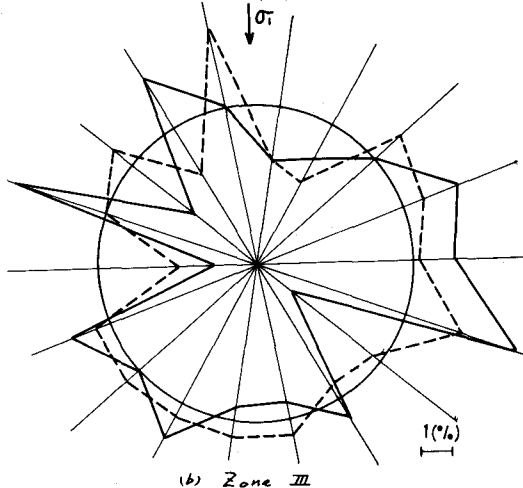


図-5 (a) 供試体全体



(b) Zone III

図-5. 粒子間接触角の度数分布の変化。