

北海道大学工学部 正員 ○ 土 岐 祥 介

鎌 田 彰

北 郷 繁

(1) まえがき： 地震力や交通荷重などを受ける土構造物の設計に不可欠な土の動的性質を調べるための実験的研究が内外で行なわれ、その成果が数多く報告されている。この研究は動的繰返し応力の下における乾燥砂の変形特性および締固めた砂の強度特性を明らかにするための基礎的な実験と考え、行な、たものである。気乾した砂に繰返し応力を加え、体積変化、動的変形係数、および繰返し载荷を受けた砂の静的強度が、繰返し応力の大きさおよび载荷数等の载荷条件によってどのような特性を示すかを実験的に明らかにし、砂の粒子配列構造の変化に基づく硬化の発生特性について考察を加えた。

(2) 実験方法： 試験は繰返し応力 σ_b の大きさと载荷数 N を変えて、排気状態で繰返し载荷を行なう前段の動的試験と、それに引続いて行なう後段の静的試験とからなる。動的試験に用いた試験機は従来用いて来た振動三軸圧縮試験機に空気圧制御によって、Fig. 1のように供試体の軸方向および半径方向に 180° の位相差で矩形波形の動的応力を繰返し载荷できる装置を取付けたものである。実験時間の短縮のため、 $N > 300$ 回以上のケースを従来通り正弦波形の動的応力の载荷によって行ない、動的応力の波形が矩形波あるいは正弦波であることの差は小さいと考えた。動的試験は全て最小主応力 $\sigma_{ss} = \sigma_b = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ (Fig. 1参照)の下で行なわれ、 σ_b を6種類(0.8, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4, 3.2 kg/cm^2)、 N を10種類(3, 10, 30, 100, 300, 1000, 3000, 10000, 30000回)とし、これらを組合わせた载荷条件で繰返し载荷を行なった。なお、繰返し载荷を受けた供試体の変形係数は以前に受けた応力の最終応力状態の影響³⁾を受けるので、繰返し载荷の最終応力状態をFig. 1のF点で示す等方応力状態に規制した。また、 σ_b と $\sigma_0 = 0.82$ なる乾燥砂の静的排水強度 $(\sigma_s - \sigma_{ss})_{\sigma_0} = 4.0 \text{ kg/cm}^2$ との比 $(\frac{\sigma_b}{\sigma_s - \sigma_{ss}})_{\sigma_0}$ を R とする。静的試験は動的試験に引続き、 $\sigma_{ss} = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ の下で $\dot{\epsilon}_a = 0.25 \text{ \%}/\text{min}$ のヒズミ制御方式で行なわれる排水(気)三軸圧縮試験である。試料は気乾状態の豊浦砂で、供試体の e_0 を全て0.82 ($D_r = 43 \text{ \%}$; $e_{\max} = 0.95$, $e_{\min} = 0.65$)とした。

(3) 実験結果と考察： 3-1, 繰返し载荷中の体積ヒズミ ϵ_v と N の関係すでに八木らによって報告されているが、本研究においても σ_b 一定の条件下で N 回の繰返し载荷によって生じる ϵ_v と N の間にはFig. 2に示すように $N \leq 10$ 回の範囲において、 $N \epsilon_v = aN + b \cdots (1)$ で表わされる双曲線³⁾の関係にあることが認められた。ここで、 a, b は常数で、 ϵ_v は小数で表わしている。Fig. 2から各 R について a, b を求め両対数紙上にplotすると、Fig. 3のように両者の関係は互いに平行な直線関係になる。従って、この関係は A, B, p を常数として、 $a = AR^p \cdots (2)$, $b = BR^p \cdots (3)$ なる式で表わされる。Fig. 3から、 $A = 14.6$, $B = 26.6$, $p = -2.15$ が求まり、(1)式の関係からある大きさの R の下で N 回繰返し载荷した際に生じる ϵ_v は次の(4)式で表わされる。 $\epsilon_v = \frac{N}{14.6N + 26.6} \times R^{2.15} \cdots (4)$ 。(4)式は ϵ_v が繰返し応力の2.15乗に比例し、 N と双曲線³⁾の関係にあることを示すものである。(4)式を基にして、 ϵ_v の

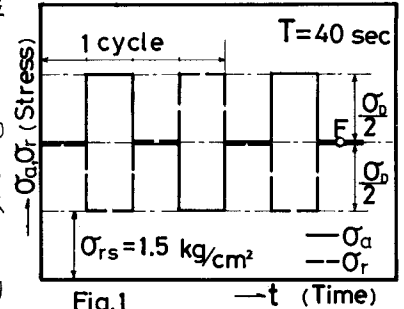


Fig. 1

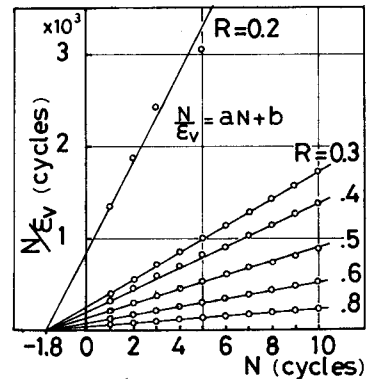
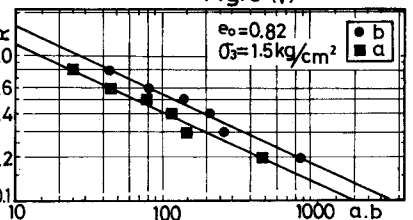
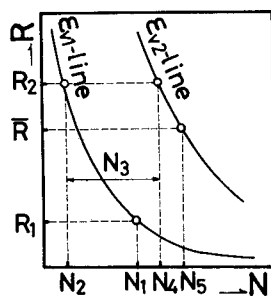


Fig. 2 (t)

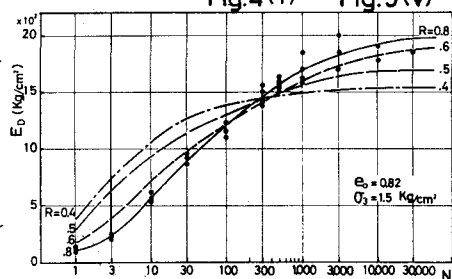
Fig. 3 (t)



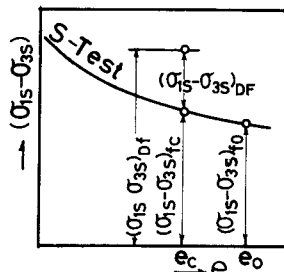
面からみて同じ ϵ_0 をもたらす R と N との等価な関係を推定することかできる。すなわち、(4)式において ϵ_0 をある値 ϵ_0 に固定すると、この ϵ_0 をもたらす R と N の関係はFig.4に示す ϵ_0 曲線のようになり、 R の応力の N_1 回載荷と R_2 の N_2 回載荷とは等価であると言えよう。次に、 R_1 の N_1 回載荷と R_2 の N_2 回載荷による ϵ_0 は以下のようにして推定される。 R_1 の N_1 回載荷によって ϵ_0 は ϵ_{01} となり、これは R_2 の N_2 回載荷と等価である。 R_2 を更に N_3 回載荷することによって生じる全体積ひずミ ϵ_{02} は、 R_2 の $N_4(=N_1+N_2)$ 回載荷時の ϵ_0 に等しい。また、この ϵ_{02} は R_2 の $N_5(=N_1+N_2)$ 回載荷時の ϵ_0 に等しい。このようにして、(4)式の R と N の関係から、前記のような R と N の任意の組合わせの載荷を行なった場合の平均の R ($\bar{R}$)を求めることかできる。応力レベルが不規則な繰返し応力波と等価な規則波の関係を求める試みが幾つか行なわれているが、上記の方法を基にして応力振幅の2.15乗の重みをつけた平均値を幾つかの仮定の不規則波のケースについて計算したところ、例えばSeedら⁴⁾が経験的に $\bar{\epsilon}_{0e} = 0.65 \bar{\epsilon}_{0max}$ としたよりもかなり大きい、 $\bar{R} = 0.8 \sim 0.9 R_{max}$ という結果を得た。これについての詳細は別の機会に報告する予定である。



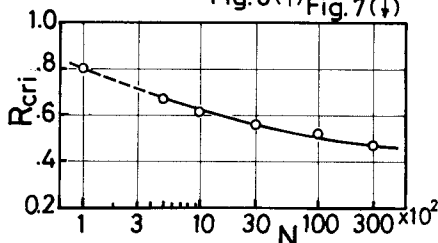
3-2、動的変形係数と N の関係 N 回目の載荷時における軸ひずミの振れ幅を弾性軸ひずミ ϵ_{0D} として、動的変形係数 $E_D = \frac{\sigma_{0D}}{\epsilon_{0D}} (\% \text{cm})$ を定義する。Fig.5は N とともに E_D がどのように変化するか、 R をパラメーターにして示したものである。ただし、図の繁雑を避けるため、実験値は $R=0.8$ のケースについてのみplotしている。図において、 E_D は N が小さいところでは R が小さいほど大きい。しかし、 R が小さい場合 E_D は比較的小さな N で最大終値に達し、それ以後は N が増しても E_D の値は増加しない。一方、 R が大きな場合大きな N まで E_D の値は増加する。すなわち、 R が大きいほど、その応力に対応する硬化が完全に発揮されるのに要する N は大きいと言える。



3-3、繰返し載荷を受けた乾燥砂の静的強度 繰返し載荷を受けると、初期間ゲキ比 E_0 の供試体の強度はFig.6に示すように $(\sigma_{1s}-\sigma_{3s})_{f0}$ から、 $(\sigma_{1s}-\sigma_{3s})_{DF}$ に増加する。これを E の減少に基づく成分 $(\sigma_{1s}-\sigma_{3s})_{FC}$ と $(\sigma_{1s}-\sigma_{3s})_{f0}$ と粒子配列構造の変化に基づく成分 $(\sigma_{1s}-\sigma_{3s})_{DF}$ に分けると $(\sigma_{1s}-\sigma_{3s})_{DF}$ はある大きさ以上の R の繰返し応力を受けた場合に生じ、これ以下の繰返し応力では単に E の減少に基づく強度の増加しか生じない⁵⁾。この限界の R を R_{crit} とすると、 R_{crit} は N によってFig.7に示すように変化することが認められた。このことから、比較的小回数回の繰返し応力の載荷によって地盤の改良を行なう場合、静的強度に比べて、かなり大きな応力を加えなければその効果は期待できないと言えよう。



[4] おすび： 乾燥砂の振動三軸圧縮試験を行ない、次のような結果を得た。ⅰ) 体積ひずミは載荷数 N と双曲線の関係にあり、繰返し応力 σ_0 の2.15乗に比例して増加する。ⅱ) σ_0 が大きいほど、その応力に対応する硬化が完全に発揮されるのに要する N は大きい。ⅲ) 粒子配列構造の変化に基づく硬化をもたらす σ_0 は N が小さいほど大きく、少数回の載荷では静的強度に比べて大きな応力を載荷する必要がある。



[5] 謝辞： この研究は昭和50年度文部省科学研究費の補助を受けて行なったものであり、また実験の実施と資料の整理には昭和51年本学卒業生、佐藤正則、松垣久則両君の協力を得ましたので、記して謝意を表します。

[6] 参考文献： ① 土岐・北郷「繰返し応力を～」土質工学会論文報告集, Vol.13, No.3, Sept. 1973. ② 北郷・土岐・石瀬「繰返し応力を～」第8回土質工学研究発表会, 昭和46. ③ 八木「繰返しせん断に～」第6回土質工学研究発表会, ④ Seed et al. "Simplified procedure" ASCE, Vol.197, SM.9, 1971. ⑤ 北郷・土岐・石瀬「繰返し応力を～」第9回土質工