

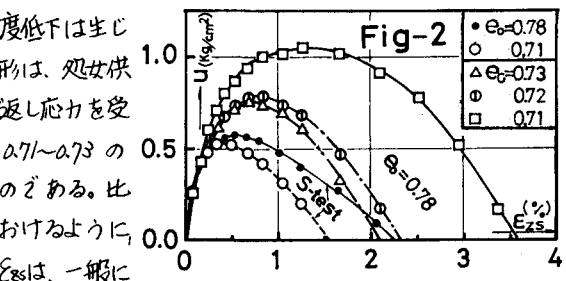
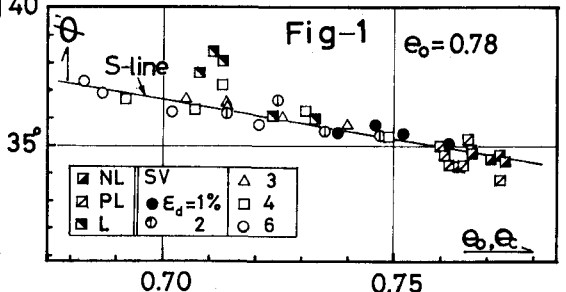
北海道大学工学部 正夏 北郷 繁
 " " ○ 土岐 祥介
 " " 鎌田 彰

[1] まえがき：砂の力学的性質が、以前に受けた応力によって著しく異なるという報告は少なくない^{1,2)}。応力状態の変化にともない粒子の再配列が生じ、それが異方性や硬化をもたらすからである。しかし、動的応力の繰返し載荷を受け軟化が発生した供試体では、大きな応力を受けても硬化はどの方向にも生じないばかりか、 F_{min} ³⁾の言うように粒子配列が極めて不安定な構造となっていると考えられる。この研究は、非排水条件のもとで繰返し応力を載荷することによって、飽和砂の非排水強度がどのような影響を受けるかを調べたものである。

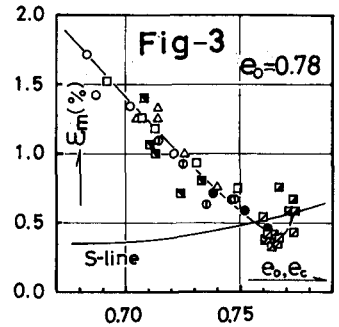
[2] 実験方法：実験は動的繰返し応力の載荷と、それに引続いて行なう静的せん断試験からなる。まず初期間ゲキ比 $e_0 = 0.78$ の供試体の軸方向および半径方向に、 180° の位相差で種々の大きさの動的応力を所定の軟化化の状態にいたるまで載荷する。動荷重の大きさは、静的非排水強度 220 kg/cm^2 に対し、 $0.3 \sim 1.3 \text{ kg/cm}^2$ であった。動的応力は、以下の軟化化の状態にいたるまで載荷した。(1) 軟化化発生に到らない状態、(2) 間ゲキ水圧が拘束圧 σ_{vs} に等しくなり、初期軟化化が起った状態 (3) 完全な軟化化が生じ変形が増大した状態。以上の載荷は振動三軸圧縮試験機によった。また、大きな変形を供試体にあたえるため、(4) 静的に圧縮および伸長ヒズミを繰返し加えて軟化化をおこす試験を行なった。所定の繰返し応力を載荷後、 $\sigma_c = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ の等方圧で圧密を行なう。このような応力履歴を経た上記(1)～(4)の供試体を、以下においてそれぞれ、NL, PL, L, およびSV-供試体と呼ぶ。なお、繰返し載荷中に生じた動軸ヒズミは、NL-供試体で 0.03% 以下、PL-供試体で $0.03 \sim 0.5\%$ 、L-供試体で $1.0 \sim 1.5\%$ 、SV-供試体では $1 \sim 6\%$ であった。次に有効拘束圧 1.5 kg/cm^2 のもとで、これらの供試体の静的非排水三軸圧縮試験を行なった。なお、前段の繰返し応力の載荷過程および後段の静的せん断試験の過程において、それぞれ 3.0 kg/cm^2 および 8.0 kg/cm^2 のバックプレッシャーを加えた。試料は豊前砂である。

[3] 実験結果と考察：図-1は、NL, PL, L, およびSV-供試体の静的非排水試験における ϕ' を示したものである。 ϕ' は $(\%)_{max}$ の条件から計算し、それを繰返し応力載荷後再圧密した後の間ゲキ比 e_c に対しプロットしてある。図中のS-lineは、比較のため処女供試体の e_0 と ϕ' の関係

を示したものである。繰返し載荷後の間ゲキ比が、 $e_0 (0.78)$ に比べて著しく減少しているにも拘らず、 ϕ' は e_c が e_0 と同じ処女供試体のそれと同じである。一般に以前に応力を受けた砂では、間ゲキ比が同じ処女供試体より強度が大きいのが普通であるが、この図にその傾向は見られない。すなわち、軟化化あるいはそれに近い状態に達した後再圧密した砂の強度は、 ϕ' をみれば同じ間ゲキ比が同じ処女供試体のそれと同じで、いわゆる硬化や強度低下は生じていない。しかし静的試験の応力～ヒズミ曲線の初期の形は、処女供試体とかなり違った傾向を示す。この原因は、以前に繰返し応力を受けた砂に生じる間ゲキ水圧の特性にある。図-2は、 e_0 が $0.71 \sim 0.73$ のL-供試体の軸ヒズミ ϵ_{zs} と間ゲキ水圧 u の関係を示したものである。比較のために示した、 e_0 が 0.78 および 0.71 の処女供試体におけるように、間ゲキ水圧の大きさ、および間ゲキ水圧が最大となる ϵ_{zs1} は、一般に



間ゲキ比が大きいほど大きい。しかしこの図に示すL-供試体では、 e_c が小さいほど高い間ゲキ水圧が発生し、最大の間ゲキ水圧が発生する E_{ss} も大きい。この E_{ss} を E_m とすると、図-3に示すように繰返し応力を受けた供試体の E_m は、間ゲキ比が同じ処女供試体のそれよりも一般に大きい。この傾向は、繰返し载荷のさい生じた変形が大きいほど著しい。結果は示していないが、 E_m における間ゲキ水圧の大きさをA値と比較すると、処女供試体では e_0 が0.80~0.65のあいだで0.50~0.25に変化するのに対し、動的繰返し応力を受けた供試体のそれは e_c の低下とともに増大し、 $e_c=0.78$ で約1.0、 $e_c=0.69$ では約2.5にも及ぶ。



処女供試体にくらべA値と E_m が大きいというこの関係から、液状化を起した砂では、たとえ再圧密後間ゲキ比が減少していても、その非排水強度は低下しているといえる。この傾向を示したのが図4で、静的試験の軸ヒズミ $E_{ss}=1.0\%$ 、3%および5%における軸差応力 $(\sigma_s - \sigma_{ss})$ を e_c に対しプロットしてある。また比較のため、図中に処女供試体の $(\sigma_s - \sigma_{ss})$ を e_0 に対しプロットした。この図で特徴的なことは、 e_c が e_0 (0.78)にくらべてほとんど変わらない場合、それぞれの E_{ss} における動員強度は e_c と同じ e_0 の処女供試体のそれと同じかやや大きい。しかし、 e_c が小さい場合のそれは、処女供試体よりかなり小さい。これをさらに詳細にみると、各 E_{ss} におけるN-1供試体の強度は処女供試体とほぼ同じで、P-1供試体の強度は、処女供試体よりやや大きい。しかし、L-供試体、およびSV-供試体の動員強度は、 e_c の低下とともに急速に減少している。ただしこの傾向は、 E_{ss} が大きくなるにつれて次第に弱まり、 $(\sigma_s - \sigma_{ss})_{max}$ が生じる付近($E_{ss}=8\sim15\%$)では、繰返し载荷の影響はみとめられなくなる。すなわち、完全な液状化発生に到らない場合は、繰返し応力の载荷によって硬化が生じ得るが、液状化が発生した砂においては生得的な粒子面列の構造すら破壊される。このような供試体において、間ゲキ水圧の発生は図2および図-3のような変化を示すため、変形が比較的小さいところにおける強度は処女供試体より小さい。液状化を起した飽和砂のこのような強度特性のため静的排水強度の1/3の強度を動員したさいの変形は、処女供試体のそれには $e_c=0.75$ で約2倍、 $e_c=0.70$ では約9倍に達した。

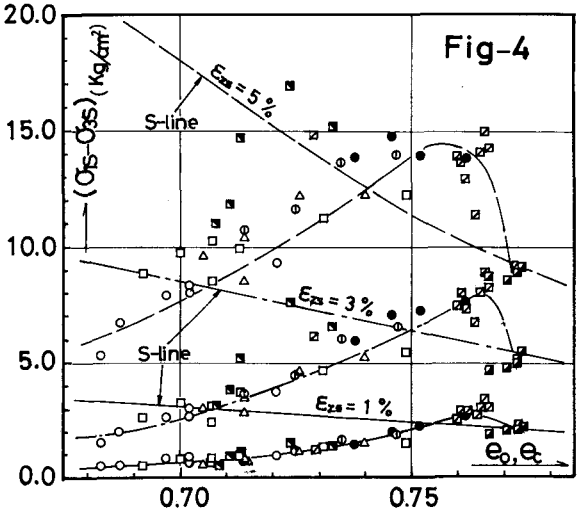


図4に示すように、 e_c が e_0 とほぼ同じ場合、それぞれの E_{ss} における動員強度は e_c と同じ e_0 の処女供試体のそれと同じかやや大きい。しかし、 e_c が小さい場合のそれは、処女供試体よりかなり小さい。これをさらに詳細にみると、各 E_{ss} におけるN-1供試体の強度は処女供試体とほぼ同じで、P-1供試体の強度は、処女供試体よりやや大きい。しかし、L-供試体、およびSV-供試体の動員強度は、 e_c の低下とともに急速に減少している。ただしこの傾向は、 E_{ss} が大きくなるにつれて次第に弱まり、 $(\sigma_s - \sigma_{ss})_{max}$ が生じる付近($E_{ss}=8\sim15\%$)では、繰返し载荷の影響はみとめられなくなる。すなわち、完全な液状化発生に到らない場合は、繰返し応力の载荷によって硬化が生じ得るが、液状化が発生した砂においては生得的な粒子面列の構造すら破壊される。このような供試体において、間ゲキ水圧の発生は図2および図-3のような変化を示すため、変形が比較的小さいところにおける強度は処女供試体より小さい。液状化を起した飽和砂のこのような強度特性のため静的排水強度の1/3の強度を動員したさいの変形は、処女供試体のそれには $e_c=0.75$ で約2倍、 $e_c=0.70$ では約9倍に達した。

[4] むすび 動的繰返し応力を受けて液状化を起した飽和砂の非排水強度 $(\sigma_s - \sigma_{ss})_{max}$ は、処女供試体と変りない。しかし、応力が増加して粒子の再配列が起こるとき、処女供試体に比べて高い間ゲキ水圧が大きな変形にいたるまで生じるため、同じ大きさの変形における応力は、処女供試体よりも小さい。本実験は、液状化後等圧圧密状態から静的三軸圧縮試験を行なったので、応力状態は実際の地盤内に於けるのと必ずしも一致していない。しかし、飽和した砂のこのような特性は、基礎の設計にあたって留意する必要がある。

[5] 謝辞 この研究の実施において、実験および資料の整理は片岡博技官および昭和50年本学卒業生、藤森一男君に負うところが大きい。またこの研究は、昭和49年度文部省科学研究費の補助を受けて行なった。記して謝意を表する。

[6] 参考文献 1) Oda, M. (1972) "The Mechanism of Fabric ~" JSSMFE, Vol. 12, No. 2. 2) 土岐祥行・北郷繁・藤森一男 (1974), "液状化により作られた砂の", 土木学会第29回年次大会, 3) Finn, W.D., et al (1970), "Effect of Strain History on ~" ASCE, Vol. 89, No. SM.1. 4) 土岐祥行・北郷繁 (1973), "繰返し応力を受ける乾燥砂の", 土質工学会論文集, Vol. 13, No. 3.