

III-163

遠心力場における液状化現象の再現に関する基礎的実験

大成建設㈱技術研究所 正会員 ○田中 満、名倉克博
正会員 川崎宏二、樋口雄一

はじめに

筆者らは、遠心装置を用いて液状化現象の再現実験に取り組んでいる。実験を進める過程で、以下の2点に関して疑問を持ち、検討を始めた。1) 地盤の共振周波数は、液状化強度を判定する際に重要であるが、縮尺模型の共振周波数は遠心力場で変化するかどうか。2) 間隙流体の種類の違いは、過剰間隙水圧の上昇過程に影響を及ぼすと報告されているが、消散過程ではどうか。本報では現在、検討中の結果を報告する。

縮尺模型の共振周波数について

遠心加速度 ng 場において砂地盤の液状化強度を調べる場合、地盤材料を実物と等しく、模型地盤の寸法を実物の $1/n$ とし、加振波は振幅 a を $1/n$ 、周波数 f を n 倍にすれば、実物と相似な振動状態を模型内に再現可能であるとされている。このとき、 $1/n$ に縮小した模型地盤の共振周波数は実物の n 倍である必要がある。

地盤の質量を m 、ばね定数を k とすれば、共振振動数 ω_0 は、式 (1) で表される。

$$\omega_0 = \sqrt{k/m} \quad \dots\dots (1)$$

模型と実物の間で、質量 m_m, m_p およびばね定数 k_m, k_p の関係は、式 (2) および式 (3) で表される。

$$m_m = (1/n^3)m_p \quad \dots\dots (2)$$

$$k_m = (1/n)k_p \quad \dots\dots (3)$$

ばね定数 k は式 (4) で与えられる。模型と実物でせん断弾性係数 G は等しいと考える。

$$k = G \cdot A / (H/2) \quad \dots\dots (4)$$

ここに、 A ：試料断面積、 H ：試料高さ
式 (2) および式 (3) を、式 (1) に代入すると、振動数の関係式 (5) が得られる。

$$\omega_{0m} = n \cdot \omega_{0p} \quad \dots\dots (5)$$

したがって、模型地盤の共振振動数は実物の n 倍となる。また、式 (5) は重力加速度 g に無関係なので、模型地盤の共振周波数は重力場でも遠心力場でも等しく、実物の n 倍となる。

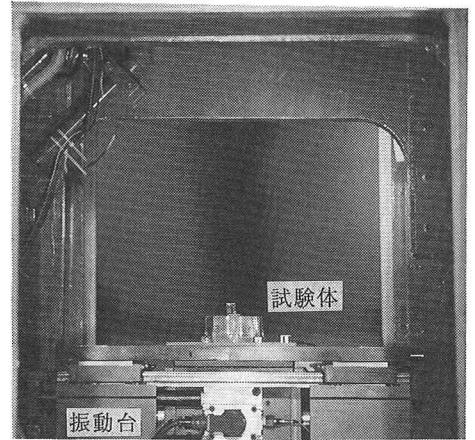


写真-1 シリコンゴム試験体

表-1 試験体の諸元

寸 法	単位体積当りの質量	せん断弾性係数
$\phi 10\text{cm} \times h 5\text{cm}$	0.98 g/cm^3	667 gf/cm^2

表-2 加振条件

実験条件	遠心加速度	加振加速度 a	周波数 f	波数 N
重力場	$1g$	$0.06g$	$30 \sim 70\text{Hz}$	15
遠心力場	$50g$	$3g$		

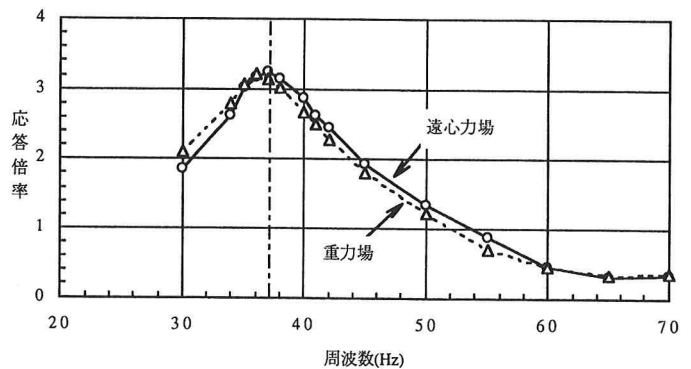


図-1 シリコンゴム試験体の周波数特性

重力場および遠心力場における共振周波数の関係を調べるために、比較的安定な材料であるシリコンゴム試験体を作成した。試験体の外観を写真-1に、諸元を表-1に示す。実験で用いた試験体のせん断弾性係数 G は、かなり軟らかい土に相当する。この試験体を遠心装置のバスケット上に搭載した加振装置に取付け、重力場および遠心力場において共振実験を行なった。加振波は表-2に示す正弦波で、振動台および試験体上面の加速度を加速度計を用いて測定した。図-1は、試験体の周波数特性曲線で、応答倍率は振動台および試験体上部の加速度振幅の比を示す。グラフより、重力場および遠心力場における共振周波数はほぼ一致している。次に、式(1)を用いてシリコンゴム試験体の共振周波数を計算したところ、 $f = 36.8$ (Hz)が得られた。計算値は、図-1中に一点鎖線で示したように、試験体の共振周波数とよく一致している。したがって、遠心力場における縮尺模型の共振周波数は、重力場とほぼ等しいと考えられる。

間隙流体の粘性の違いが過剰間隙水圧に及ぼす影響

間隙流体として水またはシリコンオイル(粘性係数 $\eta = 55\text{cp}$)を用いて、液状化再現実験を行い、過剰間隙水圧 Δu の推移を比較した。模擬地盤は、せん断容器（ $\phi 400 \times h 400\text{mm}$ ）中に浅間山砂を落下高さ2cmの位置から落下させ、同時に間隙流体を地盤底部より飽和させながら、供試体高さを25cmとした。次に供試体を遠心載荷して砂自重による応力を与えた。模擬地盤の物性を表-3に示す。その後、遠心加速度50g場において、振動台を用いて加振した。加振波は正弦波で、加速度 $a = 2\text{g}$ （水平震度 $K_h = 0.04$ ）、周波数 $f = 50\text{Hz}$ （実物換算で、1Hzに相当する）、波数 $N = 20$ 波である。深さ $z = 10\text{cm}$ （実物換算で、 $Z = 5\text{m}$ ）の位置に設置した過剰間隙水圧 Δu の測定結果を図-2に示す。グラフより過剰間隙水圧 Δu は、間隙流体の種類に拘らず上昇し、加振にともない $\Delta u / \sigma'_v \div 1.0$ まで達した。このとき、いずれの供試体も液状化を生じたことを目視にて確認した。水の過剰間隙水圧 Δu は、加振終了後（ $t = 0.4$ 秒）より直ちに消散を始めるが、シリコンオイルでは、 $t \div 0.7$ 秒まで上昇し続けている。また過剰間隙水圧の消散速度は、粘度によりかなり異なることが分る。目安として、過剰間隙水圧が $\Delta u / \sigma'_v = 0.7$ まで消散するために要する時間を比較すると、シリコンオイルでは水の約5倍である。この値は2種類の間隙流体の粘性係数の比

乾燥密度 ρ_d	最小密度 $\rho_{d_{\min}}$	最大密度 $\rho_{d_{\max}}$	相対密度 D_r
1.45 g/cm ³	1.27 g/cm ³	1.64 g/cm ³	50 %

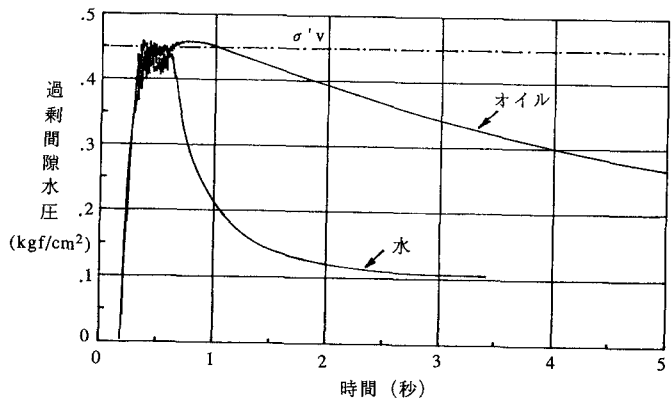


図-2 過剰間隙水圧 Δu の測定結果

率 $\eta_{oil} / \eta_{水} = 55$ と一致しない。すなわち、過剰間隙水圧の消散速度に着目した場合、模擬地盤に対するシリコンオイルの透水係数は水の場合の1/55ではなく、1/5でしかない。液状化発生時だけでなく、発生後の間隙水圧分布も再現するためには、間隙流体の種類および粘性に関して、さらに検討を重ねる必要があると思われる。現在、粘性係数 $\eta = 35\text{cp}$ のシリコンオイルを用いて同様の実験を行い、検証中である。

あとがき 今後は、せん断弾性係数値が土の物性に近い供試体を用いた共振実験、重力場および遠心力場におけるシリコンオイルの模擬地盤に対する透水実験を行う予定である。

参考文献 1) 柴田徹、上田孝行: 遠心力場における飽和砂地盤の液状化実験, 第26回土質工学研究発表会, 1991.