

III-26 粒状体のせん断時の体積変化について

長崎大学工学部 正員 落合英彦

九州大学工学部 正員 山内豊彦

1. はじめに 砂質土のような粒状体の力学的性質が他の工学材料に比べて著しく異なるのは、それが膨張性の材料であることである。そのための応力と体積変化の関係を知ることは、応力と軸とスミ関係と知ることに同等重要である。密な粒状体に外力を作用させるとその体積は膨張し、ゆるい粒状体は収縮するが、その時の体積変化は等方応力の变化によるものとせん断力の变化によるものから成る、と考える。せん断中にこれらの成分はそれぞれ独立に生ずることではなく、おたがいに関係する。したがってせん断の進行とともに変化して行くものである。それゆゑせん断のある段階において、これらの成分を独立に取り出すことは非常に困難であるため、ここでは全体を量について考えてみる。ところで粒状体をせん断した時、粒子の移動方向とすべり面との間には相異があると考えられ、このことが粒状体のせん断機構を調べるうえで重要なものとなる。またそのために応力と体積変化の関係を知らねばならない。本報では粒状体をせん断した時に生ずる体積変化のうち、体積が減少し、増加しはじめる点（以下体積増加点と呼ぶ）と破壊時の体積変化に着目し、初期密度、拘束圧力および主応力比との関係を数種類の粒状体について調べたことを報告する。

2. 試料 試験に用いた試料は通常の砂質土としての丸太砂、ケイ石を粉砕したケイ砂、表面をメッキしたスチールボール、表面を酸化したスチールボールであり、丸太砂とケイ砂の表面状態を顕微鏡下で観察するとケイ砂はきめが細かいものであり、丸太砂はきめが粗いものである。また試験は丸太砂のみ飽和状態とし、他は気乾状態（排水）で排水圧縮試験を行なったものである。

3. 体積増加点および破壊時の体積変化について 以下
 σ : 軸応力 σ_3 : 拘束圧力 ΔV : 体積変化量 V_0 : 初期体積とし、主応力比 $\sigma_1/\sigma_3 = m$ 体積とスミ $\Delta V/V_0 \times 100 = n$ と表し、 m_f, n_f は破壊時、 m_0, n_0 は体積増加点でのそれらを表すものとする。粒状体の排水せん断での体積変化性状を物理的にみて体積増加点、破壊時およびせん断が進み定常状態に落ち着いた時としようの3つに注目される。しかし一定応力、一定体積でせん断が進行する定常状態は通常の三軸装置では非常にゆるい状態を除いて、ほとんど現われないので、体積増加点と破壊時のみに着目して考えてみる。排水三軸圧縮試験で測定される体積変化はせん断応力の变化によるダイレイタンス起因する体積増加と平均主応力の变化による体積減少の代数的和であると考えられるので、ある程度の不正確さを含み得る。近似的に体積増加点よりダイレイタンスが起ると考えることにする。このことは体積増加点までは初期の圧縮過程

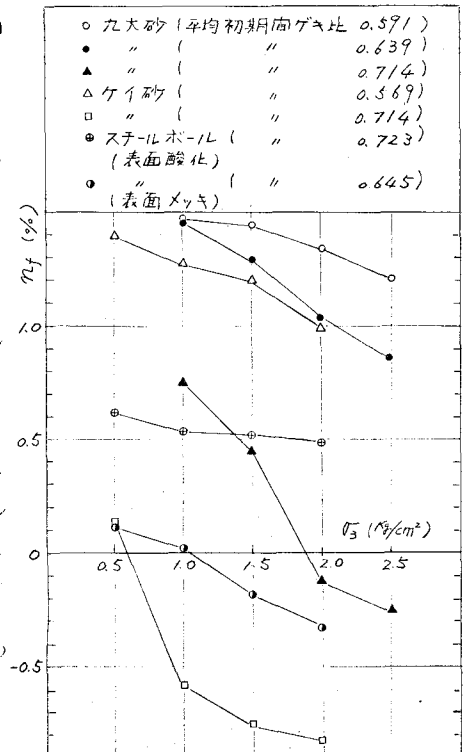


図-1. 破壊時の体積とスミと拘束圧力の関係

に相当し、体積増加後粒子同志の相対的移動が開始されると考えることと同等なものとなる。応力大別して言えば、この体積増加より砂質土の強度成分のうちダイレイタンシーに起因する成分が生ずると考えられる。

図-1は破壊時の m_j と n_j との関係と種々の粒状体について示したものである。(1)11か村の粒状体 n_j の増加とともに m_j が減少する(2)丸大砂、ケイ砂からわかるように初期密度が小さくなれば、同じ n_j に対して m_j が小さくなる(3)丸大砂とケイ砂、表面状態の異なるステールボールからわかるように粒子の表面状態によって m_j は異なり、粒子表面が粗になるほど同じ n_j に対して m_j が大きくなることかわかる。図-2は $m_j - n_0$ を n_j に対してプロットしたものである。 $m_j - n_0$ と n_j の量は前に述べたように破壊

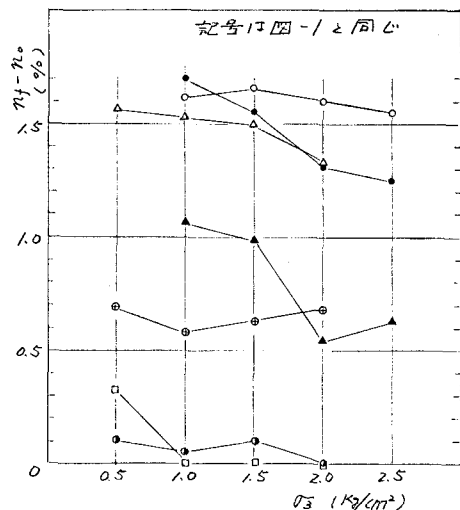


図-2. 体積増加より破壊時までの体積と n_j と拘束圧力の関係

時までのダイレイタンシーに起因する体積と n_j とを考えられ、同じ試料であれば、初期密度が小さくなれば、 $m_j - n_0$ は小さくなり、ゆえに状態になればほとんどゼロになる。またこの $m_j - n_0$ と n_j の量は粒子の表面状態によって異なることが丸大砂とケイ砂、表面状態の異なるステールボールの結果よりわかり、表面状態が粗になるほどその量は大きくなる。このダイレイタンシーに起因する体積と n_j とそれに対応する主応力比 $m_j - m_0$ との関係を示したものが図-3である。 $m_j - m_0$ と n_j の量は破壊時における砂質土の強度成分のうち、ダイレイタンシーに起因する成分と考えられるが、この量と $m_j - n_0$ が各試料と初期密度によらずほぼ同一の線上にほぼプロットされる。このことは体積増加から破壊時までの体積と n_j とそれに対応する主応力比がほぼ等しいということである。同じ試料であれば密度は同じ、また表面状態が粗になるほど $m_j - n_0$ は大きくなるが、ほぼそれと等しい量だけの $m_j - m_0$ の増加があり、Mohr-Coulombの現像より求めた ϕ が大きくなっていくことになる。

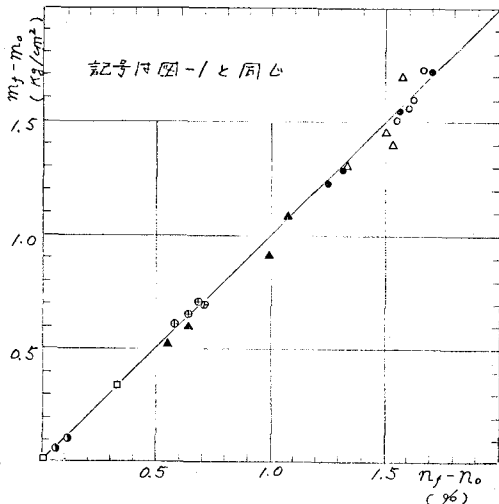


図-3. 体積増加より破壊時までの主応力比とそれに対応する体積と n_j との関係

4. おわりに 排水三軸圧縮試験での体積変化で、破壊時の体積と n_j 、体積増加より破壊時までの体積と n_j は初期密度、粒子の表面状態、拘束圧力等により異なるが、体積増加より破壊時までの体積と n_j とそれに対応する主応力比との間には図-3にみられるような種々の粒状体に対して簡単な関係がみられ、上に述べた種々の条件の相異による体積と n_j の差がそのまま主応力比 $m_j - m_0$ の差となつて現われていくことがわかった。この関係をまた破壊に至るまでの応力と体積変化の関係を知り、粒状体のせん断でみられるすべり面と粒子の移動方向との違いを正確に把握することと今後の課題である。