

III-275 非排水三軸圧縮試験における砂のダイレイタンスー特性

群馬大学 工学部 正会員 永瀬 英生
 群馬大学 大学院 池田 直樹

1. はじめに： 非排水状態で硬質の砂が静的なせん断力を受けると、非常に緩く詰められていない限り、一般に数%のひずみ領域において変形の増大と共にせん断力が急増する傾向が見られる。一方、低圧の下でも粒子破碎を起こす脆弱な砂の非排水せん断試験では、大ひずみ領域で応力-ひずみ曲線にピークが現れ、有効応力径路が反転する傾向が観察された⁽¹⁾。このような挙動の相違はせん断時に発揮される正のダイレイタンスー効果の有無によると考えられ、非排水せん断における砂のダイレイタンスー特性を解明することが重要となってくる。そこで本報告では、豊浦砂と風化花こう岩質まき土の非排水三軸圧縮試験を実施し、それぞれの試験における応力比-ダイレイタンスー関係⁽²⁾を調べ、ダイレイタンスー特性に及ぼす粒子破碎の影響を考察してみた。

2. 試料と実験方法： 実験に用いた風化花こう岩質まき土⁽³⁾ ($G_s=2.70$, $e_{max}=1.095$, $e_{min}=0.574$)は栃木県足利市の松田地区に分布するもの(松田まき土)であり、風化が進んでいるため破碎されやすい粒子からなる。一方、豊浦砂 ($G_s=2.64$, $e_{max}=0.977$, $e_{min}=0.605$)の方は、硬質であるため、実験で採用した応力レベル $0\sim 980\text{kN/m}^2$ の範囲では顕著な粒子破碎を生じない材料と考えた。

試験手順の概略は以下のとおりである。(1)空中落下法により、直径 7.5cm、高さ15cmの円柱供試体をセットする。(2) CO_2 と脱気水を用いて供試体を飽和させ、有効拘束圧 98kN/m^2 、背圧 196kN/m^2 の下で等方圧密する。(3) 8時間以上放置した後、毎分約0.12%のひずみ速度で非排水三軸圧縮試験を行う。なお、供試体端面は両端面にポーラスストーンを置く Legular endであり、供試体径とキャップ径ならびにベDESTAL径は一致させた。

3. 実験結果と考察： 図1と2は豊浦砂ならびに松田まき土の中密な試料に関する代表的な実験例を示したものである。図中には偏差応力比 q/p_0 、 q/p' および平均有効主応力比 p'/p_0 と軸ひずみ ϵ_a の関係がそれぞれ示してある。豊浦砂の結果では、軸ひずみ ϵ_a が1%を越えた付近から偏差応力比 q/p_0 は ϵ_a の増加に伴って急増し、平均有効主応力比 p'/p_0 もせん断初期には減少するが、その後は同様に急増している。しかし、松田まき土の場合、偏差応力比 q/p_0 と平均有効主応力比 p'/p_0 の軸ひずみ ϵ_a に対する変化は豊浦砂の結果に比べて非常に緩やかであり、 ϵ_a がおよそ25%に達する付近で q/p_0 と p'/p_0 はほぼピークに到達している。偏差応力比 q/p' と軸ひずみ ϵ_a の関係については、豊浦砂の場合、最終段階までの ϵ_a が小さく、松田まき土の結果では ϵ_a が10%を越えてから q/p' の減少が見られるものの、総じて双曲線で共に近似できそうである。以上の結果から、両者の偏差応力比 q/p_0 と軸ひずみ ϵ_a の

関係が大きく相違するのは、 q/p_0 の増加形態が平均有効主応力比 p'/p_0 あるいは負の過剰間隙水圧の増加傾向に大きく依存し、両者のダイレイタンスー特性が大きく異なるからであると考えられる。

非排水せん断における応力比-ダイレイタ

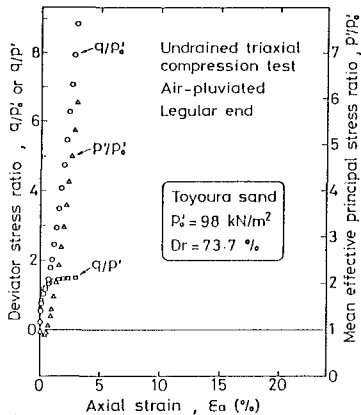


図1 豊浦砂の代表的な実験例

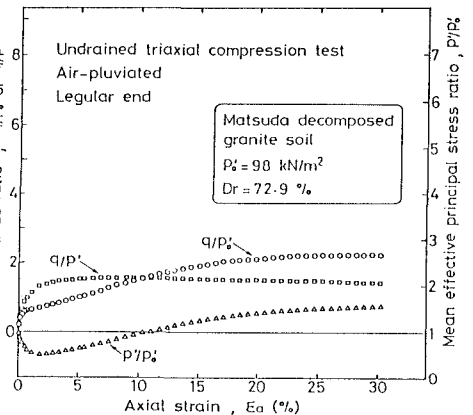


図2 松田まき土の代表的な実験例

ンシー関係は、以前中空ねじり試験による結果を用いて求められている⁽²⁾。ここではこの方法に準じて非排水三軸圧縮試験における応力比-ダイレイタンスー関係を調べてみた。図3にその関係の代表例を示している。用いたデータは図1と2に示したものである。 \dot{p}' と $\dot{\epsilon}_a$ はそれぞれ平均有効主応力増分と軸ひずみ増分を表す。図3によると、偏差応力比 q/p' とダイレイタンスーを表示する $D_{UT} = \dot{p}'/p' / \dot{\epsilon}_a$ の間には、せん断の初期および終わりの部分を除いて、比較的明瞭な直線関係が存在していることが分かる。また、2つのデータを比較してみると、松田まさ土の結果は豊浦砂の場合に比べて、ダイレイタンスーの最大値 $(D_{UT})_{max}$ は小さく、直線部分の傾きは大きくなっている。

図4と5は、相対密度 D_r を変えた数種の試験によるデータに基づいて求められた偏差応力比 q/p' とダイレイタンスー D_{UT} の関係の直線部分のみを描いたものである。図4には豊浦砂の結果を、図5には松田まさ土の結果を示している。また、矢印はダイレイタンスーが最大値 $(D_{UT})_{max}$ となる点を表す。図4から豊浦砂の場合、相対密度 D_r の増加に伴って、直線の傾きはあまり変化しないが、 $(D_{UT})_{max}$ の値は増加する傾向が認められる。松田まさ土の結果では、図5に示すように、相対密度 D_r の増加と共に直線の傾きは小さくなっているが、 $(D_{UT})_{max}$ の値はあまり変化しないようである。このような傾向の違いはせん断時に発生する粒子破碎の影響によるものと考えられる。

図6にはダイレイタンスーの最大値 $(D_{UT})_{max}$ を相対密度 D_r に対してプロットしてみた。相対密度 D_r の増加に伴い $(D_{UT})_{max}$ の値も共に増加しているが、豊浦砂の方が $(D_{UT})_{max}$ の値は大きく、 D_r に対するその増加率も大きくなっている。このような増加形態は繰返しせん断試験による液状化強度と相対密度の関係⁽³⁾にも見られることから、 $(D_{UT})_{max}$ の値が正のダイレイタンスー効果のある一面を表していると思われる。

4. まとめ： 豊浦砂と風化花こう岩質まさ土の非排水三軸圧縮試験における応力比-ダイレイタンスー関係を比較検討してみたところ、せん断による粒子破碎の影響でダイレイタンスーの最大値 $(D_{UT})_{max}$ と直線部分の傾きに大きな相違点が認められた。特に $(D_{UT})_{max}$ の値は正のダイレイタンスー効果を表すための指数として有効である。

5. 参考文献： (1)永瀬英生, 花井好機, 三沢伸吾(1987): "まさ土の三軸圧縮試験,"第2回土質工学会。(2)龍岡文夫, 軽部大蔵(1983):"土の構成式入門 4.力学挙動と経験式,"土と基礎, 8月号。(3)永瀬英生, 池田直樹, 久保田武実(1988): "破碎性粒状土の繰返し非排水三軸試験,"第23回土質工学会。

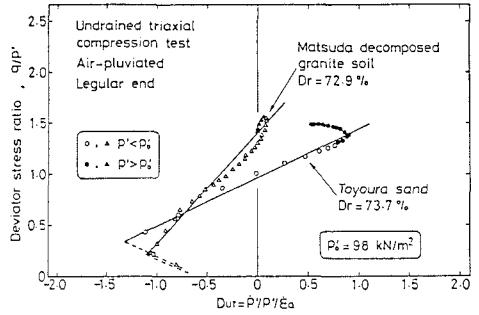


図3 応力比-ダイレイタンスー関係の代表例

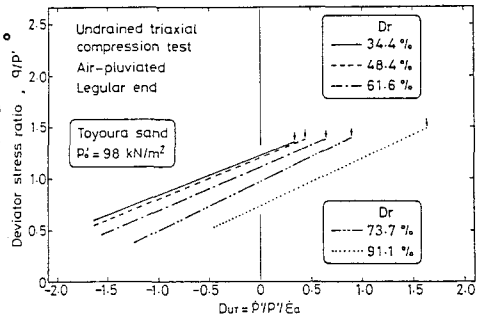


図4 応力比-ダイレイタンスー関係

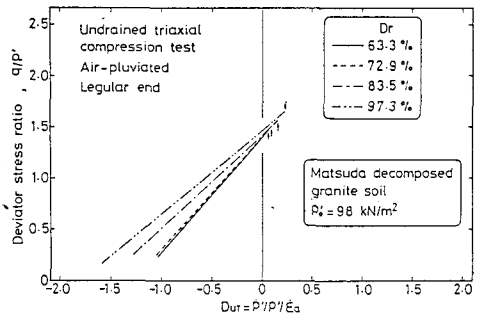


図5 応力比-ダイレイタンスー関係

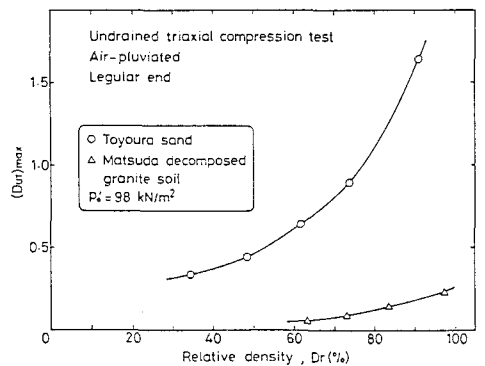


図6 ダイレイタンスーの最大値と相対密度