

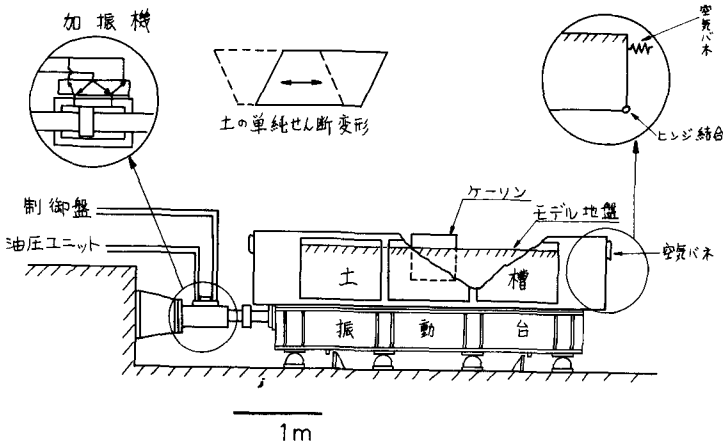
砂地盤内のケーソン・モデルの地震時安定性

東京大学工学部 正員 石原 研而
 東京大学大学院 学生員 ◦増田 民夫
 東京大学大学院 学生員 松井 芳彦

まえがき

飽和土中に設置されたケーソンが地震時に大きな変位や倒壊を起こしたりするのは、地盤中の間隙水圧が上昇して、土の有効応力が減り、支持力が失われるためと考えられる。そこで、モデル実験により、ケーソン周辺で間隙水圧がどのようにして上昇して行き、それに伴ってケーソンの変位がいかに進行するのかを調べてみることにした。以下はその実験の概要である。

実験装置



主な仕様

土槽寸法 1 x 4 x 0.8(m)
 最大加速度 0.8 G
 周波数 0.2 ~ 20 Hz
 最大出力 5 ton
 最大振幅 ±100 mm
 最大速度 27 cm/sec

Fig. 1 実験装置

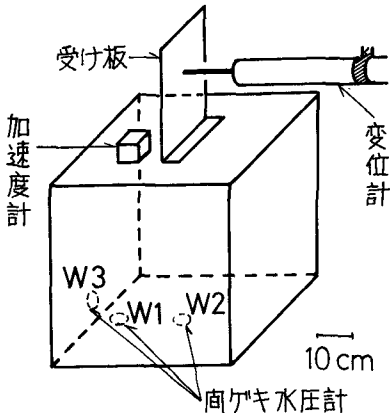
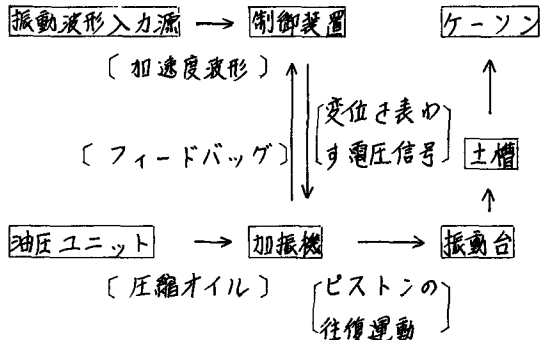


Fig. 2 モデルケーソンと計測器

装置系



この種のモデル実験で常に問題となるのは、いかにして実際地盤の挙動をモデル地盤にうまく再現するかということになる。その為モデル地盤の規模を4(長さ)×1(幅)×0.8(高さ)[m]とかなり大き目にとり、さらにFig.1に示すような空気バネ支承を使用している。このバネを使用することにより、容器の壁を土の動きと一致させ、有限なモデル地盤にエンドレスな状態を与え、実際地盤が地震時に示す単純せん断変形を正確にモデル地盤に再現できる様考慮した。

空気バネの空気圧は、両端の壁とモデル地盤とが一体となって動くように働くことが望ましい。そこでモデル地盤中央表面と壁上部とに、加速度計を設置して両者の挙動を調べた。その結果以後の実験においては、0.3~0.6 g の空気圧を空気バネに与えることにした。

試料

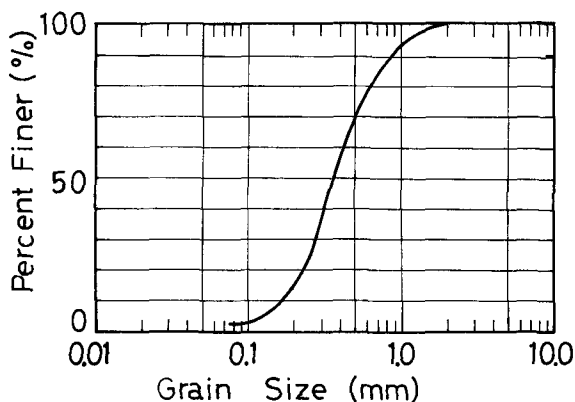


Fig.3 粒径加積曲線

$\phi \quad \sin \phi = 1.17 \sqrt{1+e}$

$e_{min} \quad \phi = 10 \text{ cm}, V = 1000 \text{ cm}^3$ モールド
25kgランマーによる5層100回
の突き固めによる。 0.587

$e_{max} \quad 1000 \text{ cc}$ メスシリンダに乾燥砂を
入れ、水で濡して何回か転倒さ
せ、極力ゆるめにする。
1.040

G_s 比重試験より、 2.756

予備実験

予備実験として、モデル地盤内の加速度を測るとFig.4の様になる。又、モデル地盤表面長手方向の加速度を測ると、位相差はみられず、加速度の値も同一であった。これらにより、壁摩擦の影響が強いと思われる周辺部を除いてはFig.4に示す様な一次モードによるかなりきれいな単純せん断変形を起していると思われる。

本実験

1 観測事項 実験はモデルケーソンの根入れ深さを47cmと30cmの場合について行い、以下の項目を検討することにより、液状化時のケーソンの挙動を詳しくとらえることにした。

- ケーソンと地盤の動き。
- 加振時に発生するケーソン底面の間隙水圧、ケーソンの絶対変位。
- ケーソン上加速度と振動台加速度。

地盤中央の垂直加速度分布

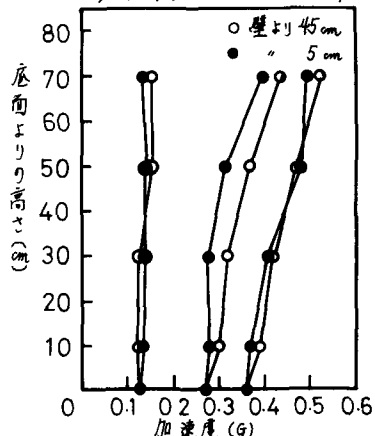


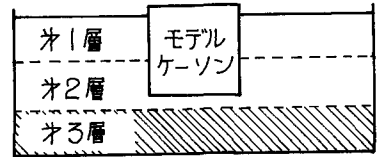
Fig.4

2 実験手順 槽内に水を30cmほどためておき、そこへホッパーより乾燥砂を落す。砂粒子が水の中をゆっくりに沈降するようにして、飽和ゆるぎめの一様な砂地盤をつくった。砂を28cmほど堆積した後、モデルケーソンを水平に設置し、その後ケーソンの根入れ深さに応じて、砂を槽内に堆積させてモデル地盤を完成させた。

3 結果

(1) 側壁ガラス越しの観察(根入れ47cmの場合)

最初の液状化は第1層で起り、第1層と第2層の間でズレが生じる。この瞬間、この境界層より水が湧き上がり、地盤表面に湧き出て噴水現象となった。引き続き加速度を上げてゆく事により、今度は第2層と第3層の間で上述と同様の現象が生じ、第1層、2層が完全に液状化した。



■ 非液状化層

Fig.5 液状化時の地盤とケーソン

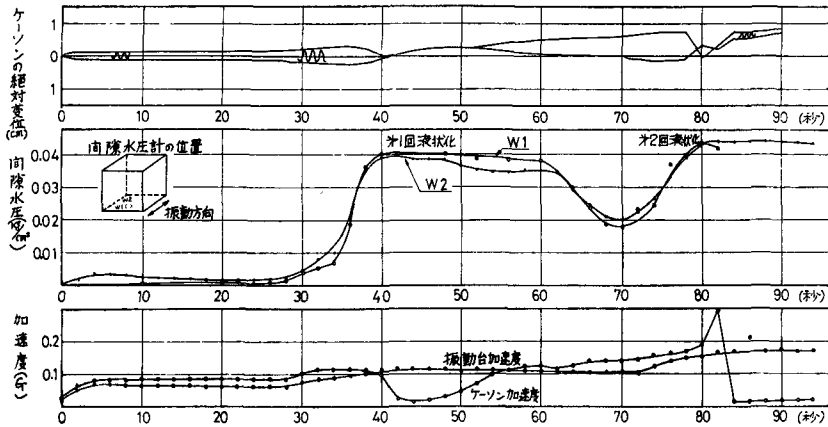


Fig.6 加振時のケーソンの挙動 (根入れ47cm)

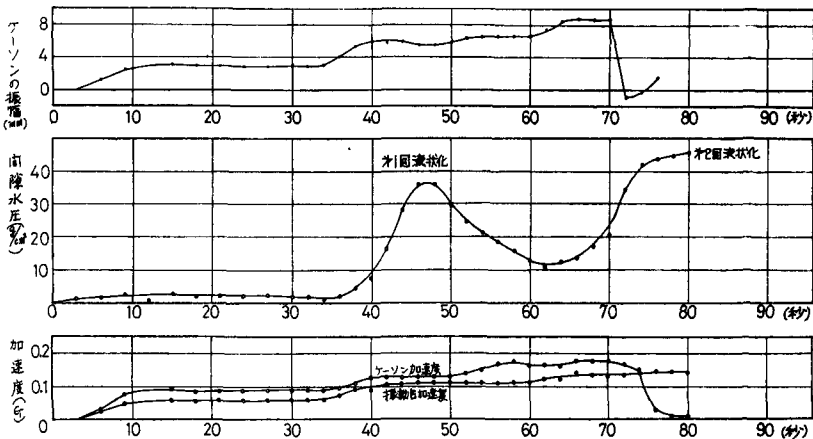


Fig.7 加振時のケーソンの挙動 (根入れ30cm)

この時モデルケーソンは、液状化した地盤内に完全に浮きあがり、静止した。振動台加速度を下げることにより、地盤は落ち着いてきた。

(2) 加速度 間隙水圧 ケーソン絶対変位
加振時に得られたデータより Fig. 6, Fig. 7 が得られる。以下これらの図について述べる。Fig. 8 に間隙水圧の発生状況を示した。

○間隙水圧は振動台加速度がある値以上になると上昇し初め、その後急激な増加をみせて、最初のピーク(第1回液状化)を迎える。

振動台加速度を一定にしておく事により、地盤は落ち着きを取り戻し、それに伴い間隙水圧は低下する。

○第2回液状化の際には、前者の場合と異なりケーソン上加速度は低下し、絶対変位もほぼ0となっている。ケーソンが浮きあがり、地盤の支持力を失ってしまった事がわかる。加速度を下げる事により、ケーソンはただちに支持力を得る。これはケーソン上加速度の急激な上昇をみると明らかである。

○根入れ深さによるケーソンの挙動の大きな違いは、第一回液状化時 (Fig. 6, 40秒 Fig. 7, 47秒) にある。即ち、根入れが47cmの場合にはケーソンが浮きあがる挙動を示したのに反し、根入れ30cmの場合には、間隙水圧の上昇にもかわりなく、ケーソン上加速度の降下がなく、依然地盤に支持され、振動台に合った動きを示した事である。これは間隙水圧のピークの継続時間の長さによるものと思われる。即ち30cmの場合には第一回液状化において、47cmの時程完全な液状化が起っていたものと思われる。

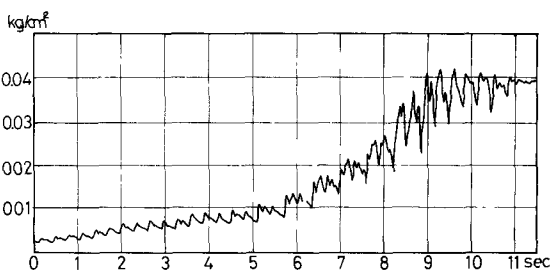
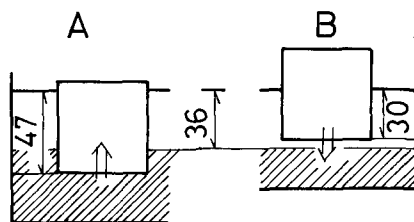


Fig. 8 間隙水圧発生状況(底面中央)

	根入れ(47cm)	根入れ(30cm)
液状化前	$e=0.92$ $D_r=26\%$	$e=0.96$ $D_r=18\%$
液状化後	$e=0.75$ $D_r=63\%$	$e=0.76$ $D_r=62\%$

Table-1 液状化前後の間隙比と相対密度

4 考察 今回の実験のモデルケーソンは比重が1.44になるように設計されている。又液状化時の地盤の単位体積重量がほぼ2割であることも考え合わせる事により、根入れ深さの限界は36cmとなる。従ってこれより根入れの深さが大きい場合、例えば47cmの場合には浮きの点、ケーソンは浮きあがってしまう。浅い場合、例えば30cmの時は、逆に非液状化層に支持されつつ沈み込むのである。従って、ケーソンの比重を周辺地盤の単位体積重量より大きくする事により、根入れの限界が深くなり、ある程度の深さでの液状化の際にもケーソンは、非液状化層に支持されながら沈みこんでゆけるのではないだろうか。



非液状化層

Fig. 9 液状化時のケーソンの挙動