

1 まえがき

地震動によって飽和砂質地盤は液状化する。このとき、液状化地盤に存在する地中構造物がどのような挙動を示すかはそれぞれ明らかではない。しかし、杭基礎に関して、飽和砂質地盤の液状化過程において、一時的に大きな振動応答を示すことを砂箱を用いた模型振動実験によって、伯野が初めて指摘している。液状化過程において杭基礎模型が大きな応答を示すということは岩崎・龍岡・吉田、あるいは吉田・植松らによっても実験的に確かめられている。

震害例を見てみると、新潟地震(1964. 6. 16., $M=7.5$)では地盤の液状化によって通信ケーブル、送電線、上下水道、ガス管などの地中埋設管を浮き上がり、折下、屈曲、折損などの被害が生じている。さらに、宮城県沖地震(1978. 6. 12., $M=7.4$)でも地中埋設管の被害が報告されている。また、地下鉄などの地盤中に存在する重要構造物でも、液状化などの地盤破壊を経験していないものもある。このような構造物に対しても地震観測が行なわれている。だが、これまでの観測例では、入力である地震動は微小で地盤-構造物系は線形範囲で振動していると思われる。したがって、これまでの地震観測の結果から、地盤が液状化した場合のような非線形応答を類推するのはむずかしいであろう。

以上述べたように、液状化による地盤破壊によって水平方向に細長い地中構造物も大きな被害が生じている。また、地盤破壊を経験していない重要構造物もある。それ故、本研究は埋設する模型として水平方向に細長い塩ビパイプを用いて液状化実験を行なう。液状化過程における塩ビパイプの曲げヒズミ応答特性を明らかにすることによって、地中埋設管や地下鉄などの水平方向に細長い地中構造物の液状化過程における非線形応答の特性が推察できよう。

2 実験装置及び実験方法

実験装置は振動台、発振器、砂箱、測定装置及び記録装置から成り立っている。実験に用いた砂箱は幅、長さ、高さがそれぞれ $360 \times 1000 \times 250$ (mm)である。模型地盤の材料には豊満標準砂を用いた。粒径は 0.2 mmを中心として、 $0.1 \sim 0.4$ mmの間には分布している。

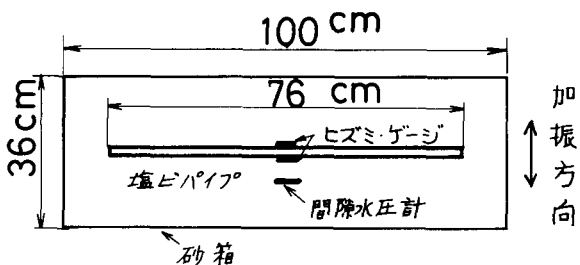


図-1 塩ビパイプの埋設状況(平面図)

模型地盤は所定量の砂(100kg)と水を用いて作製する。目標とする地盤の含水比によって、使用する水の量を加減した。本実験では地盤の含水比を使用した水と砂の重量比で表現した。飽和地盤を作成する場合には、まず砂箱へ水を 1 kg仕入れて、次に乾燥砂を水が浸透しなくなる直前まで入れる。これを繰り返して飽和地盤を作成する。また、不飽和地盤を作成する場合には、まず砂箱に砂を 1 kg仕入れて、次に水をジョウロで散布する。これを繰り返して不飽和地盤を作成する。このようにして作製した模型地盤の層厚は約 20 cmとなる。

塩ビパイプと間隙水圧計は地盤中央の、地盤高 10 cmのところに埋設される。埋設状況の平面図を図-1に示す。塩ビパイプにはヒズミゲージを貼付して、2ゲージ法で最大曲げヒズミを測定する。このとき、間隙水圧の変化によって液状化の進行状況を判断する。入力としては正弦波(6 Hz)とランダム波を用いた。ランダム波の発生には東京測振院のランダム波発生器CLP-55型を用いた。この装置はマイクロ・コンピュータを内蔵しており、擬似ランダム波をA/D変換して、デジタルで重畳を掛けてから、D/A変換してアナログで出力する。実験には高周波成分(20 Hz以上)をローパス・フィルターでカットさせたものを用いた。

3 実験結果及び考察

図-2は飽和地盤(含水比0.270)に埋設された塩ビパイプのヒズミ応答波形である。間隙水圧が上昇して、地盤が軟化して地盤が動きやすくなる不完全液状化時に大きなヒズミ応答が見られる。しかし、地盤が完全に液状化してしまうと、ヒズミ応答は小さくなっている。これは地盤が完全に液状化してしまうと、セン断波を伝えないので、塩ビパイプに外力が作用しないために考えられる。

図-3は不飽和地盤(含水比0.240)における塩ビパイプのヒズミ応答波形である。飽和地盤における実験結果と同様に、間隙水圧が上昇し始めて地盤が軟化して、不完全液状化状態になるとヒズミ応答は大きくなっている。その後、地盤が液状化して外力を伝えにくくなると塩ビパイプのヒズミ応答は小さくなっている。しかし、その後、すぐにヒズミ応答は大きくなっている。その理由は地盤の含水比が低く、砂粒子がすぐに再堆積して外力が塩ビパイプに作用し始めるからであると思われる。

次に、比較のために乾燥地盤中に埋設された塩ビパイプのヒズミ応答を図-4に示す。但し、ヒズミ振幅の再倍率は飽和、不飽和地盤におけるヒズミ振幅(図2, 3)に対して、10倍で図示してある。これら3種類の地盤における実験結果から、飽和あるいは不飽和地盤の液状化過程において示される曲げヒズミ応答は乾燥地盤における応答よりかなり大きい(約17倍)ことがわかる。しかも、不飽和地盤ではその大きな応答が人力の継続している間ずっと見られる。(図-3)

以上の実験では単一成分波である正弦波(6Hz)で砂箱を加振させている。しかし、実際の地震波は種々の周波数の波を成分とする複雑な波である。そこで、人力として実際の地震波に近いランダム波を用いて液状化実験を行ない、埋設された塩ビパイプの曲げヒズミ応答を測定した。図-6は飽和地盤における塩ビパイプのヒズミ応答である。間隙水圧が上昇し始めて地盤が不完全液状化の状態になると大きなヒズミ応答が見られる。しかし、図-5 ランダム入力に対するヒズミ応答地盤が完全に液状化するとヒズミ応答は小さくなる。このようなヒズミ応答特性は正弦波を用いた場合の実験結果と全く同じである。

4 あとがき

本実験によって、埋設塩ビパイプの液状化過程におけるヒズミ応答特性が定性的ではあるが明らかになったものと思われる。

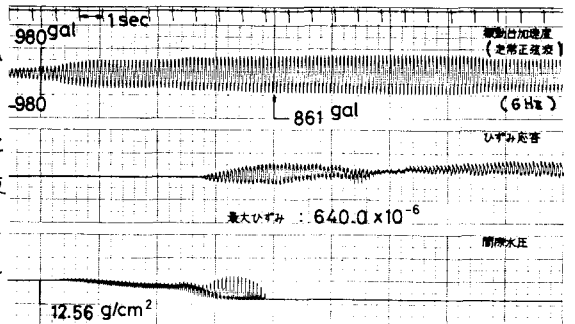


図-3 不飽和地盤(含水比0.240)におけるヒズミ

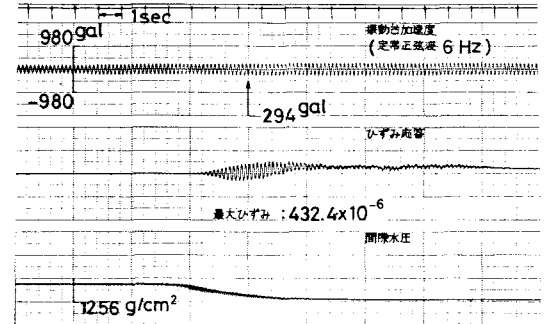


図-2 飽和地盤(含水比0.270)におけるひずみ応答



図-4 乾燥地盤におけるひずみ応答

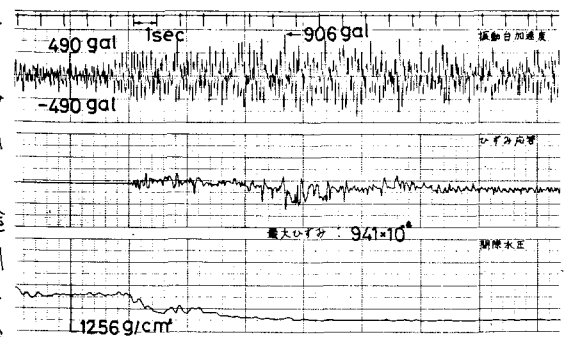


図-5 ランダム入力に対するヒズミ応答