

九州大学工学部 ○ 荻内 勝彦
同 山内 豊聡

1 まえがき 連続的繰返し荷重を受ける道路、滑走路、機械基礎の応力とひずみの関係を求めるために立方体三軸試験を行った。土の変形は、応力依存性の非線形変形挙動、中向主応力の影響、応力経路、繰返し回数などの応力履歴の影響を受け、一般的応力状態における土の構成則を立てることは容易ではないが、筆者らは応力・ひずみ関係式を実験的に求めるアプローチを従来から試みている。ここでは、砂質土の繰返し三軸応力状態における体積変化とせん断変形について報告する。

2 実験条件 試験装置については、他に詳しく述べてあるが、三主応力を独立に制御できる (σ_1 と σ_3) 立方体試体 (各辺長 10 cm) 三軸圧縮試験機で、実験は載荷: 除荷 = 0.5 : 0.5 sec の矩形波載荷を行った。中向主応力状態は、Nadai-Lode stress parameter; $\zeta = (2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ によって、 $\zeta = -1$ (圧縮) と $\zeta = +1$ (伸張) の範囲で表わされる。実験を行った応力範囲は図-1に示す。繰返し応力経路は、応力ゼロから図中の各点までの直線的経路である。各点について、中向主応力パラメータ $\zeta = -1, -1/2, 0, +1/2, +1$ と変えて実験を実施した。三主ひずみ $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ (回復, 非回復の両者) を測定し、結果の整理は八面体垂直ひずみ ε_{oct} とせん断ひずみ γ_{oct} で示した。実験に用いた試料は、砂:シルト:粘土 (= 40:35:25 % 乾燥重量割合) の混合土で、等方等質試体を作成するために静的フローティングモールドコンパクションによって締固めた。締固め条件は $\rho_s = 2.06 \text{ g/cm}^3$, $w = 9\%$, $S_r = 85\%$ とした。

3 実験結果 繰返し応力下のピークひずみと累積塑性ひずみを、体積変化 ε_{oct} とせん断変形 γ_{oct} に分けて例示したのが図-2, 3 である ($\sigma_{oct} = 294$, $\tau_{oct} = 206 \text{ kPa}$)。いずれも、中向主応力の影響がでている。体積変化をみると、 $\zeta = -1, -1/2$ の場合は、回数の増加と共に体積は圧縮されるが、 $\zeta = 0, +1/2, +1$ をみると、ある回数を過ぎて、体積は膨張傾向に転ずることがわかる。ただし、載荷時には常に体積変化は圧縮側になっている。一方、せん断変形と

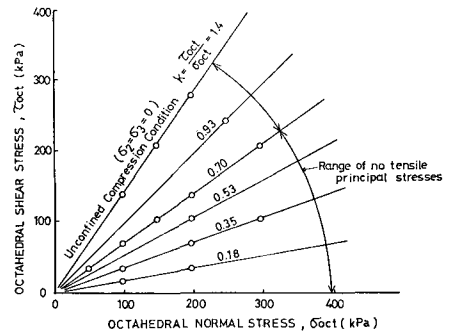


図-1 実験に用いた繰返し応力条件

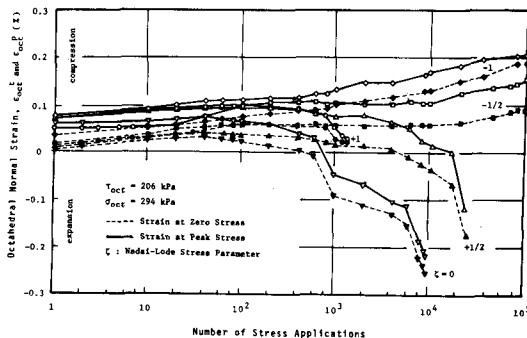


図-2 繰返し回数と体積変化の関係

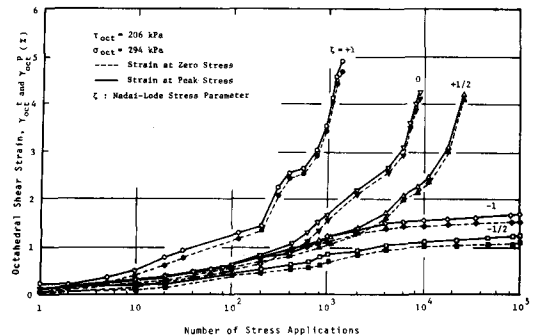


図-3 繰返し回数とせん断変形の関係

みると、ダイレイタンシーを生ずる場合には、せん断変形が急速に増大してせん断破壊に到達する。ピーク時と降荷時のひずみの差が回復ひずみであるが、回復体積ひずみは、回復せん断ひずみに比べて、累積塑性ひずみに対する割合が大きい。すなわち、体積変形挙動においては塑性ひずみだけでなく回復ひずみの役割も大きいといえる。図-4は累積塑性ひずみ ϵ_{oct}^p ~ γ_{oct}^p の回数の増加による関係について示したものである。

図-4(a)は、 $\sigma_{oct} = 294$, $\tau_{oct} = 206$ kPaの場合(図-3の応力状態に同じ)を示している。 $\zeta = 0, -1$ をみると上述のダイレイタンシーとせん断変形の進行関係がよく分かる。図-4(b)は一軸圧縮状態($\lambda = 1.4$)の場合であるが、軸応力が高くなるとダイレイタンシー傾向が顕著であり、せん断破壊に至る回数も小さい。各々異なる試験において同一の回数毎の、せん断応力と体積変化の関係(等回数応力・ひずみ関係)を示したのが図-5(a) ($\lambda = 0.5$ の場合)である。回数の増大につれて

せん断応力とせん断ひずみの関係曲線は変化するが、せん断応力とダイレイタンシー曲線(下図)をみると、いずれも、あるせん断応力をこえて増大するにつれて、体積変化は収縮から膨脹に転ずる傾向があり、静的せん断試験の一般的結果と類似している。ただし、回数が増加すればダイレイタンシー曲線は異なり、収縮→膨脹に転ずる点も、せん断ひずみと圧縮ひずみが大きな方に移行する。図-5(b)は一軸圧縮の場合であり、せん断応力ひずみ曲線にバラツキが見られるものの、応力比 $\lambda = 1.4$ が(a)図に比べて高いために、回数は小さいうちにダイレイタンシーはかなり大きく進行することが分かる。

4 まとめ

以上の実験結果から得られた要点をまとめると、

- 1) ある回数におけるせん断応力~ダイレイタンシー関係は、せん断応力の増大にともない、収縮から膨脹に転じ、静的せん断試験によるダイレイタンシー曲線に類似している。ただし繰返し回数によってその移行状況は異なる。
- 2) 繰返し応力下の、砂質土のダイレイタンシーは、せん断応力量、繰返し回数 N 、中間主応力、応力比 λ の影響を受ける。

謝辞 : この実験にあたって、
懇切なる御指導を下さった Dr. B.

Shackelに謝意を表します。

参考文献

1) 巻内・山内 (1978) : 繰返し三主応力を受ける砂質粘土の応力・ひずみ関係, 第13回土質工学研究発表会, pp. 353-356.

2) Makiuchi, K. & Shackel, B. : Soil Characterisation Using a Repeated Loading Cubical Triaxial Apparatus, Proc. 8th Australian Road Research Board Conf. 1976.

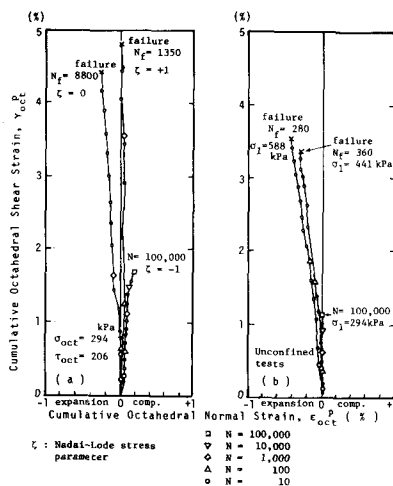
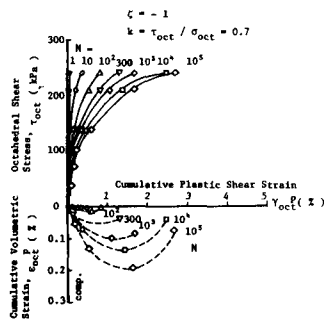
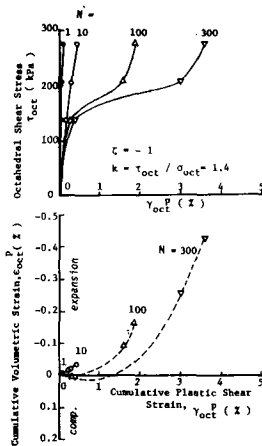


図-4 累積塑性体積~せん断ひずみの繰返し回数による進行状況



(a)



(b)

図-5 せん断応力・ひずみ・ダイレイタンシー曲線