

粒状体のヒステリシス・ループに関する2, 3の考察

京都大学防災研究所 正員 村山 翔郎
 京都大学大学院 学生員 松岡 元
 国 鉄 正員 坂東 弘

粒状体が繰り返しセン断時に描くヒステリシス・ループの意味と微視的観点から粒子構造の変化に着目して説明しようとした。このため、実際の砂だけでなく粒状土の2次元モデルとして種々の径のアルミ棒の混合積層体を用いてセン断試験を行ない、セン断面上的粒子構造を評価する指標として「粒子接点角 θ の度数分布^{1), 2), 3)}」の概念を導入し、セン断方向が変化する場合の応力比 (σ_w) へヒズミ～ダイレタンシー特性として考察した。

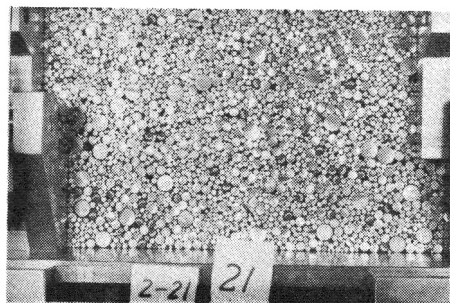


写真-1 アルミ棒積層体(φ1.6, 3, 5, 9mm)のセン断時の粒子構造

1. 両振り繰り返しセン断における θ の度数分布の変化

図-1は両振り繰り返しセン断のヒステリシス・ループとその各点における θ の度数分布形を模式的に示したものである。セン断前の①点では左右対称的な台形状の分布をなす場合が多い。ピーク強度時の②点では θ の正の領域にかたよった頂点をもつほぼ三角形の分布となる傾向がある^{2), 3)}。ピークを越えた③点になると、その頂点が中央の方に寄ってくる。もし③点からセン断方向を逆にしたとすると応力比 (σ_w) は直ちに0となる(④点)。しかし、この際粒子構造はあまり大きな変化をせず θ の度数分布形は③点と比べてほとんど変化しなくて、ただ、いままで作用していた粒子間力が減少したりあるいはその伝達方向を変えたりするのが光弾性材料の棒の積層体についての光弾性セン断試験より観察されている²⁾。さて、

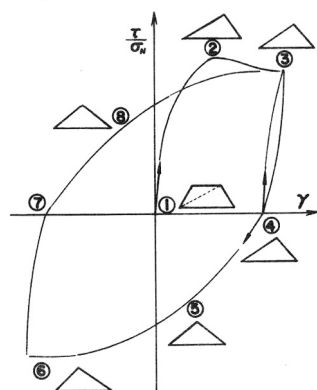


図-1 ヒステリシス・ループと θ の度数分布のモデル・パターン

図-1のようにヒステリシス・ループが原点に対してほぼ θ 点対称であることを思えば、③点の対称点⑥点での θ の度数分布はほぼ③点のものと $\theta=0^\circ$ に關して対称な形状になると考えられる。またそうであるとすれば、③点と⑥点の中間の⑤点や⑧点付近において左右対称的な θ の度数分布形が存在するものと想像される。

図-2～図-6はアルミ棒混合積層体(φ1.6, 3, 5, 9mm)についての両振り繰り返しセン断試験より、それぞれ①, ②, ③, ⑤, ⑥点に対応する点で実測した θ の度数分布である。これらの θ の度数分布形状は、ほぼ上述の傾向を示しているのが観察される。

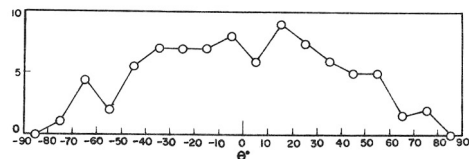


図-2 ①点(セン断前の初期状態)に対応する θ の度数分布の実測例

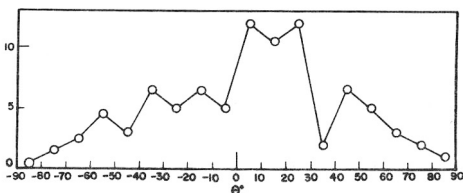


図-3 ②点(ピーク強度付近)に対応する θ の度数分布の実測例

2. ヒステリシス・ループの勾配について

図-1中に矢印で示されているヒステリシス・ループの①→②の勾配と④→③の勾配と④→⑤の勾配と比較すると、一般に④→③の勾配が最も大きく、④→⑤の勾配が最も小さく、①→②の勾配は中間の値となる。このうち特に、片振り繰り返しセン断の再載荷時の④→③の勾配が、向げき比がより大きくなっているにもかかわらず、初期の①→②の勾配より大きいことはよく議論されるところである。これらのことは σ の度数分布の概念を用いれば明快に説明できる。すなわち、図-1中に示されている①点と④点の σ の分布形状を比較すれば④点では σ の正の領域にかたよった分布形があるので、右方向のセン断に対しては左右対称形の①点の分布よりも抵抗に有利であり、少なくとも分布形がほとんど等しい③点でのセン断抵抗までは直ちに発揮することができると考えられる。(したがって、たとえ向げき比は大きくても④→③の勾配は①→②の勾配よりも立ってくる。しかしながら、④点において左方向のセン断を受けると、その分布形は①点の分布よりもさらに抵抗に不利であるため④→⑤の勾配は最も小さくなると解釈できる。このことは④点における粒子構造の方向⁴⁾を示すものとして興味深い。

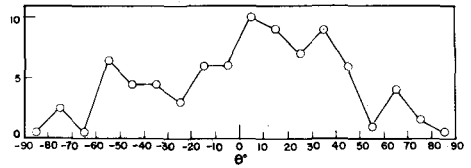


図-4 ③点に対応する σ の度数分布の実測例

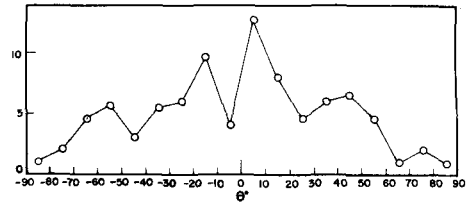


図-5 ⑤点に対応する σ の度数分布の実測例

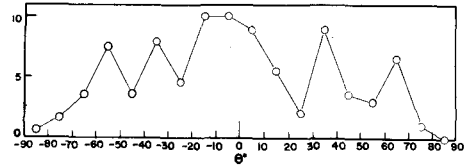


図-6 ④点に対応する σ の度数分布の実測例

3. 対称な σ の度数分布形と粒子間摩擦($\tan \delta$)

微視的な考察から、すでに発表したように σ の度数分布形が $\sigma=0^\circ$ に関して完全に対称な場合には、グイレタンシー～ヒズミ曲線の勾配($\Delta V/\Delta \gamma$)は0になり、セン断抵抗(τ/σ_n)は粒子間摩擦($\tan \delta$)に等しくなることが導ける。両振り繰り返し(セン断時には $\Delta V/\Delta \gamma=0$ となる点がよく現われるが、そのような点では試料が実際の砂であっても棒状モデルであっても例外なくほぼその材料の粒子間摩擦の値になることが実証されている(データ省略)。そこで、1.で述べた σ の度数分布の対称点⑤、①の位置をグイレタンシー～ヒズミ曲線の勾配($\Delta V/\Delta \gamma$)=0から逆に推定すると、一般に③点と④点の中点であるセン断ヒズミ $\gamma=0$ の点ではなく、少し手前(図-1の⑤、①点参照)であることがわかる。このことは、図-1のようなヒズミ振幅ではなく応力振幅を制御して両振り繰り返しセン断を行なえば、⑥点のヒズミまで与える前に所定の応力レベルに達し、その点と③点の中点が⑤点の位置になっているという実験事実より納得することができ。

以上のようなアプローチより通常のセン断試験結果から繰り返しセン断特性を予測する可能性も生じるものと思われる。

- 1) 村山翔郎・松岡元：粒状体のセン断現象の微視的考察 土木学会24回年次学術講演会Ⅲ-8 昭44.
- 2) 村山翔郎・松岡元：2次元モデルによる粒状体のセン断現象の微視的考察 京大防災研究所年報第13号B 昭45.
- 3) 村山翔郎・松岡元・坂東弘・前田憲一：粒状土の応力比～ヒズミ～グイレタンシー関係に関する微視的考察 土木学会関西支部年次学術講演会 昭45.