

III-132

各種応力履歴を受けた砂の変形特性に関する実験的考察

名古屋工業大学大学院 学生員 ○藤井 次郎
名古屋工業大学 正員 中井 照夫
名古屋工業大学大学院 学生員 都築 顕司

砂の静的な弾塑性構成モデルを大別すると、圧密(平均応力の変化)による変形とせん断(応力比の変化)による変形を一まとめにして考えるモデル(例えばCambridge model¹⁾や t_{ij} -sand model²⁾と圧密およびせん断による変形を独立に考え重ね合わせるモデル(例えばdouble hardening model³⁾)となるが、これらのモデルは主に応力履歴のない砂への適用モデルである。一方、応力履歴を考えたモデルも開発されているが、それらの多くはせん断時の繰返し載荷だけを対象にしたものや過圧密砂を対象にしたものである。したがって本報告では、より一般的な土の変形挙動を知るため、せん断および圧密履歴が砂の変形挙動におよぼす影響について実験的に検討する。

1. 実験方法および実験の応力経路

パーソナルコンピューターおよび空気圧制御機器を組み合わせ試作した自動制御・計測型三軸試験装置(応力およびひずみの両制御が可能)を用いて飽和した豊浦砂($e_0 \approx 0.68$)の三軸圧縮および伸張試験を種々の応力経路下で行っている。図-1に応力経路を σ_a (軸圧)~ σ_r (側圧)関係で示しているが、記号Oは $R \equiv \sigma_1/\sigma_3 = 1$ の状態をNは $R=4$ の三軸圧縮状態を、 N' は $R=4$ の三軸伸張状態を表わしている。また、サフィックスは kgf/cm^2 の単位で表わした平均主応力 σ_m の大きさを意味している(例えば、 N_4 は $R=4$ 、 $\sigma_m=4 \text{ kgf/cm}^2$ の三軸圧縮状態を表わす)。実験はすべて O_1 を始点とし表-1に示すように圧縮側で8ケース、伸張側で4ケース行っている。

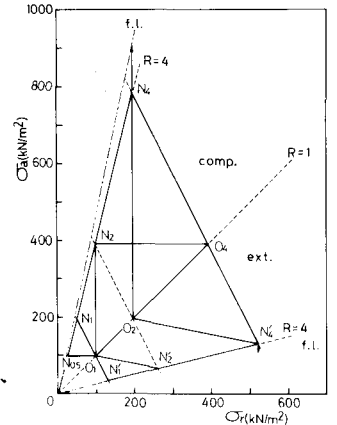


図-1 応力経路図

表-1 試験の種類

Test. No.	Stress path
C1	$O_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_4 \rightarrow O_2 \rightarrow O_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_4 \rightarrow f.l.$
C2	$O_1 \rightarrow O_2 \rightarrow N_4 \rightarrow N_2 \rightarrow O_1 \rightarrow O_2 \rightarrow N_4 \rightarrow f.l.$
C3	$O_1 \rightarrow N_1 \rightarrow N_4 \rightarrow O_4 \rightarrow O_1 \rightarrow N_1 \rightarrow N_4 \rightarrow O_4 \rightarrow O_1$
C4	$O_1 \rightarrow O_4 \rightarrow N_4 \rightarrow N_1 \rightarrow O_1 \rightarrow O_4 \rightarrow N_4 \rightarrow f.l.$
C5	$O_1 \rightarrow N_{0.5} \rightarrow N_2 \rightarrow O_4 \rightarrow O_1 \rightarrow N_{0.5} \rightarrow N_2 \rightarrow f.l.$
C6	$O_1 \rightarrow O_4 \rightarrow N_2 \rightarrow N_{0.5} \rightarrow O_1 \rightarrow O_4 \rightarrow N_2 \rightarrow f.l.$
C7	$O_1 \rightarrow N_2 \rightarrow O_1 \rightarrow N_2 \rightarrow O_1 \rightarrow O_2 \rightarrow N_4 \rightarrow f.l.$
C8	$O_1 \rightarrow N_1 \rightarrow O_1 \rightarrow N_1 \rightarrow O_1 \rightarrow O_4 \rightarrow N_4 \rightarrow f.l.$
E1	$O_1 \rightarrow N'_2 \rightarrow N'_4 \rightarrow O_2 \rightarrow O_1 \rightarrow N'_2 \rightarrow N'_4 \rightarrow f.l.$
E2	$O_1 \rightarrow O_2 \rightarrow N'_4 \rightarrow N'_2 \rightarrow O_1 \rightarrow O_2 \rightarrow N'_4 \rightarrow f.l.$
E3	$O_1 \rightarrow N'_1 \rightarrow N'_4 \rightarrow O_4 \rightarrow O_1 \rightarrow N'_1 \rightarrow N'_4 \rightarrow f.l.$
E4	$O_1 \rightarrow O_4 \rightarrow N'_4 \rightarrow N'_1 \rightarrow O_1 \rightarrow O_4 \rightarrow N'_4 \rightarrow f.l.$

2. 実験結果と考察

図-2(a), (b), (c)は $R=1$ の等方応力状態から $R=4$ までのせん断過程における実測値を主応力比(σ_1/σ_3)~主ひずみ増分比($-d\epsilon_3/d\epsilon_1$)関係でプロットしている(応力経路はそれぞれ図中に示す)。図中、丸印は第1載荷時を三角印は第2載荷時の実測値を表わし、実線は参考までに t_{ij} -sand model²⁾を使って得られる第1載荷時の関係を描いたものである。同図より、圧縮・伸張を問わず平均応力が増加する(a)図では第1載荷時と第2載荷時はほぼ同じとなるが、平均応力が増加しないせん断過程では第2載荷時の関係は第1載荷時と異なるのがわかる。また、図-3(a), (b)は

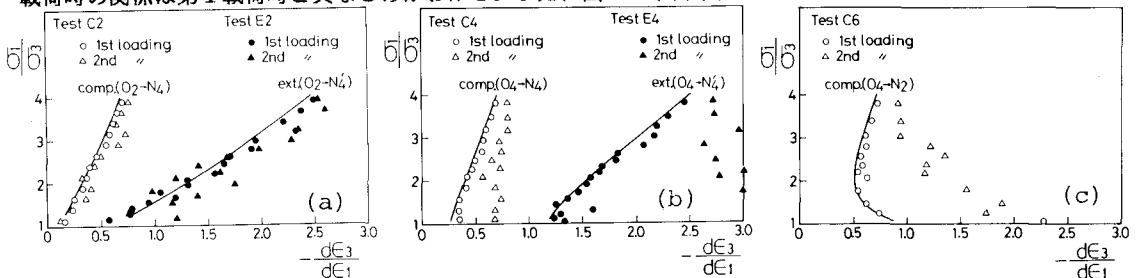


図-2 主応力比~主ひずみ増分比関係

Test C2とC4についてせん断時だけの主応力比 $\sim$ 主ひずみ $\sim$ 体積ひずみ関係を示しているが、平均応力の増えるTest C2では第2载荷時においても第1载荷時同様そのダイレイタンスは圧縮側から膨張に変化するのに対し、Test C4では第2载荷時のダイレイタンスは膨張の一途である(ここでも実線は t_{ij} -sand model による第1载荷時の解析値を表す)。したがって、図-2,3より平均応力が増えないせん断経路では第1载荷時と第2载荷時の変形機構は異なるものと思われる(例えば弾塑性挙動と弾性挙動)が、平均応力が増える時にはひずみの絶対値は異なるものの両者の変形機構は類似していると考えられる。

図-4はTest C2およびE2の等方圧密経路($O_1 \rightarrow O_2$)の実測値を体積ひずみ(ϵ_v) $\sim$ 軸ひずみ(ϵ_a)関係および $\epsilon_v \sim$ 平均主応力(σ_m)関係で整理している(圧縮試験では $\epsilon_a = \epsilon_1$, 伸張試験では $\epsilon_a = \epsilon_3$)。(a)図より、第1载荷では勾配がほぼ3となり等方的な変形をしているのに対し、第2载荷ではせん断履歴の影響を受けてせん断時に最大主応力を受けた方向のひずみが小さくなっていることがわかる。また、(b)図の $\epsilon_v \sim \sigma_m$ 関係は第1载荷時と第2载荷時で同じ関係になっているが、これは周知のせん断履歴を受けない圧密時の载荷と再载荷時の傾向と異なる(これらの傾向はループ状の応力経路をとるすべての試験結果でみられる)。つまり、ここでの圧密の第2载荷はその前にせん断履歴を受けるため再载荷であるにもかかわらず弾性挙動をせず異方的な弾塑性挙動を示すものと考えられる。また、これらの実験結果を説明するためには、圧密とせん断を独立に考え重ね合わせるモデルでは無理があるので、何らかの形で圧密とせん断現象を結びつけて考える必要がある。

図-5はTest C1の異方圧密経路($R=4$)の実測値を図-4と同様の整理で示している。(b)図には先ほどの $R=1$ の場合の結果を破線で示しているが、第2载荷時(Δ 印)には体積膨張を示す第1载荷時(O 印)とこの破線の間傾向にあることがわかる。また、図-6は等方圧密経路の除荷時の実測値を整理したものであるが、これらの経路の除荷時には応力履歴によらずほぼ等方的に変形しており、これはせん断履歴を含まない除荷時の実測値の傾向(破線)とも一致する。

以上本報告では、砂の変形挙動におよぼす応力履歴の影響について実験的に調べたが、今後これらの挙動の表現方法を含めて検討していきたい。

謝辞 日頃御指導御助言いただいている本学松岡元助教授に感謝致します。

文献

- 1) Schofield-Wroth(1968): Critical State Soil Mech.
- 2) 中井他(1984): 第39回土木学会年講, III, 7-10
- 3) Vermeer(1978): Géotechnique, 28, 413-433

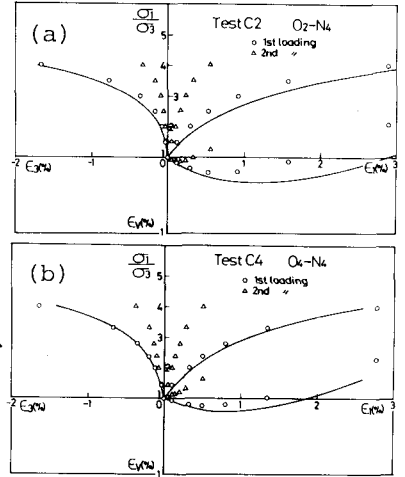


図-3 主応力比 $\sim$ 主ひずみ $\sim$ 体積ひずみ関係

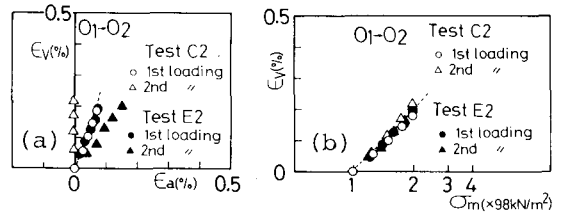


図-4 等方圧密試験結果

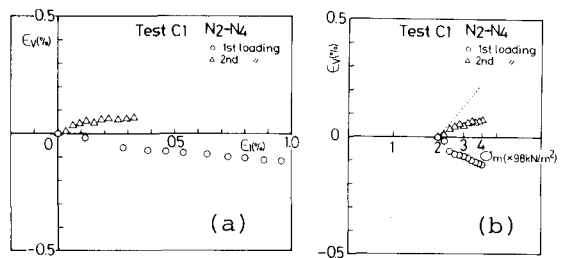


図-5 異方圧密試験結果

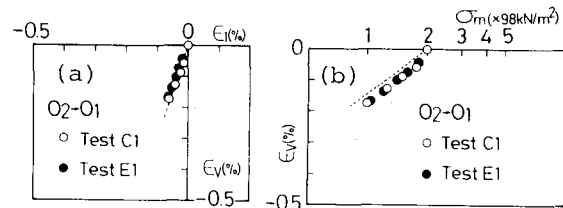


図-6 等方除荷試験結果