

(98) 新しい液状化対策杭の振動台実験

飛鳥建設(株) 正会員 森 伸一郎

正会員 ○ 三輪 滋

1. はじめに

液状化対策には、密度の増大、間隙水圧の消散促進、変形の抑制などすでに数多くの工法があるが、筆者らは、「土そのもののせん断特性を積極的に利用する」という考えのもとに杭に翼を取り付けた新たな対策工法（液状化対策杭）の可能性を検討するために、基礎的な実験を実施した。ここではその考え方、実験の概要について報告する。

2. 液状化対策杭の基本的な考え方

飽和した緩い砂地盤が地震時に繰返しせん断されると、非排水状態ではせん断ひずみの蓄積で過剰間隙水圧が蓄積され液状化に至る。一方、密な砂地盤では、ある程度以上にせん断ひずみが大きくなると、正のダイレタンシー特性により負の間隙水圧が生じ、せん断剛性は急激に回復する。このような現象はサイクリックモビリティ現象と呼ばれ、液状化とは区別される。土要素の繰返し載荷試験の結果では中密砂の場合でも、大きなせん断ひずみが生じると、密な砂ほど明瞭ではないが、このようなせん断剛性の回復が見られる。

液状化の可能性がある地盤においては、基礎構造は杭基礎となる場合が多い。このとき杭の見かけのばね剛性の回復を図ることができるならば、杭の変位も抑制されと考えられる。そこで、局所的に地盤のせん断ひずみを励起することで、土本来のダイレタンシー特性を積極的に利用して、失われたせん断剛性の回復を図ることを目的に、周囲に翼状の突起を設けた「液状化対策杭」（以下対策杭と呼ぶ）を考案した。

図-1に対策杭に期待する効果を示す。この杭は、取り付けた突起でせん断ひずみを励起するため、地震力が小さい場合には過剰間隙水圧が上昇しやすくなることが考えられるが、液状化が発生するような地震力が作用した場合には、地盤をより早くサイクリックモビリティ状態にさせることで杭周辺地盤のせん断剛性回復し、杭の変位を抑制させようとするものである。対策杭の一例を図-2に示す。

3. せん断土槽を用いた振動台実験

前述したような効果の発現や程度については、まだ検証されていない。そこで、対策杭の挙動と効果の定性的な把握を目的に、小型せん断土槽を用いた振動台実験を行った。実験は、幅 50cm、奥行き 50cm、高さ 40cm のせん断土槽に対策杭と普通の杭（以下非対策杭と呼ぶ）を設置後、緩い飽和砂地盤を作成し、振動台により加振して液状化を生じさせ杭・地盤の挙動を計測した。図-3に杭模型と計器配置を示す。

地盤は相対密度 40 % を目標に、豊浦標準砂を用いて落下高さ 25cm から空中落下法で作成し、地盤底面から CO₂ を通気し、土槽内の空気と置換後、脱気水を通水し、緩い飽和砂地盤を作成した。杭の支持層にあたる土槽下部 5cm は礫層とした。なお、比較のために乾燥砂地盤による実験も行った。

杭模型は対策杭・非対策杭とも直径 30mm、厚さ 2mm のアクリル製パイプを用いて作製した。対策杭には、杭周面にせん断ひずみを励起するためのアクリル製の翼（幅が杭径の 1/2(15mm)、高さが杭径と同じ 30mm）を 90° 間隔にまた、深さ方向に 4 段設置

表-1 実験ケース一覧

case	地盤条件	杭先端条件	目標入力加速度 (cm/s ²)
1	飽和砂	自由	40,100,200,350
2	乾燥砂	自由	40,100,500
3	飽和砂	自由	40,100,150,300,350
4	飽和砂	固定	40,100,150

した。杭模型は基本的には先端自由として設置したが、比較のため先端固定の場合も行った。実験では杭頭部の変位・加速度、杭周囲の過剰間隙水圧、地盤内の加速度・過剰間隙水圧を計測した。加振には 5Hz の Sin 波 50 波 (10 秒) を用い、加速振幅を変えて種々の加振を行った。表-1 に実

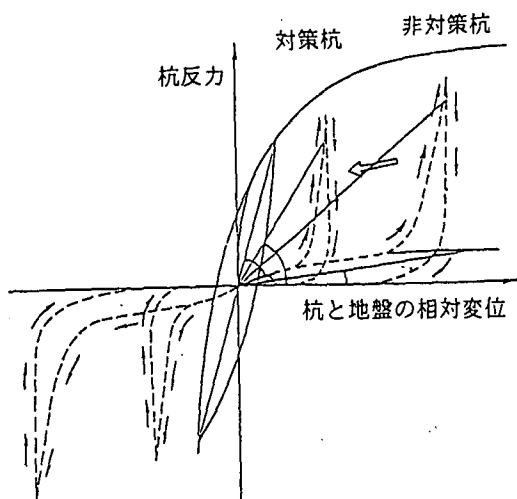


図-1 液状化対策杭に期待する効果

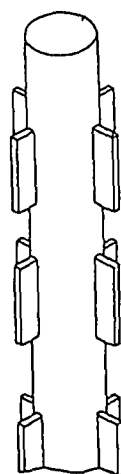
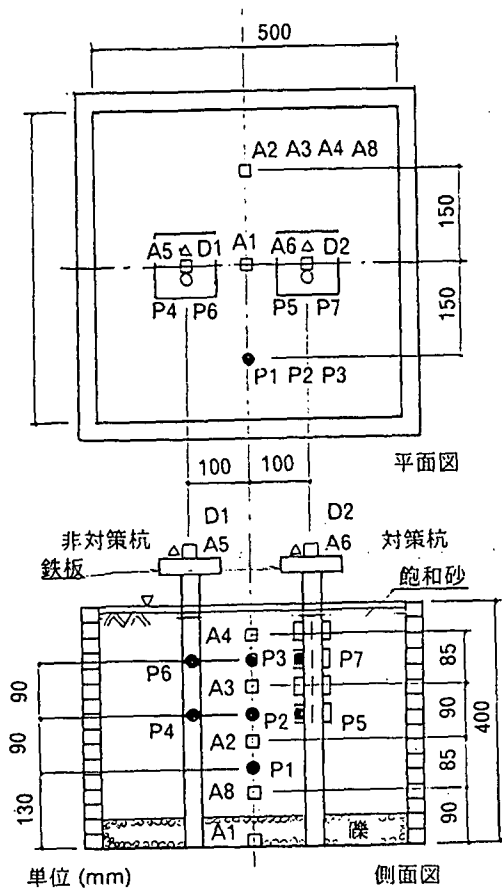
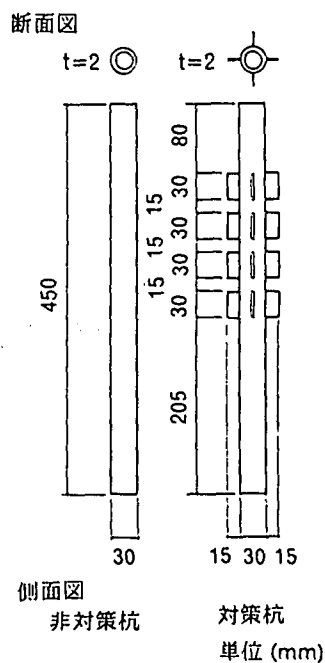


図-2 液状化対策杭の概念図



(a) 小型せん断土槽による振動台実験の
模型、計測器配置図

- : 間隙水圧計 (P1 ~ P7)
- : 加速度計 (A1 ~ A8)
- △ : 変位計 (D1, D2)



(b) 液状化対策杭模型図

図-3 杭模型と計器配置図

験ケースを示す。

4. 実験結果

対策杭の効果の判定する指標としては、せん断ひずみの励起による間隙水圧の上昇やサイクリックモビリティの発現については、杭周・地盤の過剰間隙水圧、杭頭の加速度に着目した。また、対策杭の変位抑制については、杭頭変位に着目した。

乾燥砂地盤の場合には、両者で変位の違いはほとんど見られない。杭頭加速度も違いは見られない。また、飽和砂でも入力小さく液状化に至らない場合では相違が見られない。これらの場合で両者に相違が見られないことから、飽和砂に見られる相違は過剰間隙水圧の挙動の違いと考えるられる。

図-4に飽和砂地盤の場合の杭周の間隙水圧波形を示す。間隙水圧は対策杭が非対策杭よりも大きい。対策杭は、翼によって周囲の地盤のせん断ひずみを励起し、間隙水圧の上昇しやすくしているものと考えられる。また、杭と地盤の相対変位がより大きいと考えられる杭先端固定の場合では、対策杭に見られる間隙水圧の立ち上がり部分の変動振動数は10Hzであり、間隙水圧の上昇が杭と地盤のせん断、つまり翼とのせん断によって励起されていると考えられる。

図-5に杭頭加速度と杭頭変位波形を示す。加速度波形では5.4秒とその次のピークで対策杭にスパイク状の波形が見られる。これは地盤に生じたサイクリックモビリティ現象の反映となって現れるものと考えられ、この部分に対応して変位波形でも両者に振幅のずれが生じている。この後の加速度波形はいずれの杭も小さくなっており、せん断剛性の回復までは至らず地盤は液状化状態となっているものと推定される。変位振幅も小さくなり両者の両振幅については差が認められない。このように波形の最初の部分で両者に相違が見られるものの、当初想定していた振動変位を抑制する効果は、この実験結果からは明瞭には確認できない。実験時の変位振幅がサイクリックモビリティを励起するほど大きくなっていない可能性もあり、今後大型の実験での検証などが必要と考えられる。また、特定振動数に依存しない地震動やホワイトノイズでの加振も必要と考えられる。

一方、変位については、非対策杭では残留変位が片側に徐々に蓄積し傾斜していくのに対し、対策杭では残留変位はそれほど大きならない。入力加速度と残留変位の関係を図-6に示す。今回の実験では、いずれのケースも対策杭の方が残留変位が小さくなっており、定性的には残留変位の抑制効果があると見られる。しかし、メカニズムについては明瞭でなく、今後、側方流動が起こる模型地盤などでの検証が必要である。

5. まとめ

液状化対策杭の基礎的実験により、次のような結果が得られた。

- ①乾燥砂や液状化していない場合には、対策杭と非対策杭の挙動には差が見られない。
- ②杭に翼をつけることによって、杭周の過剰間隙水圧は上昇しやすくなる。
- ③地震時の変位の振動成分を抑制する効果については、明瞭には確認できなかった。
- ④杭の残留変位を抑制する効果が確認できた。

6. 課題

- ①今回の実験では変位に差は見られなかったが、実験の地盤の変位振幅が、現実のサイクリックモビリティを励起するほど大きな変形となっているかが問題であり、さらに大きな土槽での実験が必要である。
- ②今回の加振振動数は5Hzという特定の振動数のため、その周波数特性に依存した結果となっている可能性があり、地震動やホワイトノイズによる加振が必要と考えられる。
- ③残留変位については、実際に側方流動が起こるような模型地盤で検証する必要がある。

今後さらに検討を進める予定である。

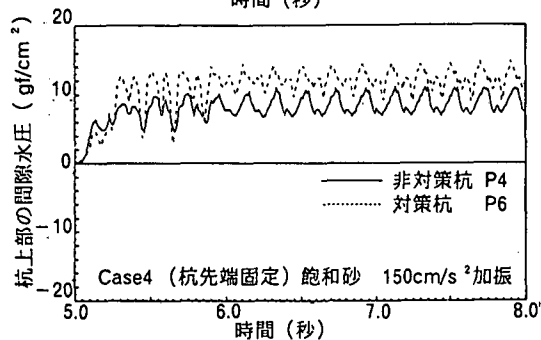
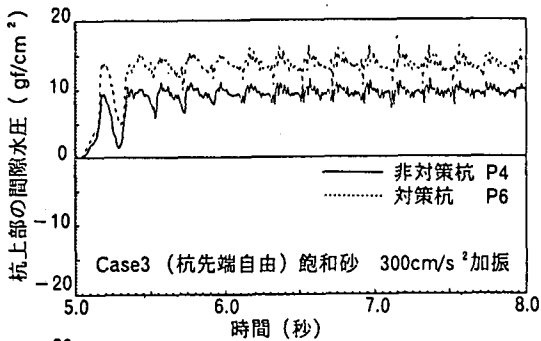


図-4 杭周間隙水圧の比較

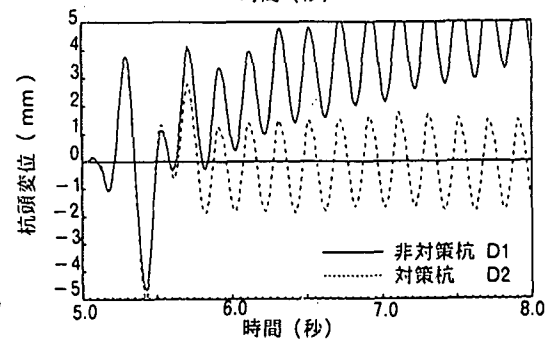
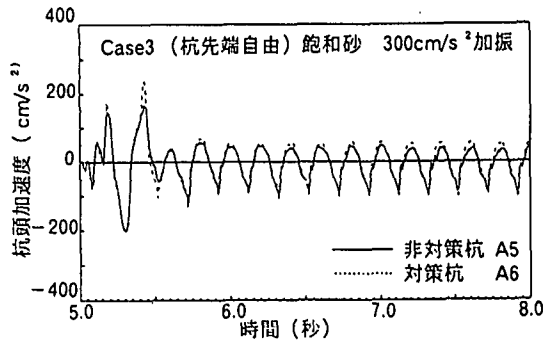
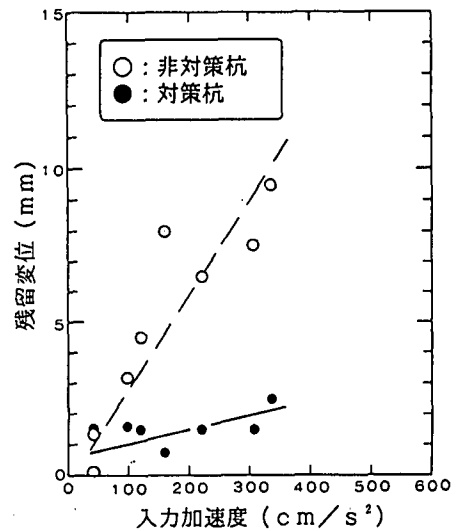
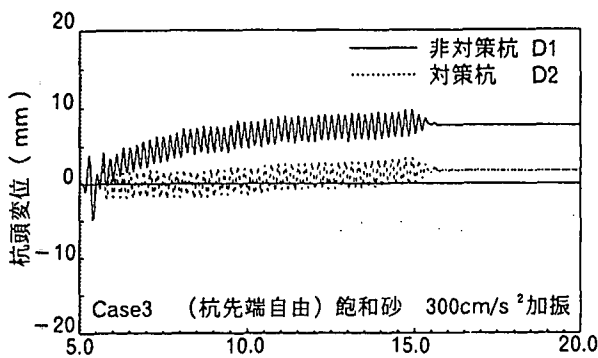


図-5 杭頭加速度と杭頭変位波形の比較



(b) 入力加速度と杭頭残留変位の関係

図-6 杭頭残留変位の比較