

北見工業大学 正員 鈴木輝文

1. まえがき 非排水繰返しせん断応力を受ける飽和砂の挙動が事前に加えられたせん断履歴によって変化することは一般に知られた事実である。著者は相対密度50%のゆる詰め飽和砂の液状化特性がせん断履歴によってどのように変化するかについて2・3の実験を行ない既に報告している¹⁾。今回は同様の実験を $D_r=80\%$ の密詰め砂について行ったので報告する。

2. 実験内容 用いた試料は豊浦砂で、実験装置は空気圧式の繰返し三軸試験機である。供試体密度の調整は多重フルイ落下装置で行ない、供試体成形後に CO_2 ガス法により飽和させた。試料の物理的性質と、作製した供試体の静的三軸強度特性を表1に示す。

比重
 $G_s = 2.65$
 最大・最小密度
 $e_{max} = 0.994, e_{min} = 0.611$

静的三軸強度特性(恒等)

ただし $D_r = 80\%, \sigma_0 = 98 \text{ kN/m}^2$

圧縮	伸張
$\phi_f = 40.3^\circ$	$\phi_f = 38.6^\circ$
$\phi_c = 28.0^\circ$	$\phi_c = 28.0^\circ$
$\delta_f = 8.4\%$	$\delta_f = 6.9\%$
$\gamma_c = 1.0\%$	$\gamma_c = 1.8\%$

The diagram illustrates a triaxial test cell. It shows a vertical stress σ_v and a horizontal stress σ_h . A failure envelope is shown with an angle ϕ from the horizontal and an angle ψ from the vertical. The failure strain ϵ_v is indicated. The diagram also shows the failure envelope with angles ϕ and ψ , and the failure strain ϵ_v .

ϕ : 動摩擦角
 ψ : セン断ひずみ
 ϵ_v : 体積ひずみ

ϕ : 動員33°角
 τ : せん断ひずみ
 ϵ_v : 体積ひずみ

載荷過程は次のようにした。等方応力状態($\sigma_0=98 \text{ kN/m}^2$)から出発し、まず履歴荷重として種々の大きさの軸差応力を圧縮方向あるいは伸張方向のどちらか一方に静的排水条件で半サイクルだけ加えた後、再び等方応力状態にもどした。次に再載荷として $\sigma_0/\sigma_0=2.0$ (全実験を通して固定)の規則的な両振り繰返し軸差応力を非排水条件で加えた。ここで、 σ_0 は軸力の変動として加えた動的繰返し軸差応力であり、その載荷は1サイクル4秒の周期の近似矩形波で行なった。

3. 非排水繰返しせん断強さの変化 密詰め飽和砂に動的な非排水繰返しせん断応力を加えた場合には、ゆる詰め砂の場合のように破局的な破壊となわ液状化は発生せず、有限なひずみ振幅をもつせん断変形が繰返される状態(cyclic mobility)が現われる。このような場合の破壊について現在のところ明確な定義はないようであるので、ここでは仮に軸ひずみ振幅が10%になった時点を破

壊と見なしている。本実験で用いた $D_r=80\%$ の供試体では、履歴荷重を加えないで、 $\sigma_0/\sigma_0=2.0$ の動的繰返し応力だけを加えたとき、軸ひずみ振幅が10%に達するまでの載荷数は20回であった。再載荷では繰返し応力をこの大きさ($\sigma_0/\sigma_0=2.0$)に固定しているので、履歴を受けたことによる強さの変化は破壊するまでの載荷数の変化となって現われることになる。以下において処女供試体にお

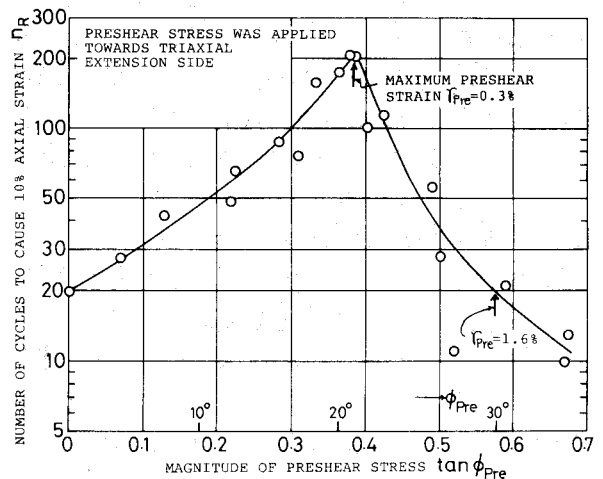


図1 再載荷における破壊までの載荷数(強さ)の変化(I)

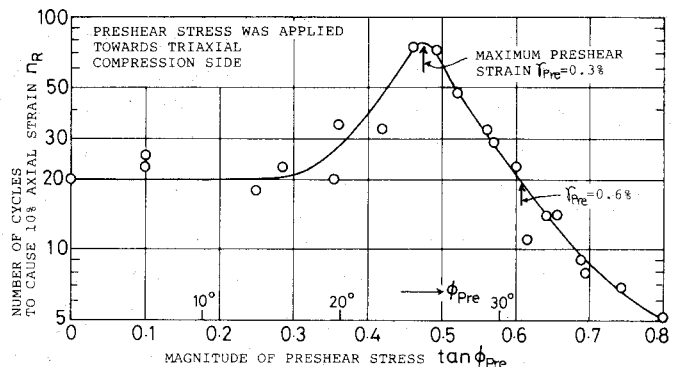


図2 再載荷における破壊までの載荷数(強さ)の変化(II)

ける20回の載荷数が、履歴荷重の大きさや方向によってどのように変化するかを述べる。

図1と図2は履歴荷重を伸張側及び圧縮側に加えたときの、履歴荷重の大きさ（動員まさつ角の正接 $\tan \phi_{pre}$ ）と再載荷時の破かいまでの載荷数 N_R の関係を示している。これらの図から先ず言えることは、履歴荷重の増加にともなって再載荷時の強さにはピークが現われ、さらに履歴荷重がある程度以上の大きさになると履歴を加えない場合より強度が小さくなるに至ることである。この傾向は既に報告しているゆる詰め飽和砂の場合と同様である¹⁾。

図1と図2の結果をもう少し一般化するために、同一のデータについて強度動員率 $\tan \phi_{pre} / \tan \phi_i$ と載荷回数比 N_R / N_L の関係でプロットし直すと図3が得られる。ここで ϕ_i は表1に示す静的せん断試験における破壊時動員まさつ角であり、 N_L は処女供試体における破かいまでの載荷数（20回）である。また同図中には既に報告している¹⁾ $Dr = 50\%$ のゆる詰め飽和砂での結果も併記してある。

図3から次の3点が言える。1) 再載荷強度のピーク時の増加割合は、履歴荷重の方向を圧縮側より伸張側とした方が大きく、さらにゆる詰め砂より密詰め砂の方が大きい。2) 静的強度の45%～55%の応力が履歴として加わったとき再載荷時の強度はピークを示している。3) 履歴荷重が静的強度の65%～75%を越えるとき再載荷時の強度は処女供試体の強度より小さくなる。

限られた載荷法の範囲ではあるが、以上のように、履歴荷重の大きさを強度動員率で表わせば、再載荷強度にピークが現われるとき、あるいは再載荷強度が処女供試体の強度より小さくなるときの履歴荷重の大きさが密度によってあまり変わらないという事実は注目されよう。

4. 再載荷第1サイクルでの残留間隙水圧 図4及び図5は再載荷第1サイクル目で発生した残留間隙水圧を圧縮側での成分 u_{cl}/σ_0 と伸張側での成分 u_{el}/σ_0 に分離し、その各々について履歴荷重の下での最大せん断ひずみ γ_{pre} に対してプロットしたものである。これらの図から γ_{pre} あるいは履歴荷重の増加にともない、そのせん断方向と同一方向での発生間隙水圧は急速に減少し非常に小さな値に落ち着き、一方 γ_{pre} のせん断方向と反対方向での発生間隙水圧は $\gamma_{pre} \geq 0.3\%$ になると急増していることが分る。またこのような相反する履歴効果の重ね合わせとして、トータルの発生間隙水圧 $(u_{cl}/\sigma_0 + u_{el}/\sigma_0)$ と γ_{pre} の関係曲線（図は省略）は極小値を持つことになる。さらにこの発生間隙水圧の極小値に対応して、前出の図1、図2に示す破壊までの載荷数（再載荷強さ）の極大値が現われていると理解することが出来る。

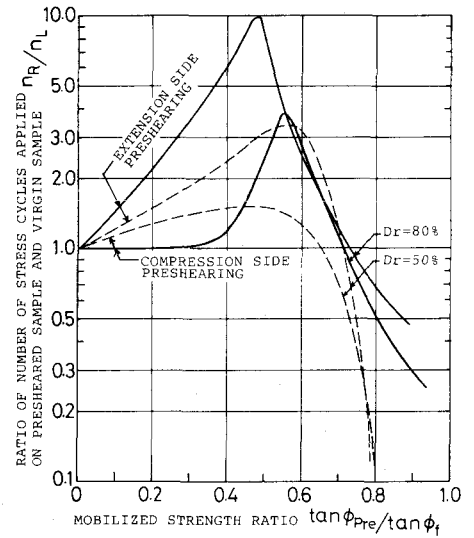


図3 載荷回数比と強度動員率の関係

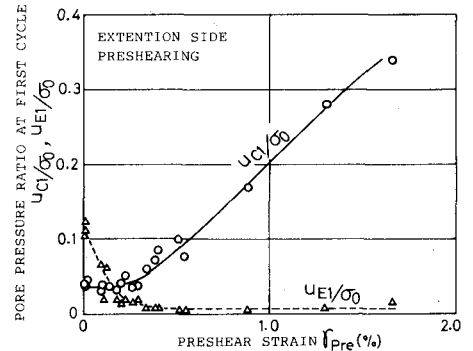


図4 再載荷第1サイクルでの間隙水圧成分(I)

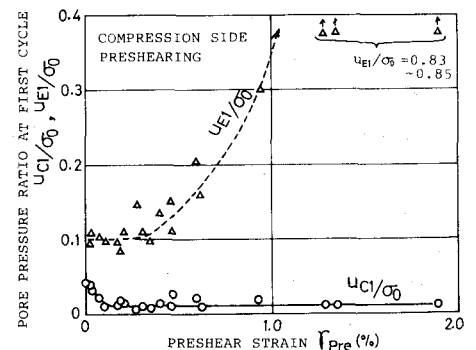


図5 再載荷第1サイクルでの間隙水圧成分(II)

文献 1) 鈴木, 土政: S & F, Vol.24, No.2 (掲載予定). 2) 鈴木, 土政: 土質工学会論文報告集, Vol.21, No.4.