

# 砂層中の杭の動的挙動に関する模型振動実験

建設省土木研究所 岩崎敏男  
建設省土木研究所 ○龍岡文夫  
日本大学修士課程 坂場義雄

## § 序論

橋梁の耐震設計には、杭基礎の動的挙動を適格に把握する必要がある。今回、振動台上の砂箱中に作製した乾燥砂層および飽和砂層中に杭基礎模型を設置し、正弦波振動による模型実験を行った結果、地盤の振動特性が杭の挙動を大きく支配することが分かった。

## § 実験装置・模型・砂・実験方法

図-1, 2に示す砂箱を油圧式振動台に載せ、電磁式アクチュエーターで駆動した。砂箱は振動方向の拘束を減じるため端壁の下端はヒンジ結合とした。砂は  $G_s=2.877$ ,  $D_{50}=0.52\text{mm}$ ,  $U_c=1.52$  であり、乾燥、飽和砂層共に作成時は  $D_r \approx 40\%$  である。飽和砂層は水中に乾燥砂をホッパーから落下させて作成した。表-1に示す4種の実験を行った。図-1, 2に杭模型と測定計器の配置を示す。各実験とも台加加速度を数種変化させた。加振時間は各段階で約60秒である。単杭は同時に3本設置した。それぞれEIが約10倍づつ異なる。群杭は9本の単杭から成っている。表-2に示す単杭4.5mm厚模型と群杭の模型の示様は次の様にして決めた。(実際の橋梁基礎の場合で液状化する恐れのある砂層の固有振動数) > (地震動の卓越振動数) > (液状化層を取り去った場合の橋梁の固有振動数) の場合を想定した。この関係を満足するように模型を作った。まず砂地盤模型の  $r=10^{-4}$  の固有振動数は、Gの値を求めた要素実験の結果から推定すると、飽和で  $18H_z$ , 乾燥で  $22H_z$  である。振動入力力は  $12H_z$  である。単杭4.5mm厚模型と群杭模型の水中固有振動数はそれぞれ  $2.7H_z$ ,  $4.0H_z$  であり、上述の想定した固有振動数関係を満足している。同時に、実際と模型では  $EI/L^5$  が一致するようにした。単杭9mm厚模型、22mm厚模型はEIの影響を調べるために設置した。

## § 実験結果

図-3~9に実験結果を示す。これらから次の事が判明した。

(1) 完全液状化の場合を除いて、いずれの場合も地盤が杭を動かしている。これは土圧計の位相は地盤が杭

表-1 実験条件

| 実験名称 | 地盤条件 | 台加加速度(仮称)gal |     |     |     |     | 加振時間(秒) | 振動数Hz |
|------|------|--------------|-----|-----|-----|-----|---------|-------|
|      |      | I            | II  | III | IV  | V   |         |       |
| 単杭乾燥 | 空気乾燥 | 100          | 150 | 200 | 250 | 300 | 約60     | 12    |
| 単杭飽和 | 和    | 100          | 150 | 250 | 150 | 300 | 約60     | 12    |
| 群杭乾燥 | 空気乾燥 | 100          | 150 | 200 | 250 | 300 | 約60     | 12    |
| 群杭飽和 | 和    | 100          | 150 | 250 | 150 | 300 | 約60     | 12    |

表-2 杭諸元

| 名称    | 厚さ     | 幅   | 長さ   | 杭質量    | EI                                          | 自由振動数     |           | 杭材料 |
|-------|--------|-----|------|--------|---------------------------------------------|-----------|-----------|-----|
|       |        |     |      |        |                                             | 空気中       | 水中        |     |
| 単杭4.5 | 0.45cm | 6cm | 70cm | 0.54kg | $9.6 \times 10^4 \text{kg}\cdot\text{cm}^2$ | $5.8 H_z$ | $2.7 H_z$ | 鋼製  |
| 単杭9   | 0.9    | 6   | 70   | 0.54   | $7.7 \times 10^4$                           | 10.6      | 8.5       | 〃   |
| 単杭22  | 2.2    | 6   | 70   | 0.54   | $1.1 \times 10^7$                           | 13.8      | 13.4      | 〃   |
| 群杭    | 直径2cm  |     | 70   | 4.4    | $2.4 \times 10^4$ *)                        | 4.0       | 3.8       | アルミ |

\*) 杭先端、杭頭の固定が完全として計算した値

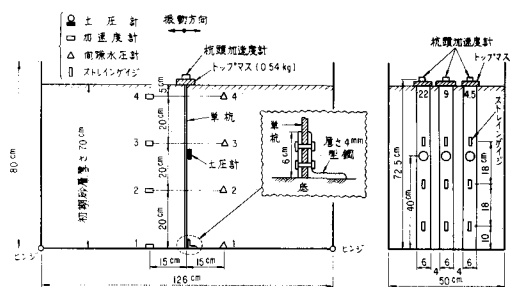


図-1 単杭実験計器配置図

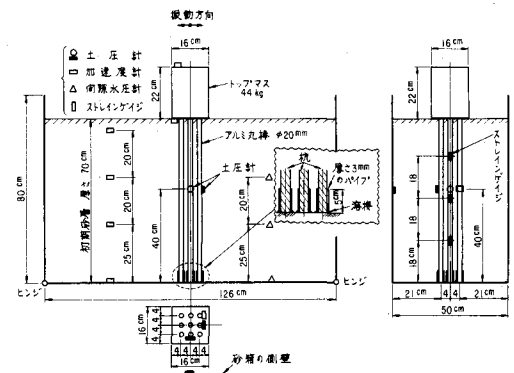


図-2 群杭実験計器配置図

を押していることを示していること、不完全液状化している時に地盤が大きく振動している時にそれに応じて杭が大きく応答していることなどから推測される。

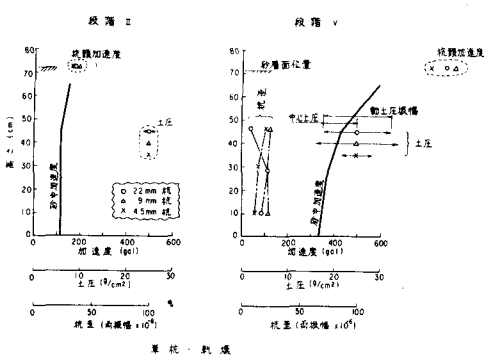
(2) 飽和砂槽で液状化が生じた時は非定常な現象が生ずる。<sup>1), 2)</sup> これは、間隙水圧の変化による地盤内の有効応力の変化、それに伴う砂層の剛性と杭に対する拘束力の変化、それに伴う地盤と杭の固有振動数と応答特性の変化によって理解できる。(a) 飽和砂層の固有振動数は過剰間隙水圧が全く発生していない時では約18Hzであり、完全液状化すると0Hzに近くなる。従って、液状化の進行過程で砂層の固有周期が入力12Hzと一致する段階が生ずる。この段階では、砂層の応答値も大きくなり、動土圧(≈杭を押す力)も大きくなっている。この時杭頭加速度も大きくなり、杭の歪も大きくなっている。(b) 完全液状化すると、砂層は絶対静止し、動土圧もほとんどゼロになる。液状化砂層中で固有振動数が12Hzになる可能性の少ない群杭では、液状化時の応答値、杭歪も小さくなっている。これは図-7の群杭の水中での挙動からも推測できる。しかし、単杭の場合図-8、9を比較して分かる様に、液状化砂層中の挙動は段階Ⅱ、Ⅲでは必ずしも同一ではない。段階Ⅱでは液状化時には、いずれの杭の応答値も小さいが、段階Ⅲでは応答値はそれほど小さくはない。特に単杭22mmの応答値は小さくはない。これは、段階Ⅲの液状化の程度が段階Ⅱの時よりもやや低く、単杭に対する地盤拘束が(特に下の方で)残っていたためと推定される。単杭の場合は地盤の杭に対する拘束の程度によって杭の固有周期が微妙に変化する可能性があるから、非定常な液状化過程の杭の挙動は非常に複雑なものになっているものと思われる。(c) 液状化からの回復時は、表面に近い所では液状化状態であるが下層は液状化状態から脱しているものと思われる。この時、杭はある自由突出長を持った状態になるであろう。

(3) EIの影響は乾燥砂層の場合は小さいが、液状化過程では明らかにある。これは、液状化によって地盤の拘束がはずれた時には杭独自の剛性が応答に大きな影響を持つようになるためであろう。

尚、実験・解析は、中央大学池本正英氏、野間博伸氏に手伝っていただいた。感謝の意を表します。

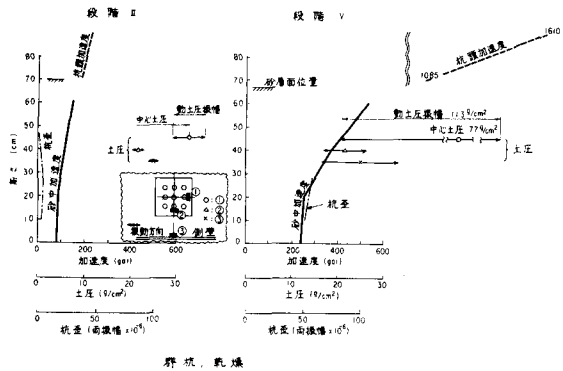
## § 参考文献

- 1) 鹿籠、佐藤、伯野「不完全液状化の地中構造物に及ぼす影響」1973年土木学会年次講演会第三部
- 2) 吉田、植松「液状化した砂中に於ける杭に関する模型実験」1975年土木学会年次講演会第三部



単杭・乾燥

図-3 単杭・乾燥砂層実験



群杭・乾燥

図-4 群杭・乾燥砂層実験

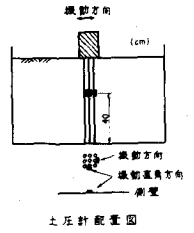
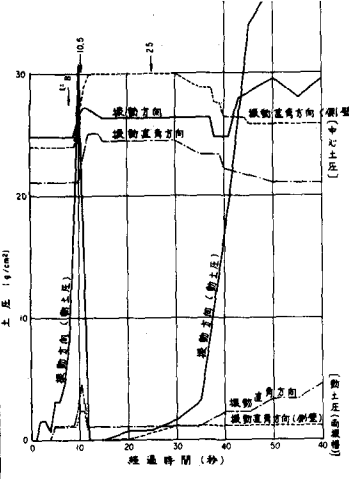
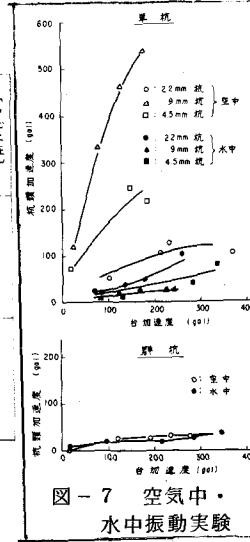
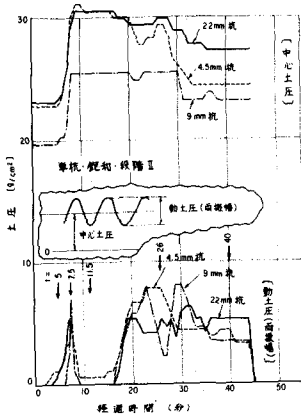
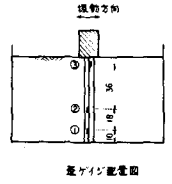
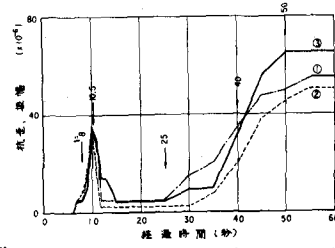
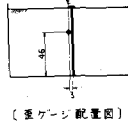
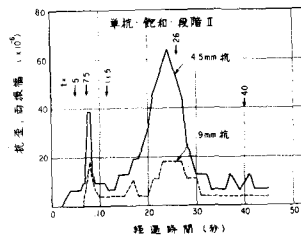


図-7 空气中・水中振動実験

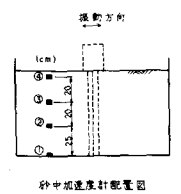
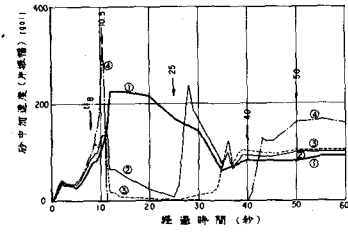
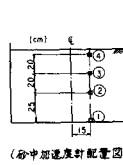
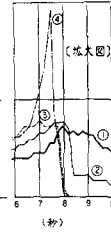
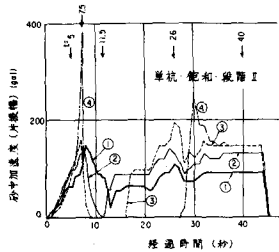
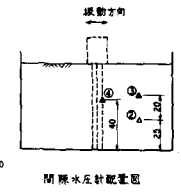
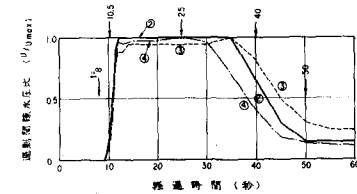
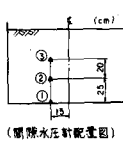
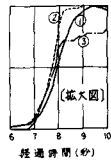
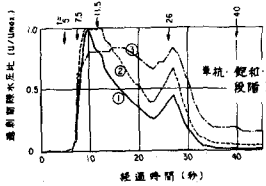
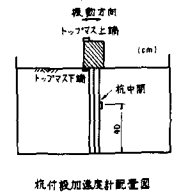
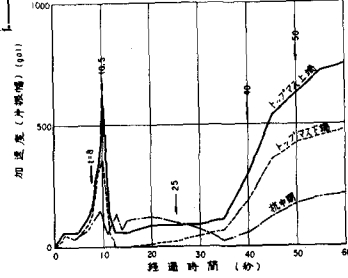
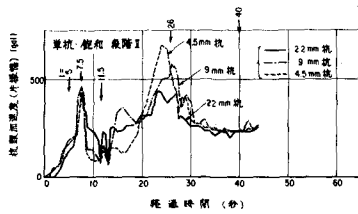
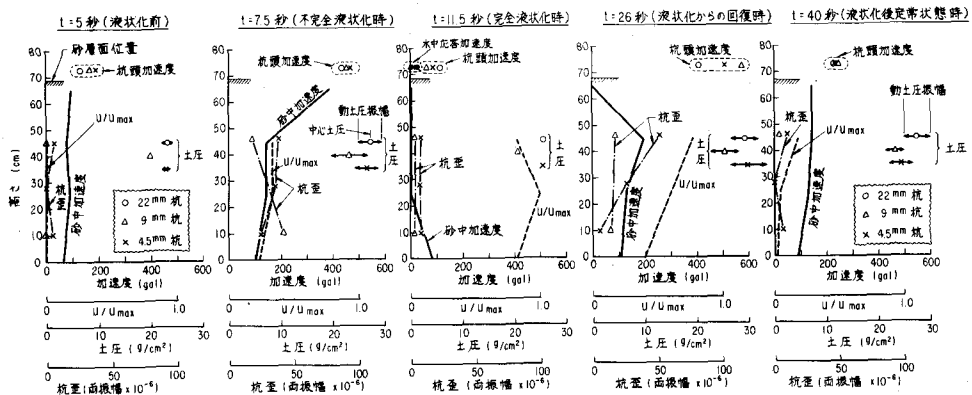


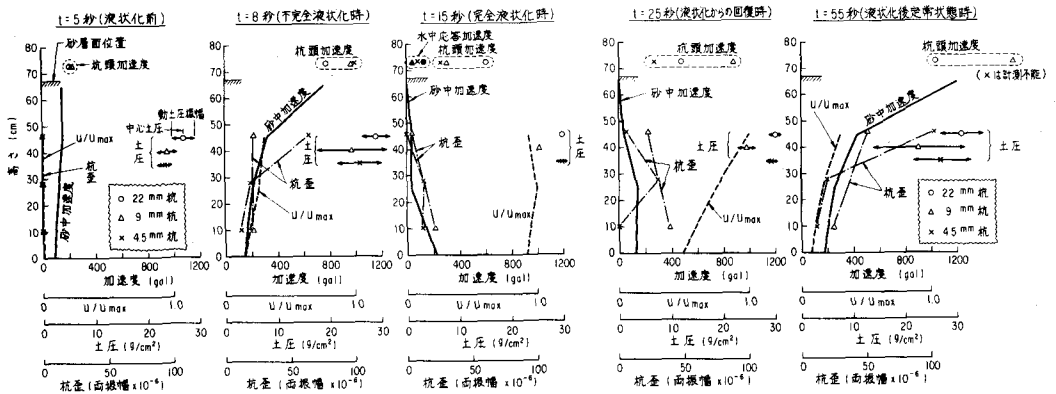
図-5 単杭・飽和砂槽実験 (段階Ⅱ)

図-6 群杭・飽和砂槽実験 (段階Ⅱ)



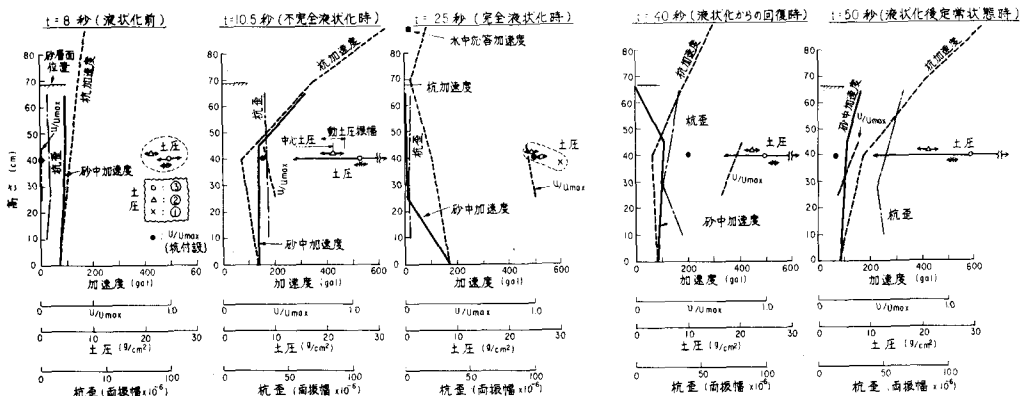
單杭・飽和 段階Ⅱ

図-8 單杭・飽和砂槽実験(段階Ⅱ)



單杭・飽和 段階Ⅲ

図-9 單杭・飽和砂槽実験(段階Ⅲ)



群杭・飽和 段階Ⅱ

図-10 群杭・飽和砂槽実験(段階Ⅱ)