

一般応力状態における砂の流動変形

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

1. まえがき

著者はこれまでに、主応力方向回転下における砂の非排水変形挙動を把握するために、中空ねじりせん断試験装置を用いて一連の実験的検討を行ってきた¹⁾³⁾。その結果、主応力方向のみが回転する場合でも、供試体の密度に依存して流動変形を起こすことが、Shibuyaら⁴⁾同様明らかとなった。また、その流動変形を起こし始める応力点は、別途実施した主応力方向を固定した条件下でのせん断試験から求められる限界有効応力比とほぼ一致することが明らかとなった。この限界有効応力比は、非排水せん断挙動においてひずみ軟化を生じ始める応力比によって特徴づけられ⁵⁾、すでに、繰返しせん断中の流動変形の発生に関連していることが明らかにされている^{5),6)}。本報は、あらゆる載荷条件下における流動変形の発生と密接な関係があるといえる限界有効応力比(CSR)の存在を、主応力方向に着目して議論するものである。

2. CSRの存在を確認するための実験方法

実験に用いた試験機は自動制御・計測可能な中空ねじりせん断試験機であり、用いた供試体は、高さ20cm、外径10cm、内径6cmの中空円筒形のものである。供試体の作成は、気乾状態の豊浦砂を所定の密度になるように空中落下法を用いて行った。圧密は、100kPaまで等方的に平均有効主応力を増加させることで行った。非排水せん断は、一定速度のねじり変形を連続的に与えながら、全応力の平均主応力 $p = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 = 100\text{kPa}$ 一定、中間主応力係数 $b = (\sigma_2 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3) = 0.5$ 一定で、所定の主応力方向角 α_σ (鉛直軸と最大主応力方向のなす角)を保つように行っている。この主応力方向に着目した実験は、他の研究機関においても実施され^{4),7),8)}、結果として同様の傾向を示すことが確認されている。

3. CSRの存在する密度と主応力方向

図-1は、 $\alpha_\sigma = 45^\circ$ の条件下における相対密度 $Dr=30, 60, 90\%$ の非排水せん断挙動を示したもので、図(a)は有効応力径路を、図(b)は軸差応力 q と軸差ひずみ γ の関係を示したものである。これらの図から、 $Dr=90\%$ は非流動型の挙動を、 60% は γ にして1%程度の限定流動型の挙動を、 30% は最終的に有効拘束圧が0付近まで減少する流動型の挙動を示していることが、従来の研究結果(例えばIshihara⁹⁾)と同様にわかる。また、 60% および 30% の結

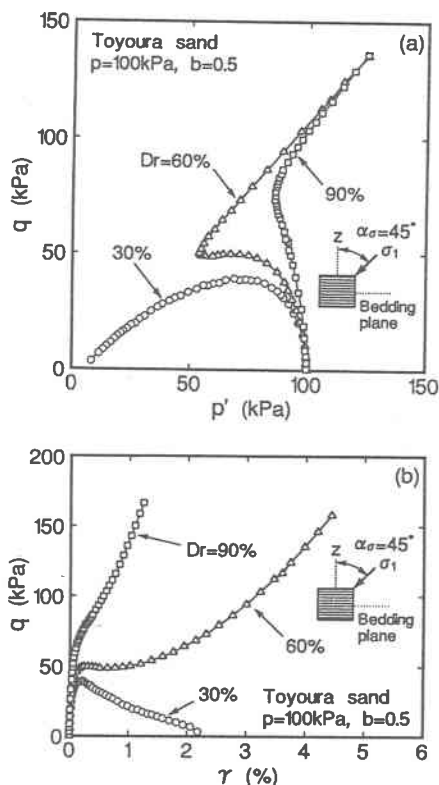


図-1 $Dr=30, 60, 90\%$ の非排水せん断挙動；
 (a) $p'-q$ 関係, (b) $q-\gamma$ 関係

果には、CSR が存在することがわかる。その CSR において発揮される内部摩擦角 ϕ'_{CSR} と Dr の関係を示したものが、図-2 である。図(a), (b), (c) はおのおの $\alpha_\sigma = 15^\circ$, 45° , 75° の結果について示したものであり、図中には、変相状態およびピーク時の内部摩擦角 (ϕ'_{PT} , ϕ'_P) も示している。この図から、 ϕ'_{CSR} が存在する境界の Dr は α_σ によって異なることがわかる。また、その境界の Dr は、 α_σ が 15° から 75° に増加することで、35%付近から 70%付近まで増加していることがわかる。図-3 は、 ϕ'_{CSR} の有無を α_σ と Dr の関係に整理したもので、存在する場合を黒塗りの、そうでない場合を白抜きのプロットで示し、 ϕ'_{CSR} の存在する境界 (B-B') を破線で示したものである。図中のハッチは、 ϕ'_{CSR} の存在する領域を限定流動型と流動型の変形を示す領域に区分するものである。B-B' 線が下に凸の曲線を示すことから、①主応力方向角が 90° に近い (本実験に用いた供試体では主応力の方向と堆積面とが一致する) 応力条件の方が流動変形を起こしやすいこと、②いずれの α_σ においても緩詰め供試体の方が流動型の変形を起こしやすいこと、③主応力方向の回転によって、概ね $Dr=70\%$ 以上では非流動型の変形を、50%から 70%では限定流動型、50%以下では流動型の変形を示す場合があることなどが見て取れる。

4. あとがき

本報では、砂の流動変形に密接な関係のある限界有効応力比の存在を主応力の方向に着目して実験的に明らかにした。その結果、初期構造異方性を有する砂について流動変形を議論する場合には、主応力の方向やその変化は無視できない要因であることが明らかとなった。

<参考文献>

- 1) Yasufuku, N. et al, 10ARC, pp.115-118, 1995. 2) 吉村他, 第 31 回地盤工学研究発表会講演概要集. 3) 中田他, 第 31 回地盤工学研究発表会講演概要集. 4) Shibuya, S. and Hight, D.W., S&F, Vol.27, No.1, pp.59-81, 1987. 5) Vaid, V.P. and Chern, J.C., ASCE, Convention, Detroit, p.120-147, 1985. 6) Hyodo, M. et al, S&F, Vol.34, No.1, 17-30, 1994. 7) 佐藤他, 第 28 回土質工学研究発表会講演概要集, pp.565-566, 1993. 8) 吉嶺他, 第 30 回土質工学研究発表会講演概要集, pp.501-504, 1995. 9) Ishihara, K. Geotechnique, Vol.43, No.3, 351-415, 1993.

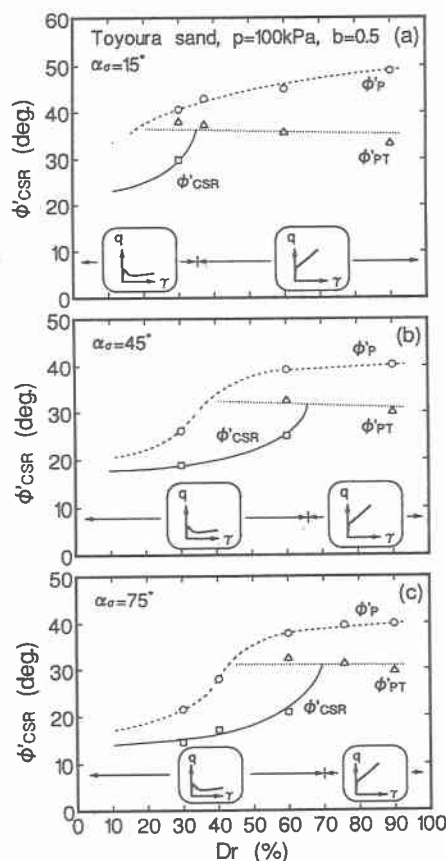


図-2 $\phi'_{CSR} - Dr$ 関係; (a) $\alpha_\sigma = 15^\circ$, (b) $\alpha_\sigma = 45^\circ$, (c) $\alpha_\sigma = 75^\circ$

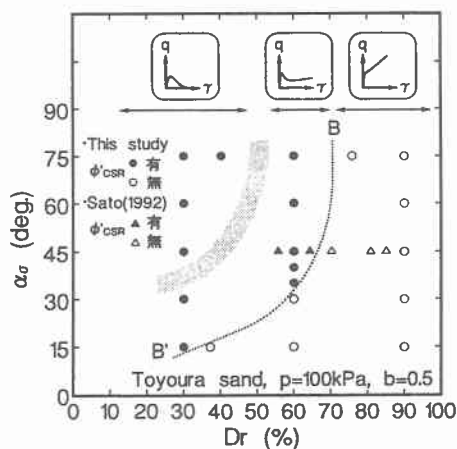


図-3 ϕ'_{CSR} の存在する $\alpha_\sigma - Dr$ 関係