

振動台による砂の液状化試験について

Sand liquefaction tests using shaking table

おお ほん すけ お*
大 原 資 生*

やま もと てつ ろう**
山 本 哲 朗**

1. 緒 言

飽和砂の液状化実験は通常、動的三軸試験機を初めとして動的単純せん断試験機、ねじりせん断試験機を用いて行われるが、このような試験とは別に振動台を用いた比較的大規模の実験が行われることがある。

振動台を用いた大型の供試体に対する液状化実験は先に Finn (フィン)¹⁾、大原²⁾、De Alba (デ・アルバ) ら³⁾ によって行われ、最近では、原田⁴⁾、松尾⁵⁾ によっても行われている。このような大型の供試体に対して液状化実験が行われ始めた理由は、動的三軸試験や動的単純せん断試験などの供試体の寸法より大きい寸法の供試体を使用しての実験を行うことができるので、実験結果に対する供試体の寸法効果を検討できることと、比較的大きな粒径の砂の液状化実験を行うことができるということであろう。このような大きい供試体に対する液状化実験結果は通常の動的三軸試験での供試体のように直径 5 cm、高さ 12 cm で小さいために、せん断応力を供試体に負荷した場合、供試体端面と上部・下部ペダスタル間に生じる応力集中が実験結果にどの程度影響を及ぼすかを検討する資料となるであろう。

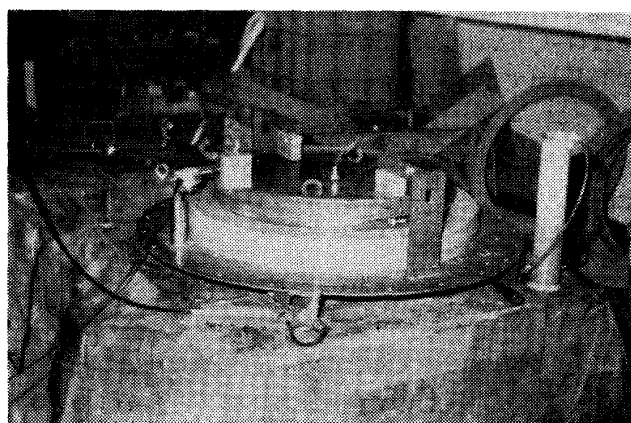
筆者らは先に振動砂箱を用いてこの種の実験を行った²⁾ が、振動台による実験では有効応力を他の実験装置のように広範囲に変化させるのが難しい。また、大きいせん断応力を供試体に与えることが難しいということと、供試体に真のせん断変形を生ぜしめることが難しいことを知った。今回、これらの点のある程度改良し、振動台を用いて直径 60 cm、高さが任意に変えられる供試体に対する液状化実験が行える実験装置を試作した。この装置では供試体の周囲にはその外径に等しい内径をもつドーナツ状の表面の滑らかな塩化ビニール板製リングが数枚積み重ねられているので、振動時には供試体は側方に膨れ出すことなく、自由に変形し、その変形はせん断変形に近いものとするのができた。また、供試体に作用する鉛直荷重は、載荷板の自重および供試体全体を圧力室に入れて空気圧を利用して負荷される。この場合、供試体底面でのせん断応力は後述するように載荷板等の慣性力によって生じるので、載荷板

の自重を重くすることおよび振動台の加速度を大きくすることで、大きいせん断応力を発生することができた。

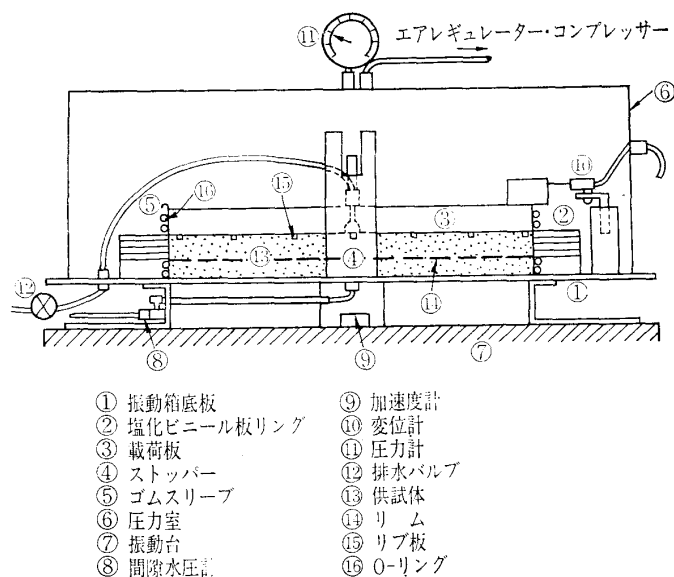
本論文はこの試験装置で得た試験結果をはじめに述べ、これまでの振動台を用いた実験結果および動的単純せん断試験、動的三軸試験結果との比較検討について述べている。

2. 実験装置

この実験に用いた実験装置の外観および概略図を図一 1、2 に示す。図一 1 は供試体および圧力室の内部を示したものであり、側圧 (σ_3) を負荷しないで行う実験はこの状態



図一 1 実験装置外観〔側圧 (σ_3)=0〕



図二 実験装置

*山口大学教授 工学部

**山口大学助手 工学部

で行われる。

装置は振動台⑦に固定した振動箱の底板①とセル室⑥から構成されている。装置はステンレス板で作られており、直径 100 cm の底板上には直径 60 cm、高さ 3 cm のリムが取り付けられている。供試体⑬はこのリム⑭の外側に取付けたゴムスリーブ内に作製されることになるわけであるが、底板表面には砂粒子を張り付けることで供試体と箱の底面間のすべりを防止した。

この種類の実験では振動時の供試体のせん断変形を拘束しないようにすることが必要であるが、そのために本装置ではゴムスリーブで包んだ供試体の外側に、厚さ 1 cm、内径、外径がそれぞれ 60.6 cm、76.0 cm の表面の滑らかな塩化ビニール板製のドーナツ状のリングが数枚積み重ねられた状態ではめ込まれている。したがって供試体は横方向に膨れ出すのは拘束されることになる。

供試体には載荷板③の自重によって鉛直圧が作用し、また繰返しせん断応力は載荷板等の振動時の慣性力によって負荷される。振動台の許容搭載重量が 500 kgf であることを考慮して載荷板には質量 100 kg、255 kg の 2 種類のものを用いた。なお、載荷板と供試体上面が接触する部分には載荷板の底面に振動方向に直角な方向に高さ 1 cm、厚さ 0.2 cm の 7 本のリブ板⑮を取り付けて、載荷板の慣性力によるせん断応力が確実に供試体に作用するようにしている。また載荷板の中央には間隙水の排水孔が設けられており、これからナイロンチューブを通じて供試体中の間隙水の排水が可能である。

載荷板の自重によって供試体表面にはそれぞれ鉛直圧 $(\sigma_v)' = 0.035, 0.09 \text{ kgf/cm}^2$ が作用することになるが、これ以上の鉛直圧での実験を行うためにはセル室⑥を供試体がセットされた振動箱底板にボルト締めし、セル室内にレギュレーターで調節した所要の空気圧を送り込んで側圧を負荷した状態にして実験を行った。

実験により供試体が液状化を生じた時には、変位が大きくなるが、装置に破損をきたさないようにストッパー④を取り付けて載荷板の最大水平変位振幅が 5 mm を越えないようにした。

3. 供試体の作製および実験方法

試料は新宮砂（福岡県粕屋郡新宮町産の海浜砂）で、その諸性質は次のとおりである。比重 $(G_s) = 2.64$ 、最大粒径 $(D_{\max}) = 2.0 \text{ mm}$ 、平均粒径 $(D_{50}) = 0.19 \text{ mm}$ 、最大間隙比 $(e_{\max}) = 0.89$ 、最小間隙比 $(e_{\min}) = 0.54$ 。

実験では相対密度 (D_r) が 40% 前後の飽和状態の供試体を次の方法によって作製した。まず、外径 60 cm、高さ 3 cm のリムの外側に厚さ 1 mm のゴムスリーブをかけ、その上に O リングをかける。更に O リングの外側を金属バンドで締めつけて間隙水圧の漏れを完全に防止した。リムに取り付けたゴムスリーブの周囲には支持板を固定し、そ

の上に塩化ビニール板（厚さ：約 1 cm、質量：2.3 kg）を通常の実験で 4 枚積み重ねた。次にゴムスリーブ内にあらかじめ水を入れておき、その中に湿潤試料を静かに流し込んで詰めた。その後、試料表面を軽く締め固め、平らに仕上げた後、載荷板をセットした。砂供試体の直径は 60 cm であるが、高さは通常ほぼ 4 cm とした。

供試体に負荷した側圧とその時に供試体内に発生した間隙水圧の比から求めた間隙圧係数 B 値はほとんどの供試体で 0.95～0.99 の範囲にあり、この程度の B 値であれば供試体の飽和度が実験結果に与える影響は従来の実験結果から考えて無視できると思われる⁹⁾。

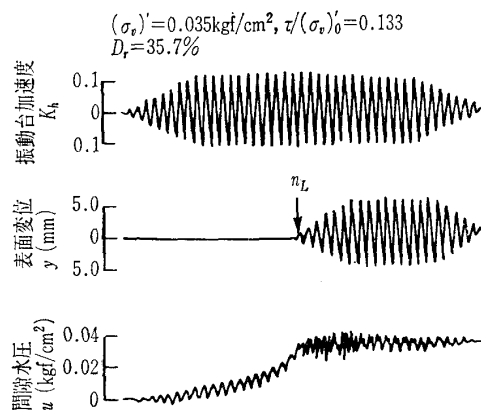
次に、振動台を駆動して供試体全体に振動数が 3 Hz で振幅一定のほぼ正弦波状の水平加速度を与えた。この実験では加速度の大きさを変えることで供試体に与えるせん断応力の大きさを加減した。

実験中の測定項目は振動台の加速度、供試体中に発生する間隙水圧および供試体表面上の載荷板の水平変位振幅であって、それぞれ図—2 に示す加速度計⑨（容量：1 g）、間隙水圧計⑧（容量：1 kgf/cm²）、ダイヤルゲージ式変位計⑩（容量：20 mm）を用いて測定した。このうち間隙水圧計は底板中央部での小孔にポーラスストーンをはめこみ、そこから連結したナイロンチューブの先に取り付けてある。これらの測定量はすべてペンオシログラフに記録した。

4. 実験結果および考察

図—3. a, b に実験記録の一例を示す。両方の実験とも圧力室をセットしない状態（側圧 $(\sigma_s) = 0 \text{ kgf/cm}^2$ ）で供試体表面には質量 $(m) = 100 \text{ kg}$ の載荷板がのせられたのみの状態で行われた。図—3. a の実験は供試体の液状化が比較的早く起こった場合の例として、また図—3. b は液状化が遅く起こった例として掲げた。

各記録波形において、記録線は上から振動台の加速度、供試体表面での載荷板の水平変位振幅、供試体中に発生する間隙水圧を示す。図—3. a から分かるように、この場合は加速度振幅の繰返し回数が 14 回（加速度が漸増している



図—3. a 記録波形の一例

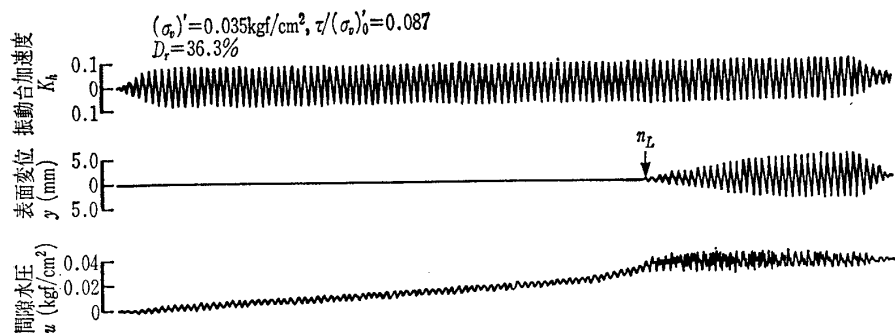


図-3. b 記録波形の一例

初期の波の数は後述の方法で修正してある)の時に供試体表面における変位が急激に増大し、また間隙水圧も急増し始めると同時にその波形の乱れが顕著となっている。図-3. bでは加速度振幅の繰返し回数が78回の時に同様の現象が認められる。

本文ではこのように供試体の変位振幅が急増する時に注目してデータ整理を行うことにし、その時をもって供試体は初期液状化を起こしたと定義することにする。そして初期液状化を起こすまでの加速度振幅のパルス数、いいかえると供試体に加えられたせん断応力の繰返し回数を n_L で表す。なお、供試体の水平変位から計算した初期液状化時のせん断ひずみは 5×10^{-3} 前後であった。

加速度波形から分かるようにこの実験に用いた振動台ではその機能上、最初から所要の加速度振幅にセットすることができない。そこで加速度が漸増する間の数パルスの加速度は先の研究⁷⁾で示した方法にならって振幅が一定の加速度に達するまでの総和をとり、この和を一定加速度振幅で除して得たパルス数を加速度振幅が一定の場合に対する有効パルス数として補正した。

実験結果の整理においては、載荷板および供試体に生じる回転モーメントを考慮して鉛直応力 $(\sigma_v)_0'$ は(1)式で示すように、供試体底面に作用する鉛直応力 $(\sigma_v)'$ から振動

時でのその位置における載荷板の回転モーメントにより生じる底面反力を差し引いて補正する方法によった。

$$(\sigma_v)_0' = (\sigma_v)' - \frac{M}{I} \cdot \frac{c}{2} \quad \dots\dots(1)$$

(1)式で M , I , c はそれぞれ供試体底面における載荷板と供試体に作用するモーメントの和、断面二次モーメントおよび供試体の直径である。

せん断応力 (τ) は(2)式から計算した。

$$\tau = \frac{K_h \cdot W}{A} \quad \dots\dots(2)$$

この式で、 K_h , W , A はそれぞれ水平震度、[(供試体+載荷板+リング) または載荷板のみ]の重量、供試体の断面積である。

このようにして求めた応力比 $\tau/(\sigma_v)_0'$ と初期液状化までのせん断応力の繰返し回数 n_L との関係を図示したのが図-4中のタイプ(4)である。図には比較のために別の方法で計算した結果も示している。例えばタイプ(1)の $\tau/(\sigma_v)'$ の計算ではせん断応力 (τ) は供試体表面上の載荷板による慣性力だけから計算し、また鉛直圧 $(\sigma_v)'$ は振動時での載荷板と供試体間での底面反力を無視している。図-4から、供試体に作用する応力状態をタイプ(1)と考えた場合の応力比は、前述のモーメントの影響を考え、底面に作用する鉛直応力の最小値を $(\sigma_v)_0'$ と考えたタイプ(4)での応力比に比べて14~16%程度小さいことが分かる。以後に示す結果はこのタイプ(4)の方法で整理を行っている。

比較的大きい寸法の供試体の液状化試験では、供試体の寸法、特に高さとの比が試験結果に影響を及ぼすことが問題とされている。そこで供試体の高さ (h) を3とおりに変えて比較実験を行った。

その結果が図-5である。図中、 D は供試体の直径で60 cm であるので、○, ●, ●印で示す結果はそれぞれ $h=9.2, 4.1, 2.1$ cm の場合のものである。すなわち供試体の周囲にはそれぞれリングが9, 4, 2枚積み重ねられ

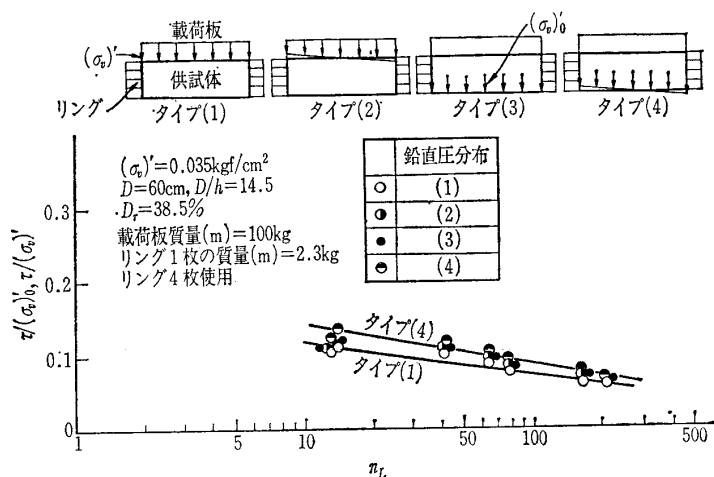


図-4 実験結果の整理法

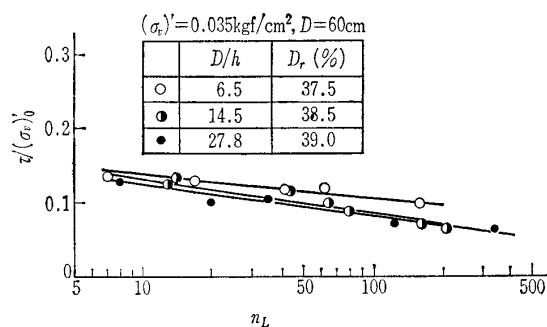


図-5 供試体の高さとの液状化抵抗の関係
(載荷板の質量 $(m)=100$ kg)

て実験が行われた。リングの全質量はそれぞれの場合、20.7, 9.2, 4.6 kg である。この図から、 $D/h=14.5$ と 27.8 の場合の $\tau/(\sigma_v)_0' \sim n_L$ 関係はほぼ一致するのが注目される。しかし、 $D/h=6.5$ の場合、 n_L が大きくなるに従って $\tau/(\sigma_v)_0'$ が他の2者の場合よりも次第に応力比が大きくなる。このように応力比が大きくなる原因の一つとしては供試体厚が大きくなると、振動時での載荷板等の慣性力によって供試体底面に伝達されるせん断応力の度合いが減少することが考えられるが、この点は確認できない。

以上の検討によって、 D/h が 14.5 以上であれば塩化ビニール板リングを積み重ねられたせん断箱内の供試体は側壁の影響を受けずにせん断変形を起こしていると解釈できる。したがって、以後の結果はすべて $h \approx 4$ cm の実験で得たものを示すことにする。なお、Finn¹⁾ は $D/h > 10.3$ であれば、供試体のせん断変形は自由に生じると報告している。

図-6 は質量 (m) = 100 kg の載荷板を用いて側圧 (σ_3) = 0 kgf/cm² すなわち供試体表面での $(\sigma_v)' = 0.035$ kgf/cm² の下で相対密度 (D_r) = 38.5% の供試体について実験を行った結果である。この図は図-5 の結果を再掲しているが、図中、 K_h は供試体底面に与えた水平加速度を震度で表したものであって、 $K_h = 0.109$ はこの一連の実験で用いた最も大きい加速度値で、また、 $K_h = 0.055$ は最も小さい値を示す。すなわちこの実験は $K_h = 0.055 \sim 0.109$ の範囲で行われたことを示す。図から、振動台を用いた液状化実験から得た $\tau/(\sigma_v)_0'$ と n_L の関係は、後で示す動的単純せん断試験等の結果と同じように片対数紙上でほぼ直線で表されるのが分かる。

図-7 は $m = 255$ kg の載荷板を用いた場合の結果である。

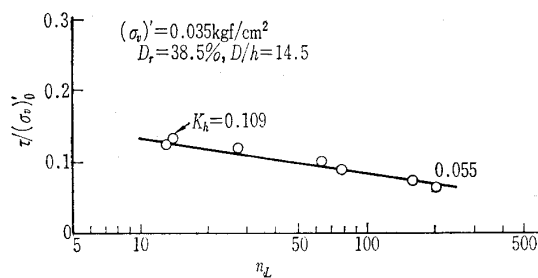


図-6 $\tau/(\sigma_v)_0' \sim n_L$ 関係 ($m = 100$ kg)

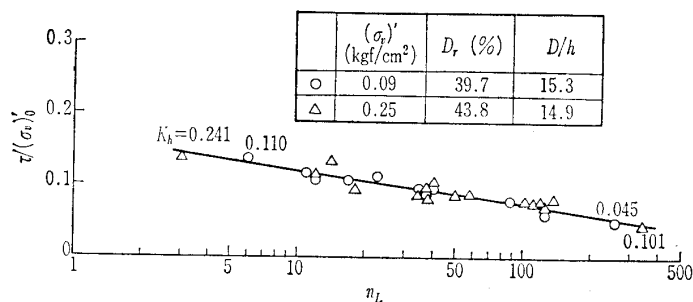


図-7 $\tau/(\sigma_v)_0' \sim n_L$ 関係 ($m = 255$ kg)

著者	試料の大きさ (cm)	長さ (直径) / 高さ	試料	D_r (%)	$(\sigma_v)'$ (kgf/cm ²)
大原	100×58×30	3.4	新宮砂	20.0	0.1, 0.2, 0.3
Albaら	229×107×10	22.5	Monterey No. 0 砂	54.0	0.56
原田ら	60×30×10	6.0	豊浦砂	55-63	0.558
松尾ら	30.2φ×12	2.5	豊浦砂	50.0	1.00
本実験	60φ×4	14.9	新宮砂	40.7	0.035, 0.09, 0.25

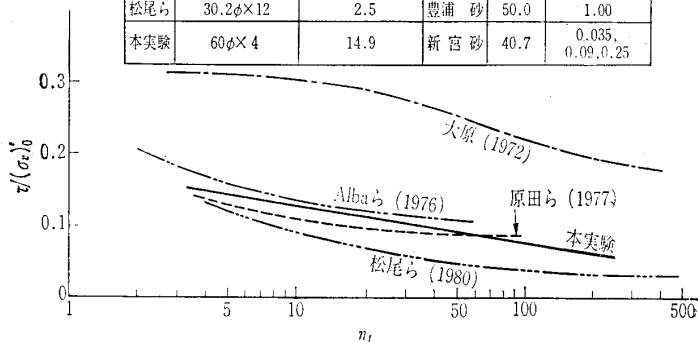


図-8 振動台による砂の液状化実験結果の比較

この場合は側圧 (σ_3) = 0 kgf/cm² ($(\sigma_v)' = 0.09$ kgf/cm²) および $\sigma_3 = 0.16$ kgf/cm² ($(\sigma_v)' = 0.25$ kgf/cm²) の2とおりについて実験を行っている。図から分かるように実験範囲内で鉛直圧の大きさに関係なく $\tau/(\sigma_v)_0' \sim n_L$ の関係は片対数紙上で一本の直線で表される。

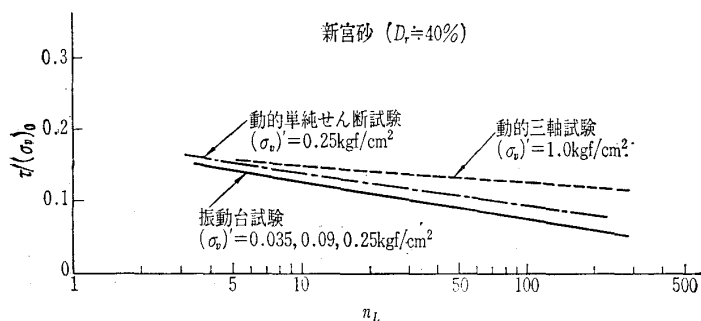
図-6 と図-7 の結果から、本実験で用いた新宮砂 (平均的 $D_r = 40.7\%$) の $\tau/(\sigma_v)_0' \sim n_L$ 曲線は載荷重および側圧の大きさによらずにほぼ一本の線で表すことができるという結果が得られた。その結果を他の振動台による試験結果と比較するために図-8 にまとめて示した。図中の表には各実験で用いた砂の種類、相対密度および供試体の寸法等も示している。

図から、大原 (1972)²⁾ の結果での応力比は他の結果に比べて2倍程度大きいことが分かるが、これは実験に用いた振動箱は振動方向に直角な側壁を固定されたものであるため、実験時に供試体のせん断変形が拘束されたためと説明できる。

De Alba ら (1976)³⁾ の結果は空気圧を加えたときの砂粒子間へのゴム膜の貫入量を補正したものであり、実験ではゴムスリップに包まれた供試体の端部はせん断変形を拘束しないように傾斜がつけられており、鉛直圧は圧力室に圧縮空気を送り込むことによって負荷される。

原田ら (1977)⁴⁾、松尾ら (1980)⁵⁾ の実験は本実験と同様に供試体の側面にはリングが積み重ねられているが、鉛直圧はエアースリンダーを用いた載荷装置で負荷されている。

我々の実験では、供試体を包んだゴム膜の厚さが 1 mm すなわち試料の平均粒径 0.19 mm の約5倍のものをを用いているので、ゴム膜の土粒子間への貫入量は無視できると考えて結果の整理を行っている。いずれにせよ本実験結果は試験方法の異なった De Alba ら、原田らの結果と似かよったものである。なお、松尾らの結果での応力比は他の結果に比べて小さいようである。これらの結果は、この種の振動台を用いた液状化実験に用いる供試体の高さや直径の比に対して一つの目安を与えるが、この点については更



図—9 振動台を用いた液状化実験結果と他の実験結果の比較

に検討の余地があると考え。

図—9は $D_r \approx 40\%$ の新宮砂に対する振動台を用いた今回の液状化実験結果を動的三軸試験機および動的単純せん断試験機による実験結果と比較した結果である。図から分かるように、振動台による実験での応力比は、動的単純せん断試験での応力比より平均的に15%位小さい。また、 n_L が大きい場合、動的三軸試験での応力比に比べては約 1/2 となっている。

このように今回の比較的大きい供試体に対する振動台を用いた実験での応力比が、通常の小さい供試体に対する動的単純せん断試験での応力比よりも小さいという結果は De Alba の論文³⁾ にも示されている。Castro (カストロ)⁸⁾、Seed (シード)⁹⁾、De Alba ら³⁾ によって、動的三軸試験および動的単純せん断試験で用いるような小さい供試体では、応力集中によって応力比が小さくなると言われていることから、上述の結果は供試体の大小による液状化に対する抵抗力の差は応力集中だけでは説明できないことを示唆している。

本実験での振動台を用いた実験結果が動的三軸試験結果よりもむしろ動的単純せん断試験結果とほぼ15%程度の差はあるが、よりよく一致する理由は、振動台を用いた実験と動的単純せん断試験では供試体のせん断変形状態が似ているためと考えられる。なお、動的三軸試験機および動的

単純せん断試験機を用いた液状化実験の方法および装置についての詳細は、先の論文²⁾ に詳しく述べているのでここでは改めて述べない。

以上、 $\tau/(\sigma_v)_0' \sim n_L$ 関係に注目して結果を述べたが、最後に、振動台による液状化実験での間隙水圧(u)の上昇の様子の一例を間隙水圧比 $u/(\sigma_v)_0'$ と繰返し回数比 n/n_L の関係で示したものが図—10である。 n はせん断応力の繰返し回数を示す。図—10には動的三軸試験および動的単純せん断試験の結果の一例も示している。

振動台を用いた実験は側圧 (σ_3) = 0, 0.16 kgf/cm² の 2 とおりで行っており、両方の実験はほぼ同じ応力比 0.08で行われており、 $n_L = 37$ 回の場合の結果であるが、供試体に側圧 (σ_3) = 0.16 kgf/cm² ($(\sigma_v)_0' = 0.25$ kgf/cm²) を負荷した場合には、間隙水圧が n が小さいところで急上昇した後、間隙水圧値がほぼ一定となる範囲を経たのち再び上昇して液状化しているのに対し、側圧を加えない場合は漸増する形となっており両者の上昇の傾向に明らかな違いが認められる。

側圧を加えた場合の間隙水圧の上昇の様子は振動台の実験では振動開始時に加速度が漸増することを考慮すれば動的三軸試験の場合の間隙水圧の上昇の様子と似ている。一方、側圧を加えない場合の間隙水圧の上昇の様子は動的単純せん断試験の場合のそれと類似していることが分かる。

5. 結 語

粗大粒子である礫などを含む砂層の液状化実験なども行うことができるように、振動台上に固定した振動箱内に直径 60 cm、高さ 4 cm の供試体を作製し、その外側にドーナツ状リングを積み重ねて供試体のせん断変形が可能な実験装置を試作した。

本文はこの装置を用いて新宮砂の液状化実験を行った結果を述べ、その結果を他の実験結果と比較検討した。

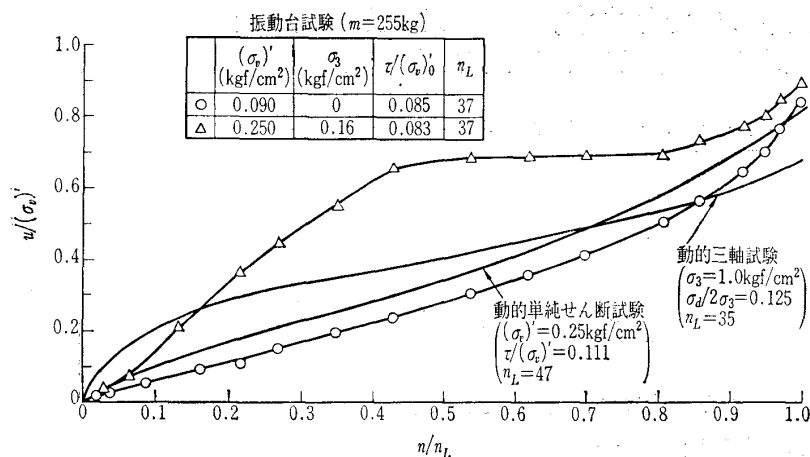
得られた結果を要約すると次のようである。

(1) 供試体の直径と高さの比 D/h が 14.5 以上であれば、供試体の変形はせん断変形に近いものとなると考えられる。

(2) 本実験から得た応力比とせん断応力の繰返し回数の関係は、振動台による De Alba ら³⁾ の実験結果に近いものであった。

(3) 振動台を用いた液状化実験での応力比は、動的単純せん断試験で得た応力比よりもやや小さいものであるが、動的三軸試験でのそれに比べてせん断応力の繰返し回数が大きくなると約 1/2 である。

本実験でも De Alba³⁾ らの結果に見られるように振動台を用いた実験から得た応力比が、通常の小さい供試体に対する動的単純せん断試験で得た応力比よりも小さくな

図—10 $u/(\sigma_v)_0' \sim n/n_L$ 関係

No. 1232

るとの結果を得た。このことは、Castro⁸⁾、Seed⁹⁾、De Alba ら⁹⁾が述べているように供試体が小さい場合、応力集中によって応力比が小さくなるということからだけでは説明しがたい。つまり、現段階では応力集中以外の別の要素が供試体の大きさの違いによる応力比の差異に影響を及ぼしていると考えられる。この点については今後の検討課題としたい。

(4) 振動台による実験で側圧を供試体に加えた場合と加えない場合での間隙水圧の上昇の様子は、それぞれ動的三軸試験、動的単純せん断試験での間隙水圧の上昇の様子と似たものである。

以上、振動台を用いた砂の液状化実験について述べたが、この種の方法には確立されたものがなく、供試体の寸法・供試体に作用させる鉛直圧の負荷方法・供試体のせん断変形を生ぜしめる方法等が異なっているので、試験を行うに当たって吟味すべき点が多く残されているように考える。

そのような点を明らかにするために詳細な実験が行われて振動台を用いての砂の液状化実験の方法が確立されるならば、この実験は通常の直径 5 cm の供試体を用いる実験では、寸法効果が問題となるような礫などを含有する砂質土の液状化特性を調べる上で有用な方法となると考えて以上の実験を行った。

終わりに本実験を手伝ってくれた本学学生西山泰，花倉宏司両君に感謝の意を表したい。

なお、本研究で用いた装置の作製の一部に昭和54年度文

部省科学研究費奨励研究(A)の補助を受けたことを付記する。

参 考 文 献

- 1) Finn, W. D. L.: Soil Dynamics-Liquefaction of Sands, Proceedings of International Conference on Microzonation for Safer Construction Research and Application, Seattle, Wash., Vol. 1, pp. 87~111, 1972.
- 2) 大原資生・鈴岡直彦: 振動砂箱による飽和砂の液化に関する実験結果の検討, 土質工学会論文報告集, Vol. 12, No. 4, pp. 85~94, 1972.
- 3) De Alba, P., Seed, H. B. and Chan, C. K.: Sand Liquefaction in Large-Scale Simple Shear Tests, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 102, No. GT 9, pp. 909~927, 1976.
- 4) 原田次夫・打田靖夫・大長昭雄: 大型単純せん断型液状化試験機の開発と液状化実験例, 土質工学会第12回土質工学研究発表講演集, pp. 401~404, 1977.
- 5) 松尾 修・佐々木 康・舟見清己: 大型単純せん断型液状化試験装置の試作, 土木学会第35回年次学術講演概要集, pp. 131~132, 1980.
- 6) 吉見吉昭: 砂地盤の液状化, 技報堂出版, pp. 33~34, 1980.
- 7) O-hara, S.: An Experimental Study on the Liquefaction of Saturated Soil, Using Shaking Table, Technology Reports of the Yamaguchi University, Vol. 1, No. 2, pp. 261~270, 1973.
- 8) Castro, G.: Liquefaction and Cyclic Mobility of Saturated Sand, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 101, No. GT 6, pp. 551~569, 1975.
- 9) Seed, H. B.: Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground during Earthquakes, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 105, No. GT 2, pp. 201~255, 1979.

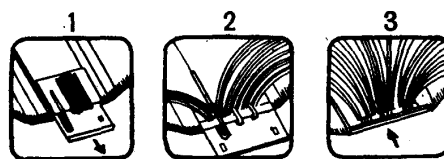
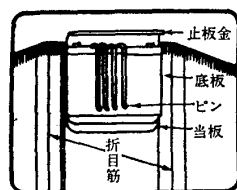
(原稿受理 1980. 11. 7)

学会誌「土と基礎」合本 ファイル

製本のいらない表紙

1 冊500円(送料別)

- ① 1 図に示す様に上下の止板金を引出しますと一定のところまで止ります。(尚強く引きますと取り外しもできます) 必要のPINを抜きとり
- ② 2 図に示す様に合本される本の中心折目を開き底板を同時に挟み込み止金板を差込みます。
- ③ 1 図, 2 図を繰返すことにより 3 図のように製本されます。



ピンはヘアーピンでも代用できます

お申込みは 土質工学会販売係まで