

振動箱内の粘土層の振動性状について

運輸省港湾技術研究所 正員 〇 稻富隆昌
横山健次
黒川 誠

1 はじめに

近年、構造物を軟弱地盤に建設せざるを得ない事情にある。現在、地震時における軟弱地盤の挙動、更には軟弱地盤と構造物の動的相互作用などは、地中地震動観測、振動三軸試験および共振試験によるサンプルテスト、数値計算などにより調査研究がなされているが未だ十分なものではない。今回、振動台を用いて、振動箱内の粘土層の振動実験を行い、粘土層の小さなみから大きなみにおける振動性状、振動箱壁の粘土層の振動性状に与える影響、更に低拘束圧下の粘土の動的変形特性などを調べたので報告する。

2. 振動装置

振動実験は当研究所の粘性土振動試験装置を使用して行われた。振動台は水平および上下方向を油圧によって支持され、水平一方向に振動する動電駆動方式である。最大加振力は18 tonf、振動数は1~100 Hzである。粘性土の力学的性質は圧密状態によって著しく影響を受けるので、本装置には圧密載荷装置を設けた3個の実験槽(内寸法3m×3m×1.2m)が用意されている。圧密載荷は油圧で制御される9本のシリンダーによって載荷板を押す方式で圧密荷重は、0.0~1.0 kg/cm²である。圧密を完了した実験槽は運搬台車で振動台まで運搬され据え付けられる。図-1は各装置の実験室内における配置を示す。

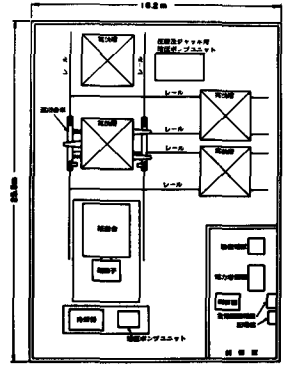


図-1 実験室内の装置配置図

3. 粘土

振動実験に使用した粘土は川崎粘土である。粒度組成は砂分1.1%、シルト38.4%、粘土60.5%、また土粒子の比重は2.71である。

振動実験は表-1に示す5ケースを行った。一例としてケース4の圧密終了後の粘土層深さ方向の一軸圧縮強度 σ_c 、破壊ひずみ ϵ_b 、含水比 w 、単位体積重量 γ_s を図-2に示す。粘土層各深さの諸定数はほぼ一定値を示し、圧密が深さ方向に、ほぼ均一に行われたことを示す。図-3は各ケースの深さ方向のひげき比の平均値と圧密荷重との関係を示したものであるが比較的良好な関係を示している。ただし、ケース3は当初の圧密荷重に対して圧密が不十分であったため、他のケースの結果の傾向から離れている。図-3には6.1の共振試験による低拘束圧下の粘土のせん断定数を求めるために用いた試料(川崎粘土)から求めた結果も示している。この試料は0.2 kg/cm²で予圧密したブロックサンプルから直径50mm、高さ125mmの寸法に成形した円柱中実共試体を共振試験装置のセル内で等方圧密圧力(0.67, 0.35, 0.15 kg/cm²)で圧密したものである。図-3では K_0 値を0.5と仮定して等方圧密圧力を圧密荷重に逆算し、振動実験粘土と比較しているが両方法によ

表-1 実験ケース

実験ケース	1	2	3	4	5
圧密荷重P(kg/cm ²)	0.23	0.15	0.23	0.53	1.0
ひげき比 ϵ	2.19	2.39	2.44	2.03	1.82
単位体積重量 γ_s (kg/cm ³)	1.52	1.49	1.50	1.56	1.60
粘土層厚(cm)	67.2	77.9	72.7	71.5	58.5

って求めたひげき比と圧密荷重の関係は同等のようである。

4. 加振および測定

台加速度は10~250 Galの範囲の一定加速度の正弦振動で1~50 Hzまで発振器あるいは磁気テープによる

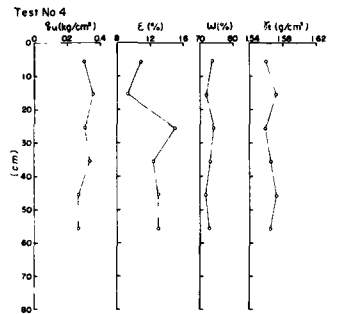


図-2 土質試験結果

り作用させた。振動実験は振動箱内全体の粘土層の振動実験と振動箱内に粘土層を自立させた粘土柱の振動実験を行った。粘土層内の加速度計配置の一例を図-4に示す。

5. 実験結果

5.1 粘土層の振動性状

振動箱壁の影響を受けた粘土層の振動性状をみるために、共振時における粘土表層中心点の深さ方向、粘土表層中心点から振動直角方向および振動方向にある地質の最大加速度応答倍率(粘土層各点の最大加速度/振動台の最大加速度)を求めた。その一例としてケース3の実験結果を図-5に示す。台加速度が130 Gal程度までは振動直角方向側の応答倍率は壁面から離れると大きくなっている。しかし、140 Gal以上では余り変化がみられない。この傾向は振動方向側にも表われている。これは低加速度レベルにおいては壁面の影響が粘土層中心に及んでいることを示していると思われる。また、台加速度レベルが大きくなると各点の応答倍率は減少していき、図-6に示す粘土表層中心点の共振曲線にみられるように1次共振々数も低下し、粘土層の非線形振動特性がうかがえる。これは粘土のひずみ増大に伴うせん断定数の低下および減衰定数の増加による現象として説明されるであろう。しかし、今回の振動箱による振動実験では壁の影響も含まれていることは勿論である。次に圧密荷重がケースより大きいケース4の最大加速度応答倍率を図-7に示す。実験結果をながめると壁の影響がケース程強く出ていない。振動直角方向側では壁から50cm

離れるとほぼ同じ応答倍率を示している。しかし、ケース4は他ケースと同様に壁の影響を除いた実験ではないので、本ケースのみが比較的的低加速度レベルから壁面の影響を示していない理由がはっきりしない。また、台加速度レベルが増大すると共に各点の応答倍率が減少し、図-8に示す粘土表層中心点の共振曲線にみられるように1次共振々数が減少するのはケース3と同様である。なお、ケース1, 2, 5の粘土層の振動性状はケース3と同様の傾向を示しており、0.15~1.0 kg/cm³で圧密した粘土層の振動は今回使用した程度の振動箱内ではこの壁の影響を受けることが明らかになった。

5.2 粘土柱の振動性状

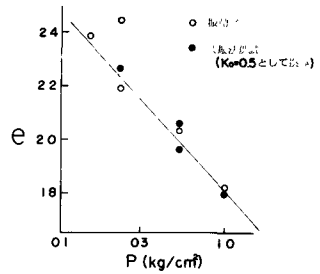


図-3 圧密荷重と向けき比

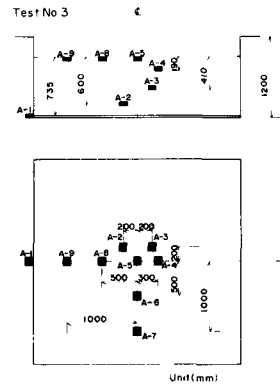


図-4 加速度計配置

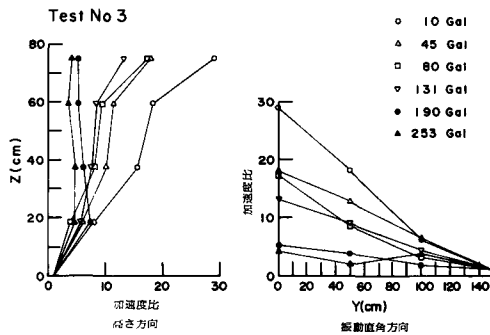


図-5 最大加速度応答倍率(ケース3)

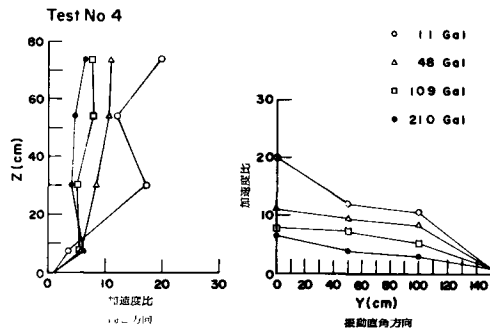


図-7 最大加速度応答倍率(ケース4)

5.1の実験終了後に壁面の影響を受けにくい粘土層の振動から低拘束圧下の粘土の動的定数(ここではせん断定数)を調べるためにケース4, 5の実験に使用した粘土層の底面を2m×2mにした粘土柱の振動実験を行った。粘土柱の振動形の概略を捉むために、共振回数においては粘土柱の相対加速度と台加速度との間の位相差を90°として粘土柱の中心の各深さの相対変位を台加速度レベル毎に示したのが図-9である(ケース4を示す)。また、粘土を一樣せん断弾性体とした場合の粘土柱の1次共振形も示した。実験結果は台加速度レベルが低い程その振動形はせん断形を示す。

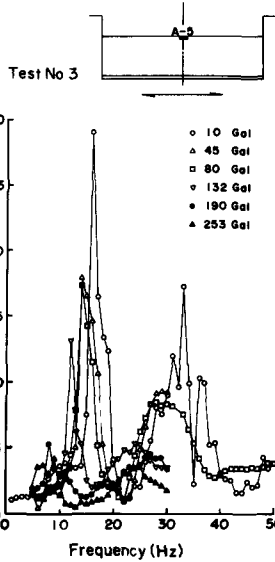


図-6 共振曲線(ケース3)

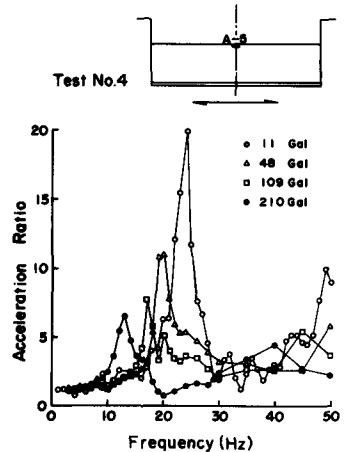


図-8 共振曲線(ケース4)

6. 考察

6.1 粘土の動的定数

土と構造物の動的相互作用を解析するためには、現場あるいは模型地盤の動的定数をあらかじめ知っておく必要がある。特に模型地盤は一般に拘束圧も小さいためにその土の動的定数も明らかでない。今回、3.にて述べた共振試験と5.2にて述べた粘土柱の振動実験から低拘束圧下の粘土のせん断定数を求め、比較検討した。振動実験では圧密荷重を撤去した後の粘土層について実験を行っているので共振試験も粘土供試体を図-3に示したように向けき此を振動実験の粘土に一致させるように圧密し、その後、非圧密非排水条件で試験を行った。その共振波によるせん断ひずみとせん断定数Gの関係を図-10に示す。せん断定数は圧密圧力に比例して大きくなる。一方、5.2にて示した粘土柱を各加速度計の中間点で分割し、粘土柱の質量をその真に集中させて、粘土柱をせん断弾性系にし、5.2にて求めた相対変位、相対加速度を用いて各点間のせん断ひずみとせん断定数を求めた。なお、せん断定数とひずみの関係は粘土柱がせん断振動形をしていると考えられる低加速度レベルの部分のみにした。その結果も図-10に示した。その結果にはある程度のバラツキはあるがせん断定数は圧密荷重が大きいのほど大きく、また、ひずみが大きくなると共にその値は低下することがわかる。先に示した共振試験結果と比較すると同じひずみにおいては振動実験の方が大きい値を示している。この差を今回の実験からのみで判断するのは困難かも知れないが、非圧密非排水条件のもとでの共振試験ではわずかな試験のずれもせん断定数に影響を与えてしまうと報告されており、このこともひとつの原因と考えられる。

Test No.4-2

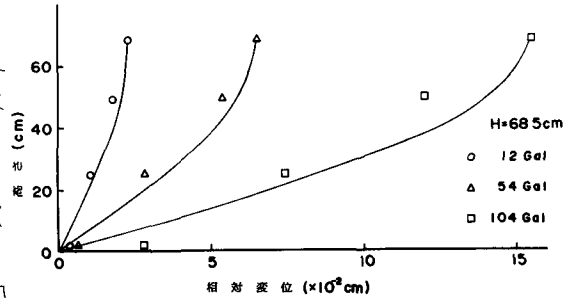


図-9 粘土柱の相対変位

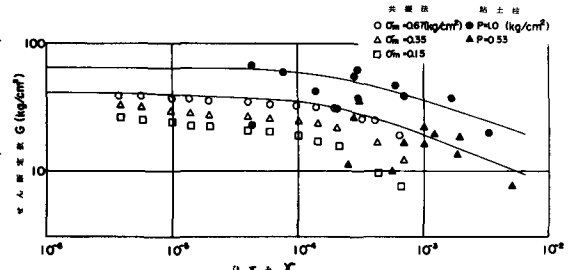


図-10 せん断定数とせん断ひずみ

6.2 粘土層の振動性状 振動箱内の粘土層の振動実験を行い、粘土層の振動特性、特に加速度応答の非線形性が明らかになった。しかし、今回の実験では振動箱壁の影響を除去してないため、粘土層本来の振動特性を忠実に表現してないであろう。そこで、5.1に示した振動箱壁の影響が粘土層中心部に強く及んでいないと思われるケース4の実験を土のひずみ依存性を工学的にうまく用いられている等価線形法に近似させた2次元平面ひずみモデルで再現してみた。なお、せん断ひずみレベルに対応するせん断定数は図-10に示したケース4の粘土柱の値、減衰定数は今回求められているので現在提案されている値を用いた。粘土層中心の共振曲線の計算結果を図-11~13に示し、実験結果と比較した。計算から求めた1次共振角数は各台加速度レベル毎に実験結果と比較的よく一致している。一方、応答倍率は全体に実験より計算の方が大きく出ている。これは低拘束圧下における粘土の減衰特性が一般に提案されているものより更に大きくなると思われる。しかし、台加速度レベルの増大に伴う共振角数、応答倍率の低下および共振角数に対する共振曲線の非対称性など粘土の非線形性は表現できている。したがって、各ひずみレベルに適切なせん断定数、減衰定数をとることにより近似的な手法ではあるが等価線形モデルで軟弱地盤の振動性状を推定することは可能であろう。

7. まとめ

振動箱内の低拘束圧下の粘土層の振動実験を行った。主な結果は次のとおりである。

- 1) 幅3m、長さ3m、高さ1.2mの振動箱内にある圧密荷重0.15~1.0kg/cm²の粘土層(厚さ約0.6~0.8m)は壁の影響を受けて振動する。また、粘土層の振動は台加速度レベルが増大すると1次共振角数の低下と共に加速度応答倍率も低下し、粘土層の非線形性がうかがえる。
- 2) 振動箱壁の影響を除去した粘土柱の振動実験および共振試験により低拘束圧下の等価せん断定数を求めた。せん断定数は圧密荷重の大きい程大きく、ひずみ依存性がみられるが、その値は振動実験の方が大きい。
- 3) 等価線形モデルによりケース4の実験を再現した。本モデルは近似的手法ではあるが台加速度レベルの増大に伴う粘土層の非線形振動を比較的よく表現することができると考えられる。

今後、振動箱内において軟弱地盤と構造物の動的相互作用を調査研究するために 振動箱壁の粘土層に与える影響の定量的把握、低拘束圧下土の動的定数の推定、更に非線形振動解析手法の精度向上等を図る予定である。

参考文献

- 1) 石原 他, 粘性土の非排水強度と動的摩り定数について 第12回土質工学研究発表会 1977
- 2) 石原研向, 土質力学の基礎 PP196~202 鹿島出版会

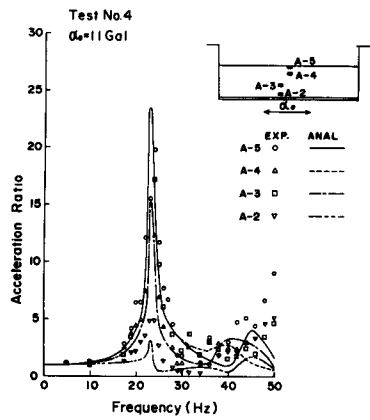


図-11 実験結果と解析結果(1)

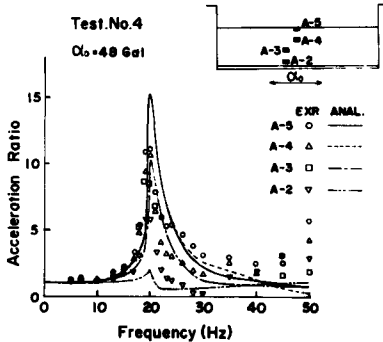


図-12 実験結果と解析結果(2)

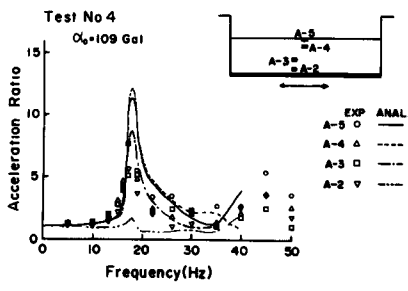


図-13 実験結果と解析結果(3)