

山口大学 正員 大原 資生
同 同 宮内 彰
同 大学院 学生員 ○ 安永 文夫

1 緒言

九州南部一帯に存在するシラス台地は特殊土地帯として知られ、毎年豪雨の際には大きな災害を生じている。また宮崎県えびの地区のシラスは1968年のえびの地震の際に崖崩れや液状化（噴砂）を起こしたことが記録されている。シラスの鉱物組成の主たるものは火山ガラスであって粘土分を全く含まない非塑性の土である。このように粘着力のない土であるので大地震の際には斜面の崩壊を起こしたり、また飽和させたシラスでは液状化を生ずることが予想される。

今回、我々の実験室ではシラスの動的特性を調べるために動的三軸試験機および動的単純せん断試験機を用いて飽和シラスの液状化と動的剛性率を求める実験を行った。特に剛性率については間ゲキ比・鉛直荷重・荷重載荷回数・ひずみ等により変化することが予想され、その中でもひずみが与える影響は大きく一般にひずみが数%を越すと土はもはや弾塑性性質を示さず破壊・液状化を起こすと言われている。そこで飽和シラスの液状化と関連させて液状化が起こるであろうと予想される範囲のひずみを生ずる場合の剛性率を求めてみた。

2 試料およびその物理的性質

試料としては宮崎県都城市庄内町で採取されたシラスを2mmのフルイでふるって用いた。その粒度曲線をFig-1に示す。

またこの試料の静的三軸圧縮試験の結果はFig-2に示すように粘着力はほとんどなかった。このシラスを乾燥密度 γ_d が約1.1と1.2となるように供試体を作って実験を行った。飽和した供試体を作る

には所定の重量の気乾シラスをあらかじめビーカーの中に入れ暖気水に浸した後、湯煎したものを一昼夜放置しておいて、モールドまたはせん断箱の中に入れ、前述の密度となるように詰めた。

3 実験装置および実験方法

動的三軸試験機については前論文にもあるのでここでは省略する。

動的単純せん断試験機は本学の実験室で試作されたものでその機構をFig-3に示す。せん断箱はKjellman型であって供試体は直径75cm、厚さ2cmでゴムスリーブの中に入れており、その外側には厚さ2mmのアクリリングが12〜14枚はまっている。上部加圧板は水平方向に固定され試料台がエアースリンダーのピストンロッドに連結されている。この装置ではA・B2個のエアースリンダーがFig-3のように

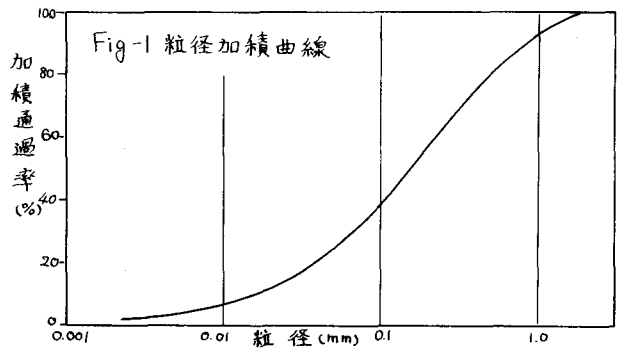
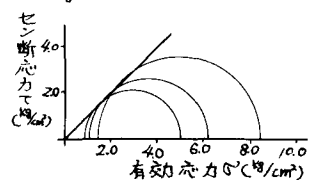


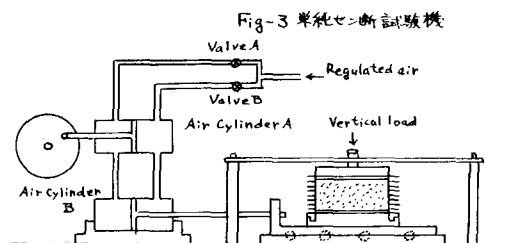
Fig-2 三軸圧縮試験の結果



(試料の物理的性質)

土粒子の比重	2.456
均等係数	11.8
内部摩擦角	$\phi = 45^\circ$
三角座標による分類	砂質ローム

連結されており、最初にピストンを中立位置においてバルブA・Bを開いて所定の空気圧を入れた後、再びバルブを閉じてシリンダーAのピストンロッドにつながれている偏心軸を回転すれば供試体には正弦波的なせん断応力がかかることになる。



その記録は液状化の実験では変位計・力率計・間

ガキ水圧計の変換出力は全てペン書きオシログラフに記録させた。剛性率の実験では変位計と力率計の変換出力をX-Yレコーダーに接続して、履歴曲線を直接記録させた。なおこの実験では動的三軸試験では矩形波型、動的単純せん断試験では正弦波型の荷重を周期2秒の速さで負荷した。

4 実験結果およびその考察

(i) 液状化についての実験結果

a. 動的三軸試験の実験結果 Fig-4は動的三軸試験の記録を示したもので、 $\gamma_d = 1.15\%$ ($e = 1.30$)、側圧 $\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ 、繰り返し応力 $\sigma_d = 0.38 \text{ kg/cm}^2$ の場合の例である。これによると繰り返し回数 $n = 13$ 付近から供試体の軸ひずみが急激に増加し始めておりこの点で初期液化が起きたと考えられる。この時にはまだ供試体には圧縮ひずみが生じているが、 $n = 20$ 位において圧縮ひずみも生じ始め間ガキ水圧の上昇もほぼやんでその値も一定となるので、この点で完全液化に達したと考えられる。

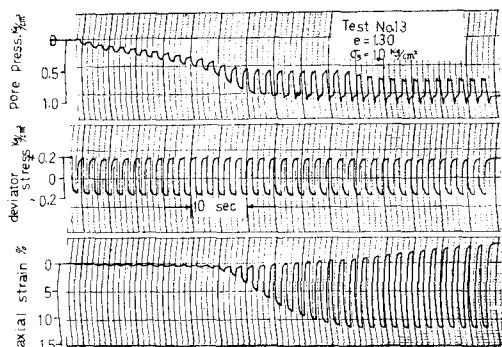


Fig-4 動的三軸試験の結果

このようにして側圧を 1.0 kg/cm^2 、 1.5 kg/cm^2 、 2.0 kg/cm^2 の種類について実験を行い、その結果から初期液化を生ずるまでの必要な繰り返し回数 n と側圧 σ_3 および軸差応力 $\sigma_d/2$ との関係求めたのが Fig-5 である。この図において n は σ_3 に比例していることがわかるので、 n と応力比 $\sigma_d/2\sigma_v$ との関係になおしたのが Fig-6 である。これよりシラスの液状化も砂と同じように応力比によって一義的に決まることがわかる。

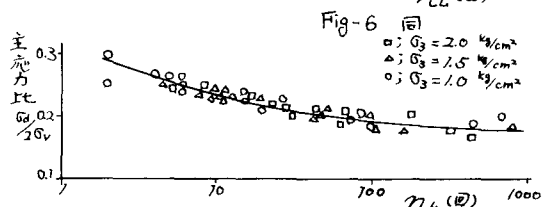
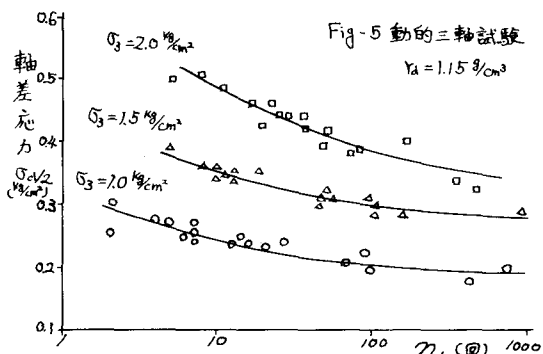


Fig-7は動的三軸試験において液化直前の間ガキ水圧を求め、有効応力法によってモールの応力円を描いて液化直前のシラスの動的内部摩擦角を求めた結果である。液化直前ということであるので引張り時には初期液化を、圧縮時には完全液化を用いた。これよりシラスの液化直前の動的内部摩擦角は引張り側も圧縮側も平均 29° 位であることがわかる。

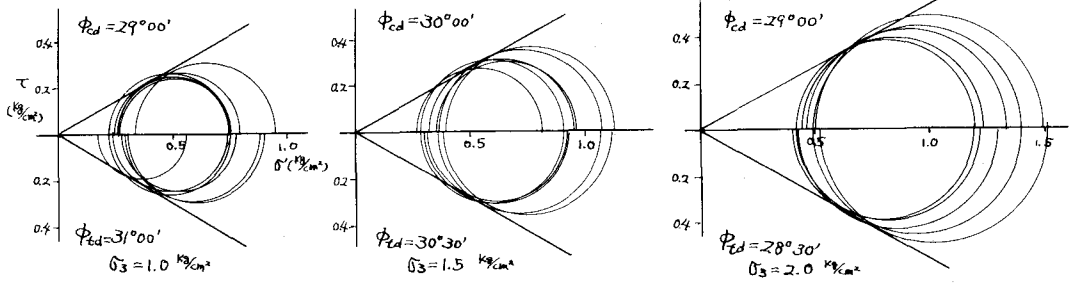


Fig-7 動的内部摩擦角 ϕ_d

b. 動的単純せん断試験の実験結果 Fig-8は動的単純せん断試験の記録を示したものであって、 $\eta = 1.23\%$ ($e = 1.15$)、鉛直圧 $\sigma_v = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 、せん断応力 $\tau_d = 0.136 \text{ kg/cm}^2$ の場合の例である。この水による $\eta = 8$ 付近からせん断ひずみが急速に増加し始め同時にせん断応力も小さくなって供試体のせん断抵抗力がなくなり始めたことがわかる。この点を初期液化と考え、完全液化は間ガキ水圧の上昇およびせん断応力の低下がほぼやんだ $\eta = 19$ 位の点と考えられる。

そこで動的三軸試験の場合と同様の整理をした結果が Fig-9, 10 である。この実験では η を 1.23% と 1.15% の二種類について実験を行ったので、それぞれ水の結果の平均値曲線を示した。

次にこの実験から得られる液化直前のシラスの動的内部摩擦角 ϕ_d を

$$\phi_d = \tan^{-1} \left\{ \tau_d / (\sigma_v - u_f) \right\}$$

u_f : 液化直前の間ガキ水圧

より求めたのが次表である。

	$\eta = 1.15\%$	$\eta = 1.23\%$
$\sigma_v = 0.5 \text{ kg/cm}^2$	$\phi_d = 29^\circ 20'$	$\phi_d = 28^\circ 40'$
$\sigma_v = 0.7 \text{ kg/cm}^2$	$\phi_d = 30^\circ 40'$	—

c. 両者の結果の比較

動的三軸試験は $\eta = 1.15\%$ についてのものであるから、これと動的単純せん断試験のうち $\eta = 1.15\%$ の結果と比較したものが Fig-11 である。

普通の砂質土では両者の間にかなりの差異があるが、シラスの場合は大きな差は見られない。この原因については明らかではないが、一つにはシラスが多く微粒子を含んでいることによるものかも知れない。しかしこの点については別途に検討を重ねてみる必要がある。

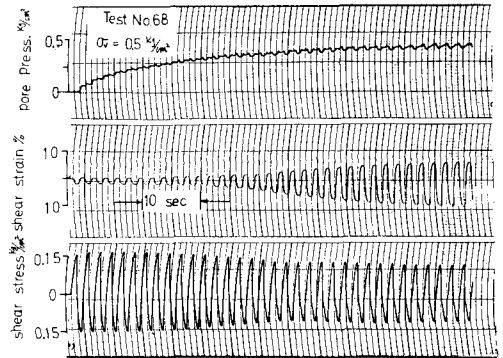


Fig-8 動的単純せん断試験の実験結果

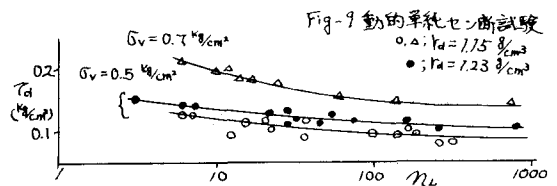


Fig-9 動的単純せん断試験

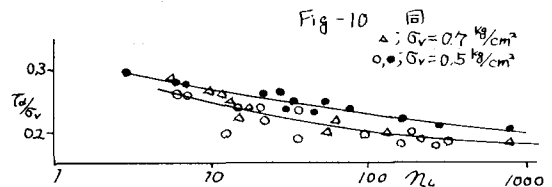


Fig-10 同

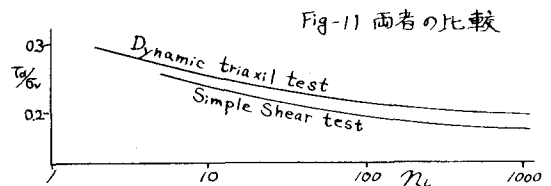


Fig-11 両者の比較

(ii) 剛性率の測定結果 飽和したシラスについて単純せん断試験機を用いて鉛直圧・密度・せん断応力を変えて剛性率を求めた。Fig-12がその記録であり、せん断力の繰返し回数が増加するに従って剛性率が大きくなっていることがわかる。これは土粒子が次第に締め固められるためであろう。この図でわかるように土自体は完全な弾性体ではないので"stress-strain"曲線は履歴曲線を描いて一つのループを形成する。この面積が大きいほど振動時には減衰が大きくなるのであるが、我々はこのループを楕円形とみなした場合の長軸

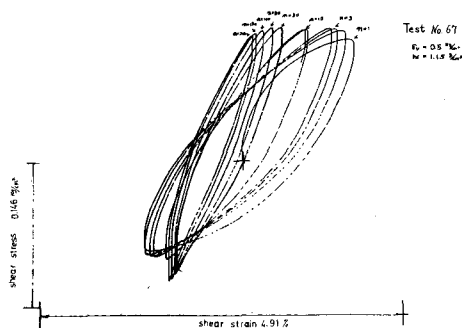


Fig-12 剛性率の測定結果

の勾配を求めこれを剛性率とした。

Fig-13~15は繰返し回数 $n = 1, 10, 200$ のループから得られた剛性率を示したものである。この図より n が進むに従って剛性率は大きくなっていることがわかる。

Fig-16 は Fig-13 を G/G_v によって整理したものである。これより剛性率は初期鉛直圧にも比例していることがわかる。

Fig-13 $G-r$ 曲線 cycle-1

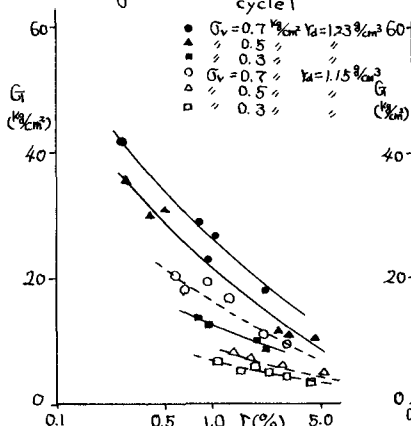


Fig-14 $G-r$ 曲線 cycle-10

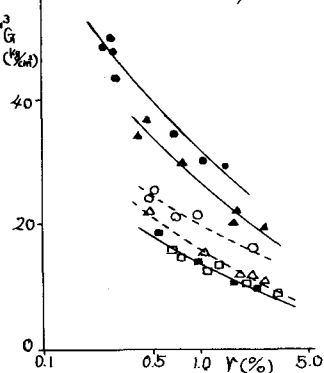


Fig-15 $G-r$ 曲線 cycle-200

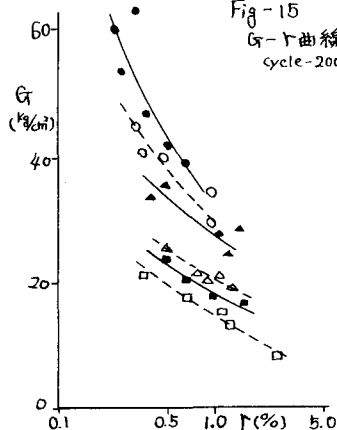
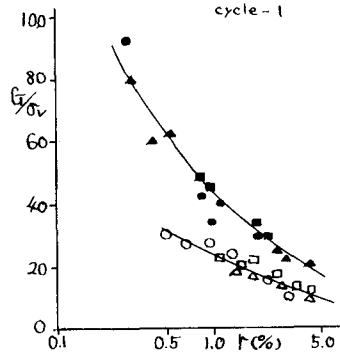


Fig-16 $G/G_v \sim r$ 曲線 cycle-1



5 結 語

以上シラスの動的特性のうち液状化および剛性率の実験を行った結果を述べたが、それらを総括して次のことが言える。

(i) 飽和したシラスは振動による液状化を生じ、それに要するせん断応力の大きさや繰返し回数は応力比 r によって一義的に定まり、また乾燥密度が小さいほど液状化が生じやすい。

(ii) 液状化直前のシラスの動的内部摩擦角はほぼ 27° であり、それは繰返し回数や鉛直応力によらず一定であり、また圧縮側も引張り側も同じ値をもつ。

(iii) 液状化に対する動的三軸試験と動的単純せん断試験の結果にはあまり大きな差はない。

(iv) 飽和したシラスの剛性率は鉛直圧や乾燥密度が大きいほど大きく、また繰返し回数の増加に伴って大きくなる。これに反してせん断ひずみ量が大きくなると急激に低下してくる。