

III-A 8

主応力方向回転下の砂の流動変形に及ぼす異方圧密の影響

清水建設（株） 正会員 吉村正芳
 山口大学工学部 正会員 中田幸男 村田秀一 兵動正幸
 山口大学大学院 学生員 板倉志保美

1. まえがき

著者ら¹⁾は、これまで構造的に異方性を有する中密な砂の主応力方向が回転する条件下における非排水挙動を主応力方向を固定した条件下におけるせん断挙動と関連づけて検討を行っている。その中で、流動変形は、Vaid ら²⁾により導入された限界有効応力比の概念を用いることで説明づけられることを明らかにしている。本報では、圧密履歴の違いが、主応力方向回転下における異方性砂の非排水変形挙動に与える影響について考察を行っていく。

2. 試料および実験方法

用いた試料は、豊浦標準砂である。実験は、自動制御・計測可能な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 $Dr=60\%$ を目標に空中落下法により作成した。飽和は、炭酸ガスの通気、脱気水の通水、および 200kPa の背圧を負荷することで行い、実験は、過剰間隙水圧係数 B 値が 0.96 以上のものに対して行った。本研究では、 σ_1 と鉛直軸 z とのなす角を主応力方向角 α_0 と定義している（図-1 参照）。試験の整理に用いた主な応力とひずみのパラメータは、平均有効主応力 $p' = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ 、軸差応力 $q = 1/\sqrt{2} \{(\sigma_1' - \sigma_2')^2 + (\sigma_2' - \sigma_3')^2 + (\sigma_3' - \sigma_1')^2\}^{0.5}$ 、軸差ひずみ $\gamma = \sqrt{2}/3 \{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2\}^{0.5}$ 、および応力比 $\eta = q/p'$ である。図-2 は、本研究で行った 4 種類の試験径路を示している。(a) 図は $q-p'$ 関係における圧密径路を、(b) 図は $\sigma_{z\theta} - (\sigma_z - \sigma_\theta)/2$ 関係における回転径路を示している。各試験の違いは圧密径路である。IR 試験の径路は、 $p'=100\text{kPa}$ まで等方圧密した後、 $\alpha_0=0^\circ$ 方向に $q=41.9\text{kPa}$ ($\phi'=14.0^\circ$) まで p' 一定でせん断を加える ((a) 図の A→B→D の径路)。A1 試験の径路は、 $p'=100\text{kPa}$ まで $\alpha_0=0^\circ$ 方向に $\eta_c=0.346$ ($\phi'=11.5^\circ$) 一定で異方圧密する (A→C の径路)。B1 および B2 試験の径路は、 $p'=100\text{kPa}$ まで $\alpha_0=90^\circ$ 方向に、それぞれ $\eta_c=0.346$ ($\phi'=11.5^\circ$) および $\eta_c=0.52$ ($\phi'=17.5^\circ$) 一定で異方圧密する (A→C および A→E の径路)。続く主応力方向の回転は、圧密終了時の q を一定に保ったまま非排水状態で α_0 のみ連続的に回転させる ((b) 図参照)。回転中の q の大きさは、IR 試験が 41.9kPa、A1 および B1 試験が 34.6kPa、B2 試験が 52.0kPa となっている。なお、回転中は、常に平均主応力（全応力） $p=100\text{kPa}$ 一定、中間主応力係数 $b=0.5$ 一定で行っている。試験は全て応力制御方式で行われ、1step の回転角は 2.5° とし、また、 α_0 で 180° の変化を回転 1 周としている。

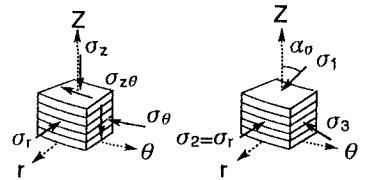
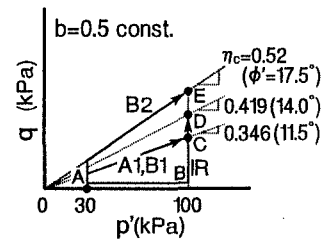
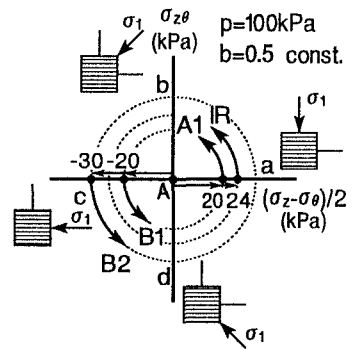


図-1 供試体要素と主応力方向角



(a) 圧密径路



(b) 回転径路

図-2 試験径路

3. 実験結果と考察

図-3(a)(b)は、主応力方向回転試験で得られた有効応力径路を示し

ている。(a)図は $q-p'$ 関係、(b)図は $\eta-\alpha_\sigma$ 関係を示している。

図中には、主応力方向固定試験¹⁾より得られる限界有効応力比(CSR)、変相線応力比(PT)およびピーク時の応力比の取り得る範囲をそれぞれ実線、点線および破線で示している。これらの図から次のことが認められる。(1) CSRが存在する範囲は限定されており、概ね $\alpha_\sigma=30^\circ$ から $\alpha_\sigma=150^\circ$ の間にある。

(2) いずれの試験においても主応力方向の回転に伴い過剰間隙水圧が発生し、有効応力が変化している。特に、 $\alpha_\sigma=0^\circ$ より回転を開始したIR試験(●)およびA1試験(○)、 $\alpha_\sigma=90^\circ$ より回転を開始したB2試験(■)の η は、CSRに達すると不連続な急増を示し、概ね、PT線付近まで瞬時に到達している。この η の不連続な急増は、Shibuya and Hight³⁾によって示されたものと同様に、主応力方向回転下における流動変形と捉えられる。つまり、主応力方向回転中の流動変形は、圧密径路によらずCSR線を引き金に生じることがわかる。(3) $\alpha_\sigma=90^\circ$ より回転を開始したB1試験(△)とB2試験について見ていると、B2試験は上述したように流動変形を示すものの、 q のより小さいB1試験は、流動変形を示していないことがわかる。これまでの実験結果では、むしろ、主応力方向の回転中の q が小さい試験は、流動変形を生じやすいという結果を得ている。このことは、主応力方向回転中の流動変形の発生は、 q の大きさだけでなく、初期の主応力方向についても検討する必要があることを示唆している。

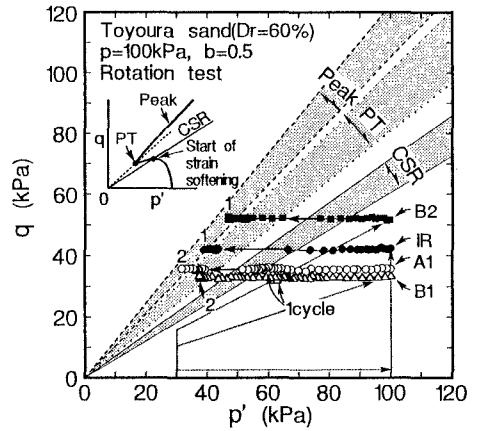
図-5は、ひずみの生じ方を $\gamma-\alpha_\sigma$ 関係に示したものである。IR試験、A1試験およびB2試験の γ は、それぞれ回転1周目の $\alpha_\sigma=90^\circ$ 付近、回転2周目の $\alpha_\sigma=55^\circ$ 付近および回転1周目の $\alpha_\sigma=120^\circ$ 付近で流動変形に伴い数%の不連続な急増を示している。一方、B1試験では、不連続な変形を示さず、 γ は、 η がPT線に達する回転2周目の $\alpha_\sigma=30^\circ$ 付近より急増しその後、連続的に増加していく様子が認められる。

4. あとがき

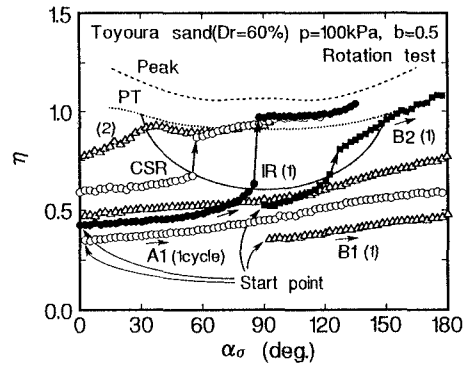
本報では、構造的な異方性を有する砂の主応力方向回転下の非排水変形挙動を圧密履歴の違いに着目して検討を行った。その結果、主応力方向の回転により過剰間隙水圧や軸差ひずみが生じること、また、回転中に生じる流動変形は、圧密径路によらず、応力比が限界有効応力比に一致した時を引き金として生じることが明らかにされた。

<参考文献>

- 1) Yasufuku, N., Nakata, Y. and Murata, H. (1995): "Flow deformation of sand under σ_1 -axis rotation," Proc. of the 10th Asian Regional Conf. on SMFE, Vol. 1, pp. 115-118
- 2) Vaid, Y.P. and Chern, J.C. (1985): "Cyclic and Monotonic Undrained Response of Saturated Sands" Advances in the Arts of Testing Soils under Cyclic Conditions, ASCE, Convention, Detroit, pp. 120-147
- 3) Shibuya, S. and Hight, D.W. (1987): "A bounding surface for granular materials" Soils and Foundations Vol. 27, No. 4, pp. 123-136



(a) $q-p'$ 関係



(b) $\eta-\alpha_\sigma$ 関係

図-3 主応力方向回転試験の有効応力径路

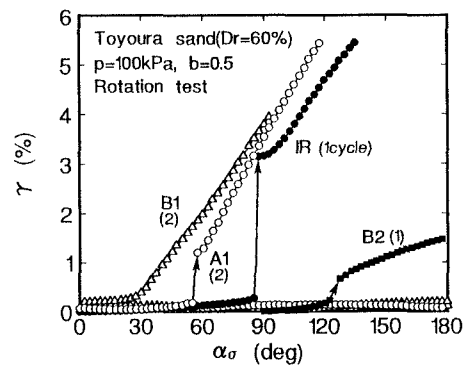


図-4 $\gamma-\alpha_\sigma$ 関係