

III-184 繰返し応力を受ける正規圧密粘土の限界状態

九州大学 工学部 正〇梅崎健夫 正 落合英俊
正 林 重徳 学 村上 哲

1. はじめに

土の応力・ひずみ関係を予測するためには、破壊規準もしくは限界状態¹⁾を把握することが重要である。

本文は、一定の繰返し応力が作用する場合の正規圧密粘土の限界状態を明確にするために、偏差応力一定の非排水繰返し三軸試験および過圧密比の異なる供試体の単調載荷試験(CU試験)を実施したものである。

2. 試験概要

試料は有明粘土($G_s=2.627$, $W_L=98\%$, $I_p=54$)であり、鉛直応力 0.5 kgf/cm^2 で約1ヶ月間一次的に予圧密した。繰返し三軸試験は、供試体($D=5\text{ cm}$, $H=10\text{ cm}$)を24時間等方圧密した後、非排水状態で一定の偏差応力を載荷周期 $T=50\text{ sec}$ の片振り正弦波として載荷した。単調載荷試験(CU試験)は過圧密比 $OCR=1, 3.5, 10.6, 14$ の供試体をひずみ制御($\dot{\epsilon}=0.07\%/min$)で圧縮した。なお、試験中にはバックプレッシャー 2.0 kgf/cm^2 を負荷し、圧密は周面排水で、間隙水圧の測定は周面と供試体底面中心で実施した。

3. 繰返し三軸試験における間隙水圧

繰返し三軸試験の載荷時において生じる間隙水圧(u_q)は、次のように表される。

$$u_q = u_q + u_p + u_x \quad (1)$$

ここで、 u_q および u_p はそれぞれ繰返し応力の偏差応力成分($\Delta q = \Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3$)および等方応力成分($\Delta p = 1/3(\Delta \sigma_1 + 2\Delta \sigma_3)$)により生じる間隙水圧であり、 u_x はその他の要因により生じる間隙水圧である。

図-1に24時間等方圧密した後の非排水状態での間隙水圧の経時変化を示す。なお、横軸は、経過時間(t)を載荷周期($T=50\text{ sec}$)で除して、

繰返し回数(N^*)に換算したものである。3t法により求めた圧密打ち切り時間は約14時間であり、24時間後には完全に間隙水圧は消散している。しかしながら、非排水状態において間隙水圧は経過時間とともに圧密圧力(p_0)の2割程度の値まで増加し収束する。この間隙水圧は等方応力による二次圧密(本試料の二次圧密係数 $C_\alpha=0.03$)の間隙水圧への転換に起因するもので、 u_x の主要な要因であると考えられる。すなわち、砂質土では $u_x \approx 0$ であり、 u_x は粘性土の材料特性と捉えられる。

試験結果の整理において u_x の取扱いが重要な問題である。供試体に作用する有効応力は全応力より u_q を差し引いたものであり、このときの変形は有効応力に支配される。したがって、限界状態を求める際の間隙水圧には u_q をそのまま用いた。また、この現象は、繰返し載荷試験に限らず、長期載荷試験において問題となる。Arulanandanら²⁾は非排水クリープ試験において同様の考察を行っている。

4. 限界状態線

4.1 静的応力による限界状態線

図-2は、単調載荷試験(CU試験)により、静的応力による限界状態線(CSL)およびHvorslevの破壊規準線を求めたものである。限界状態線の傾きは $M=1.64$ であり、Hvorslev線の傾きは $M_{oc}=1.48$ 、縦軸切片C点(0, 0.10)、横軸切片D点(-0.06, 0)である。

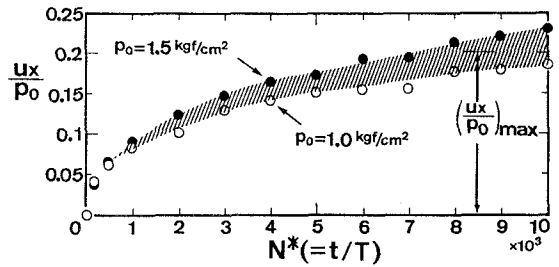


図-1 等方圧密後の非排水状態での間隙水圧の変化

4.2 繰返し応力による限界状態線

図-3は、繰返し三軸試験における応力比（ $\eta' = q/(p-u_0)$ ）とせん断ひずみ（ $\gamma = 2/3(\epsilon_1 - \epsilon_3)$ ）の関係の一例を示したものである。 η' がほぼ一定（間隙水圧の増分がほぼゼロ）の状態では γ が増加する状態を繰返し応力による限界状態と定義する。

図-4は、限界状態に達したときの応力状態を示したものである。実験値は、圧密圧力、繰返し応力および載荷回数に依らず、B点とD*点を結ぶ線上に存在する。この限界状態線の傾きは $M^*=1.19$ であり、縦軸切片C*点（0, 0.24）、横軸切片D*点（-0.2, 0）である。したがって、繰返し応力による限界状態線は、静的応力による限界状態線やHvorslev-線よりも、いわゆる“Dry side”¹⁾に位置する。ただし、B点の偏差応力 $q/p_e = 0.87$ より大きな偏差応力が作用した場合には、静的応力による限界状態線に直ちに至ると考えられる。また、B点の偏差応力よりかなり小さな偏差応力が作用した場合には、クリープ試験と同様に、数千回以上の載荷回数においても静的、繰返し応力のいずれの限界状態線にも達しないと考えられる³⁾。ここで、D*点の等方成分 $p/p_e = -0.2$ は図-1に示した u_x/p_e の値と等しく、 u_x/p_e は粘性土の材料特性と考えれば、繰返し応力による正規圧密粘土の限界状態線は、単調載荷試験と等方圧密後の非排水状態での間隙水圧の挙動から予測できることが示唆される。

5. まとめ

主な結論は次のようである。

- ①圧密後の非排水状態において、時間とともに増加する間隙水圧は粘性土の二次圧密に起因する材料特性と考えられる。
- ②繰返し応力による限界状態線は、静的応力による限界状態線やHvorslev-線よりも、“Dry side”に位置する。
- ③繰返し応力による正規圧密粘土の限界状態線は、単調載荷試験と等方圧密後の非排水状態での間隙水圧の挙動から予測できることが示唆される。

謝辞：実験および結果の整理には本学大学院修士（現 大成建設）吉川幸夫君にご助力頂いた。付記して感謝の意を表します。

【参考文献】1)Roscoe et al.:Engineering plasticity, pp.535-609, 1968. 2)Arulanandan et al.:Geotechnique 21, No.4, pp.359-357, 1971. 3)Hyde et al.:Geotechnique 35, No.2, pp.113-125, 1985.

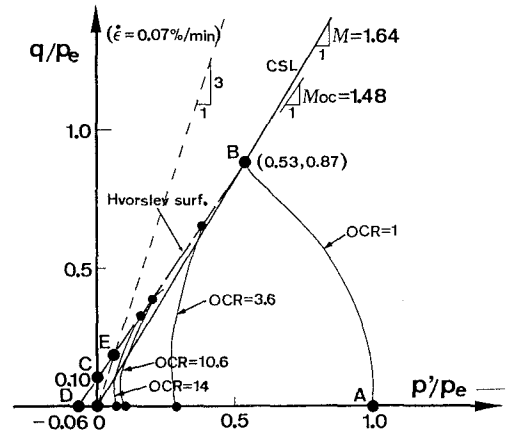


図-2 静的応力による限界状態線

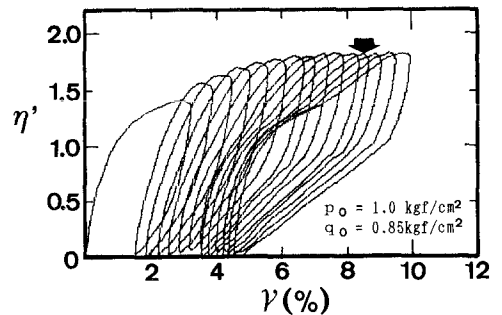


図-3 応力比・せん断ひずみ関係

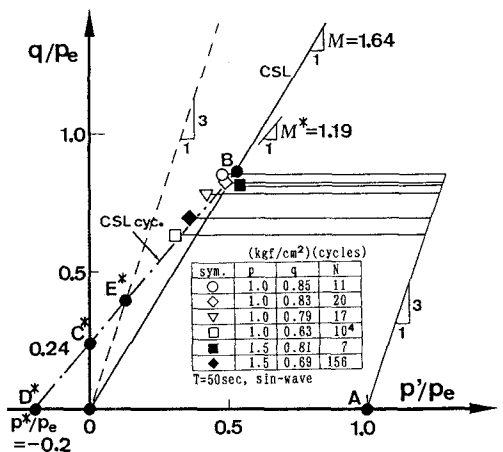


図-4 繰返し応力による限界状態線