VI－1　　　　　　砂の繰返し圧縮特性

長崎大学工学部　正員　　落合英俊
同　　　　　　学生員　○植田雅典
同　　　　　　　　　　本田由紀夫

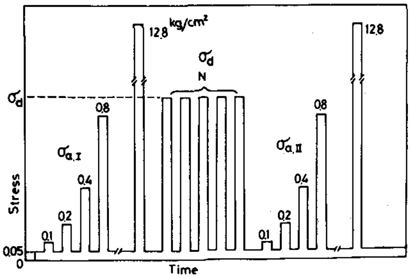
まえがき

一般に砂と粘土では、その圧縮変形（ここでは破壊を起こすことなく、体積を減少させる変形を圧縮変形と呼ぶ）に及ぼす応力履歴の影響は異なる。例えば、静的応力を一回載荷した場合、不飽和粘性土では載荷時間を考慮すれば、その載荷応力を境にして、応力と圧縮ヒズミの関係は急変するが、砂では載荷応力の影響は不飽和粘性土ほど顕著に生じない。[1] しかし砂の場合にも、載荷応力を繰返し加えると、その応力を境にして応力と圧縮ヒズミの関係は変化することが認められている。[2] このことは粘性土では載荷時間を考慮すれば、一回の静的載荷によっても、ほぼその応力に対応した安定な粒子構造となりえるが、砂の場合には、載荷応力の大きさにも関係するが、一般に一回の静的載荷では十分安定な粒子構造とはなりえず、繰返し載荷することによってはじめて安定な粒子構造になるものと考えられる。従って、粘性土では先行圧縮応力がその圧縮変形の重要な要素となるが、砂では先行圧縮応力の一回の静的載荷では、その内部構造を本質的に変化させることはできず、初期密度が重要な要素になると考えられる。側方拘束状態では、砂のような粒状土の初期密度を考慮した応力と圧縮ヒズミの関係は、$\varepsilon=(n_i-n_o)a\sigma^b$（ここに$n_o$は最小間ゲキ率と均等係数によって定まる定数、$n_i$は初期間ゲキ率、$a$, bは材料定数）なる形で表示されることが著者らにより実験的に求められている。[3] ところで、砂の圧縮変形は間ゲキ量の減少、すなわち内部構造の変化に起因するものがほとんどであり、振動等による砂の締固めは強制的にその内部構造を撹乱しようとするものであり、また粘性土にみられるような時間に依存する圧密はきわめて小さく時間の要素はほとんど無視できる。それゆえ、応力履歴の影響をも含めた砂の圧縮変形については、応力によりその内部構造がどのように変化するかを理解することが必要である。本文は最緩状態の砂について、静的応力を繰返し載荷した場合の繰返し時の圧縮特性、また静的応力の繰返しがその圧縮変形にどのように影響するかという点を、内部構造の変化という立場から実験的に検討したものである。

試料および試験方法

試料は粒径 $74\sim2000\mu$ の気乾状態の九大砂である。供試体は直径6.0cm、高さ5.0cmの圧密試験用容器にロートを通して注ぎ込むことにより、最緩状態（$n\fallingdotseq0.461$）を作成した。試験は通常の圧密試験機を用い、まず $0.05\,kg/cm^2$ の応力を加えて初期状態を設定し、図－1に示すような載荷方法で行なった。ここに σ_{aI}, σ_{aII} は静的載荷応力、σ_d は繰返し応力である。なお、σ_{aI}, σ_{aII} は荷重増加率 $\Delta\sigma_a/\sigma_a=1$ の荷重段階で $0.1\,kg/cm^2$ から載荷し、載荷時間は各荷重段階で変位が落ち着くまでとした（約10分）。また σ_d の繰返し回数Nはすべて10,000回とし、周期1分（30秒 載荷、30秒 除荷）とした。以下に用いる値は、σ_a の場合には変位が落ち着いた状態、σ_d の場合には載荷後30秒における状態での値である。

試験結果および考察

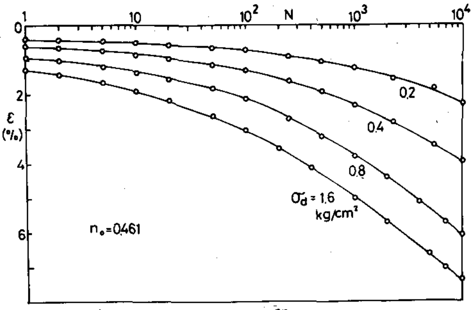


図－1　試験方法

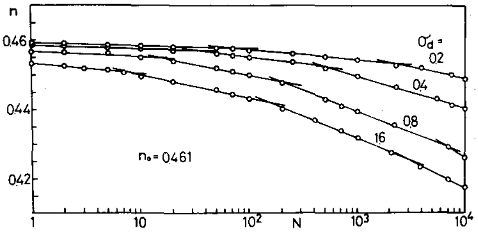
(A)繰返し時の圧縮特性：$\sigma_{aI}=0$ の場合の結果を図2～5に示す。静的応力の一回の載荷では、短時間のうちに変形が終了するが、繰返し載荷を行なうと内部構造が除々に撹乱され、繰返し回数とともに圧縮ヒズミは増加する(図－2)。ところで砂のような粒状土の圧縮変形はその集合体中の単位体積に占める間ゲキ量の減少の結果生じるので、粒状土の状態を表わすにはその間ゲキ濃度すなわち間ゲキ率が適している。図－3は間ゲキ率に対して整理した結果であり、$\log N$に対して何本かの直線で近

似できる。このことは、Nとともに徐々に乱されていた内部構造が、ある回数になると急激に破壊されるという現象が連続して生じることを示している。図－4は全変形量に対する弾性変形量の割合の変化で、σ_dの大きさに関係なくその割合はNとともに次第に減少し、繰返しによる変形が主として塑性変形、すなわち内部構造の変化に起因するものであることがわかる。図－5はあるヒズミを生じせしめるに必要な繰返し回数とその応力の関係である。アスファルト舗装設計における輪荷重の考え方[4]と同様に、粒状土の圧縮沈下でも大きな応力の影響が顕著である。図－6は $\sigma_{aI}=1.6\sim12.8$ kg/cm² 載荷後の繰返し時の圧縮変形を $\sigma_{aI}=0$ の場合との比として示したもので、ある回数までは σ_{aI} のためほとんど変形しないが、それ以上になると次第に σ_{aI} の影響が失なわれ、各 σ_{aI} に応じてある回数になるとその影響は完全に失なわれてしまう。

(B) 繰返し載荷後の圧縮変形：図－7,8は $\sigma_{aI}=0$, σ_d 載荷後の σ_{aII} による圧縮ヒズミである。σ_{aII} が σ_d まではわずかしか変形せず、しかもその変形は弾性変形のみで、内部構造の変化に起因する塑性変形は σ_{aII} が σ_d より大きくなってはじめて生じる（図－8）。このことは砂の圧縮沈下防止には、繰返し載荷がきわめて有効な方法であることを示している。



図－2　ε～N 関係



図－3　n～N 関係

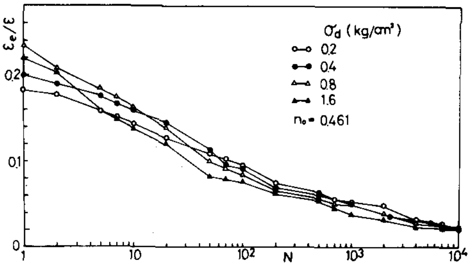
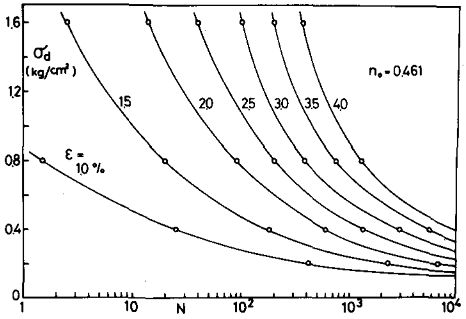
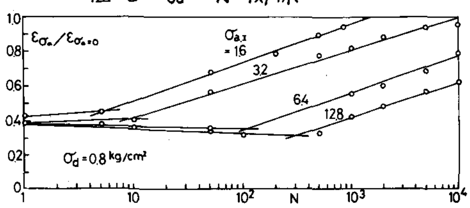


図4　εe/ε ～ N 関係



図－5　σd ～ N 関係



図－6　$\varepsilon_{\sigma aI}/\varepsilon_{\sigma aI=0}$ ～ N 関係

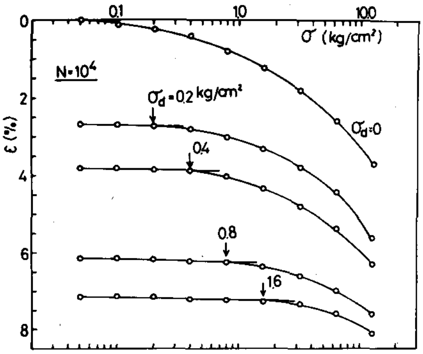
文献

1) 伊勢田・落合他(1973)：昭47年度土木学会西部支部

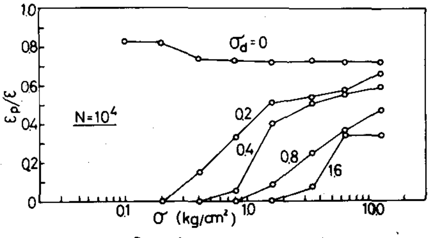
2) 落合他(1973)：同上

3) 落合他(1974)：昭和48年度土木学会西部支部

4) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱



図－7　ε～σ 関係



図－8　εp/ε～σ 関係