

初期構造異方性を有する砂の降伏特性

山口大学工学部 正会員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一
 大成建設（株） 正会員 山田泰弘
 山口大学大学院 学生員 ○下野段朋恵

1. はじめに

実地盤はその堆積過程などにより、初期に構造的な異方性を有している。また、応力履歴などの要因により複雑な応力状態にあり、盛土や掘削などの外力の作用によって主応力の大きさや主応力方向の変化を受けることが知られている。このような主応力方向の変化は、初期構造異方性を有する地盤においてその応力ひずみ挙動に無視できない影響を与えることが明らかとされている。また、地盤の変形挙動を予測する場合、有限要素法に代表されるような数値解析法を用いる場合が多くあるが、精度の良い予測を行うには、砂の挙動が弾性的であるか塑性的であるかを規定する降伏特性を詳細に把握することは重要である。本研究では、以上のことを踏まえ、主応力方向の違いが初期構造異方性を有する砂の応力ひずみ挙動に与える影響と、その降伏特性を明らかにすることを目的としている。

2. 試料および実験方法

用いた試料は秋穂砂である。実験は、中空ねじりせん断試験機を用いて行われた。概ね、高さ 20cm、内径 6cm、外径 10cm の中空円筒形供試体は、相対密度 $Dr=65\%$ を目標に空中落下法により作成した。本研究では、図-1 に示すように、供試体要素に作用する最大主応力方向を表すパラメーターとして、最大主応力方向 σ_1 と鉛直軸 z とのなす角、主応力方向角 α_0 を定義している。図 2(a)-(c) は、主応力方向固定

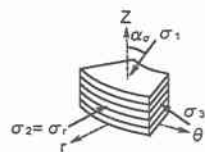


図-1 供試体要素

試験の応力経路を p - q 関係、 $\sigma_{z\theta} - (\sigma_z - \sigma_\theta)/2$ 関係に示したものである。圧密は、応力制御方式を用いて正規圧密と過圧密の 2 種類について行った。正規圧密は $p=30\text{kPa}$ から p_c まで等方的に行い (a 図)、過圧密は $p=30\text{kPa}$ から $p=200\text{kPa}$ まで等方的に圧密した後 $p=p_c$ まで除荷する (b 図)。その後のせん断は、平均主応力 $p=p_c$ 、中間主応力係数 $b=0.5$ および主応力方向角 α_0 をそれぞれ 15° , 45° , 75° に固定してひずみ制御方式で行う (c 図の原点より放射状に延びる経路)。

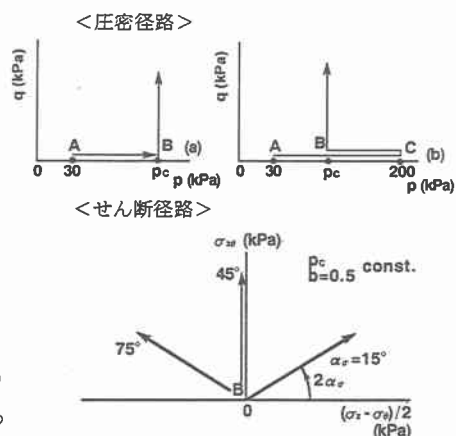


図-2 主応力方向固定試験の応力経路

3. 実験結果と考察

(1) 主応力方向の違いによる砂の応力ひずみ挙動

図 3(a), (b) はそれぞれ、正規圧密砂 ($OCR=1$) と過圧密砂 ($OCR=4$) の応力比 η -軸差ひずみ γ -体積ひずみ ϵ_v 関係を表したものである。図より、過圧密履歴の有無にかかわらず、 α_0 の増加に伴ってピーク応力比が減少し、膨張量が減少していることが確認できる。

また、 $OCR=1$ における応力比-体積ひずみ関係は、収縮から膨張挙動に移行しているものの、 $OCR=4$ ではほとんど収縮していないことがわかる。図 4 は、軸差ひずみ γ が 0.05%, 0.1%, 0.3%, 0.5%, 1.0% に達したときの応力状態を図示したものである。この平面において、もし材料が完全な等方性の材料であるならば、応力状態は原点を円の中心とする同心円上に広がることになる。つまり、円の中心と原点とのずれが異方性の度合いを示すことになる。いずれの円の中心も原点より正の方向にずれているものの、そのずれは、せん断ひずみの増加とともに大きくなっていることがわかる。また、過圧密比の違いに着目すると過圧密比が大き

なると、等軸差ひずみ曲線はより外側に広がり、同じ軸差ひずみに対応する応力レベルが高くなっていることがわかる。これは、過圧密履歴によって砂が硬化したことを示唆している。また、せん断が進みピークに近づくにつれて、その傾向は小さくなっていることが認められる。

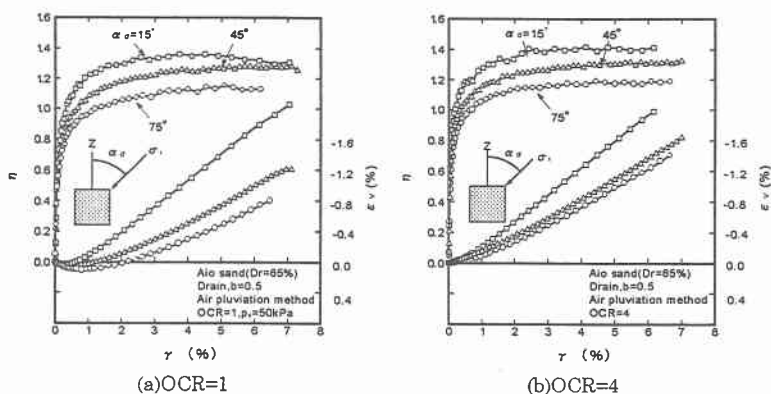


図-3 応力比-軸差ひずみ-体積ひずみ関係

(2) 初期構造異方性を有する砂の降伏特性

図5は、先に示した実験結果より得られた過圧密砂の応力比 η -軸差ひずみ γ 曲線とそれぞれの径路に対応する正規圧密砂の応力比-軸差ひずみ曲線を示したものである。ここで、正規圧密砂の応力比-軸差ひずみ曲線は、過圧密砂のそれとある応力比以上で重なり合うように横軸に沿って移動させて描いている。本研究では、このように正規圧密砂と過圧密砂の応力比-軸差ひずみ曲線を比較することにより、それぞれの応力径路における降伏応力を決定¹⁾している。具体的には、図に示すように応力比-軸差ひずみ曲線を2つの直線で近似し、その交点における角の二等分線と応力比-軸差ひずみ曲線との交点を降伏点としている。

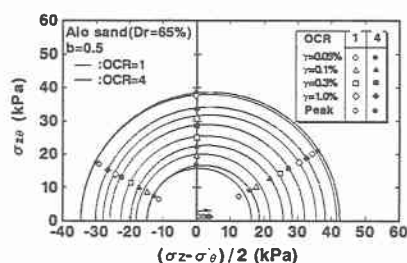


図-4 軸差応力空間における等軸差ひずみ曲線

図6は上述した方法により求めた降伏応力を p - q 平面にプロットし、それを基にして描いた降伏曲線を示したものである。図よりいずれの主応力方向における降伏曲線も、歪んだ楕円形を呈していることがわかる。

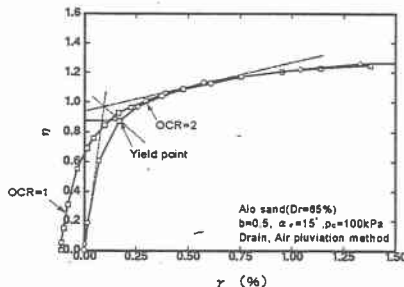


図-5 代表的な応力ひずみ関係と降伏応力

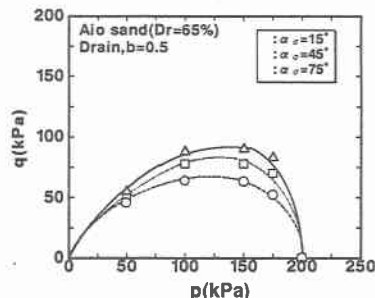


図-6 実験から得られた降伏曲線

また、その形状は、最大主応力方向が水平軸から鉛直軸に近づくにつれて(α_0 の減少とともに)、より外側に広がった形となっていること²⁾もわかる。

4. まとめ

- (1) 主応力方向の違いは初期構造異方性を有する砂の応力ひずみ挙動に影響を与え、等方的な圧密履歴によらず最大主応力方向が鉛直軸から水平軸に傾くにつれ強度が低下することが認められた。
- (2) 降伏曲面においても主応力方向の違いによる影響が見られ、その形状は、最大主応力方向が鉛直軸に近づくにつれより外側に広がり、歪んだ楕円形を呈することが明らかとなった。

<参考文献>1) 安福規之; 広範な応力域における異方圧密砂の降伏特性と弾塑性構成式に関する研究, 1993

2) Y. Tanaka; Anisotropic yielding behaviour of sand as studied by Acoustic Emission measurement; PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRE-FAILURE DEFORMATION CHARACTERISTICS OF GEOMATERIALS pp.1173-1174(1994)