

III-112 杭基礎に作用する流動土圧の発生特性

建設省 土木研究所 松本 秀應

建設省 土木研究所 常田 賢一

建設省 土木研究所 東 拓生

1. まえがき

近年、液状化に伴って地盤が大きく流動(変形)することが認識されると共に、新潟地震等では地盤の変形により建築物の杭基礎が大きく変形、破壊していたことが確認され、震害事例の分析や模型実験により、流動量(変形量)の計算方法に関する検討が進められ始めた。ここでは、杭基礎に作用する流動地盤からの流動土圧(水平抵抗力)の設計上の取り扱い方法を明らかにすることを目的として、流動地盤から杭基礎に作用する流動土圧の発生特性を模型実験により検討し、地盤の液状化の程度や杭配置の違いが水平抵抗に与える影響について整理した。

2. 実験方法

流動地盤中の杭基礎を模擬するにあたり、図-1に示すような実験装置を用い、杭基礎に対する地盤の流動特性を一定にすることを目的として、斜面や偏荷重により液状化地盤を流動させるのではなく、水平でかつ成層構造の液状化地盤内で、杭模型全体をガイドで支持された台車により水平に移動させる方法をとった。

実験では、液状化地盤には標準砂を用い、ボーリングを生じさせることにより相対密度50%程度の飽和砂層を作製した。地盤の液状化は、杭の牽引方向に直交する側の土層側壁を打撃(地盤の振動はすぐに減衰)することにより生じさせ、杭基礎の牽引に地盤の振動が影響を与えないよう注意した。杭基礎の牽引は、土層への打撃直後に開始し、地盤内の間隙水圧と共に、杭基礎の牽引力と変位量を計測した。実験では、牽引速度(杭基礎と液状化地盤との相対速度、言い換えれば地盤の流動速度)を、1.5、2.6、4.5mm/sの3段階に変化させた。

また、杭配置の違いの影響を検討するために、格子配列として1本*1列の単杭から4本*4列=16本の群杭までの12組、千鳥配列として1-2-1の4本杭から4-3-4の11本杭までの8組の、合計20組の杭配置について実験を実施した。杭模型は、塩化ビニールパイプ(外径18mm、内径13mm)内に鋼棒(外径13mm)を挿入して補強し、液状化地盤への根入れ長を20cm、杭間距離を道路橋示方書に準じて2.5D(Dは杭直径)として45mmとした。

3. 実験結果

実験結果の例として、牽引速度が4.5mm/s、杭配置が2本*2列の場合の荷重(牽引力あるいは水平抵抗力)～変位(台車の移動量)曲線と、地盤内の間隙水圧と

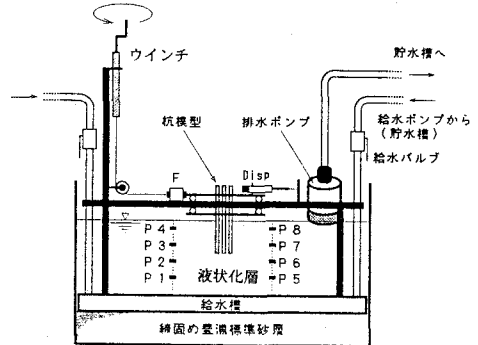


図-1 実験装置概要

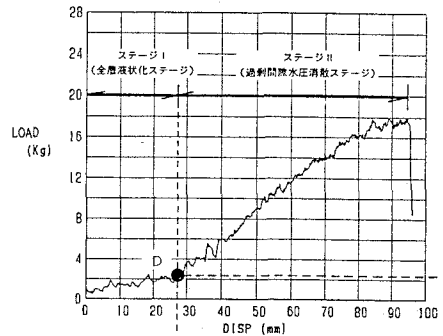


図-2 荷重～変位曲線の例(2本*2列)

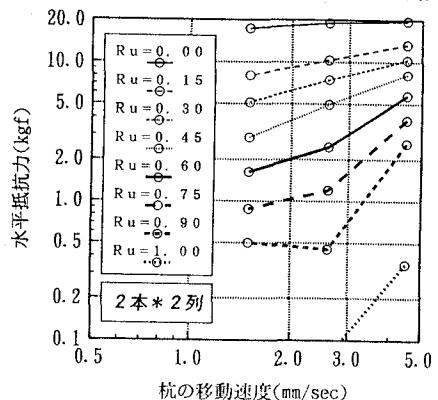


図-3 水平抵抗力と杭の移動速度の関係

変位の関係を図-2に示す。載荷初期の段階で、杭の地盤への根入れ部分全長が完全液状化の状態にあるステージⅠの状態では、変位が増加しているにもかかわらず、荷重値がほぼ一定値を示している。その後、地盤内の間隙水圧の消散に伴い、杭の根入れ長（20cm）以浅の部分に不完全液状化の層が生じ始めるステージⅡの領域では、地盤の液状化の程度の減少にともない、荷重の増加が認められる。なお、杭模型を取り付けた台車とガイドの間にはベアリングを用い摩擦力の低減に努めたものの、0.75～0.9kgf程度の摩擦力が存在していたため、水平抵抗力（荷重）の整理にあたってはこの摩擦力を、図-2より求めた荷重から減じて整理を行った。また、地盤の液状化の程度の指標としては、杭の根入れ深度における間隙水圧比 R_u を用いた。

図-3は、水平抵抗力に対する杭の移動速度の影響を、各間隙水圧比毎に整理した結果の例である。これより、地盤が非液状化の状態（ $R_u=0.0$ ）では杭の移動速度によらずほぼ一定の水平抵抗力を示すものの、半液状化の状態では杭の移動速度の増加につれて水平抵抗力が増加し、流動地盤が液体的な抗力を発揮するとともに、移動速度が等しい場合には液状化程度の減少につれて水平抵抗力が増加することがわかる。

図-4は、非液状化状態での水平抵抗力を1として、各液状化程度に対する水平抵抗力を正規化し、液状化程度との関係を整理した結果の例である。これより、液状化程度の増加に対し水平抵抗力は上に凹の曲線を示し、杭先端位置での過剰間隙水圧比の増加に対して、緩やかに減少することがわかる。そこで、杭の水平抵抗が、地盤の有効上載圧に比例すると考え、図-5に示すように有効応力の総和 R を求め、杭の水平抵抗との関係を整理した結果の例が図-6である。これより、有効応力の総和 R の一乗にほぼ比例して水平抵抗力が増加していることがわかる。

4. まとめ

以上の結果より、液状化地盤から杭基礎に作用する水平抵抗力は流動速度が大きいほど大きくなる流体からの抗力的な挙動を示し、その水平抵抗力は液状化の程度、言い換えれば有効上載圧に比例して発揮されることが実験から確かめられた。今後は、これらの流動土圧のオーダーが、実構造物においてどの程度であるのか検討する必要がある。

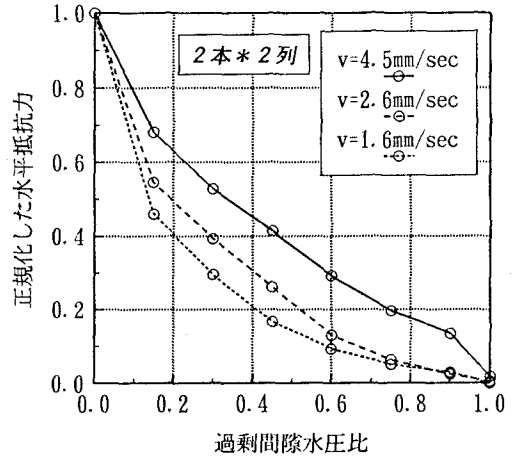


図-4 水平抵抗力に及ぼす地盤の液状化の影響

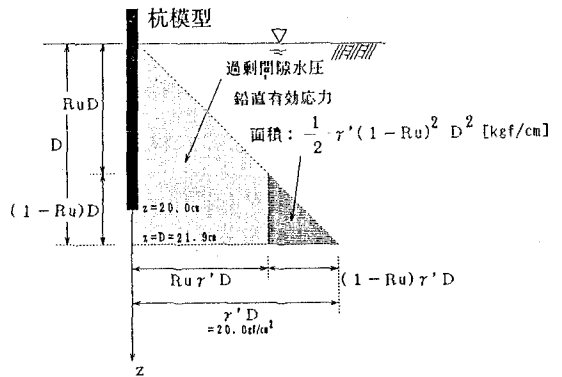


図-5 有効応力の総和の計算方法

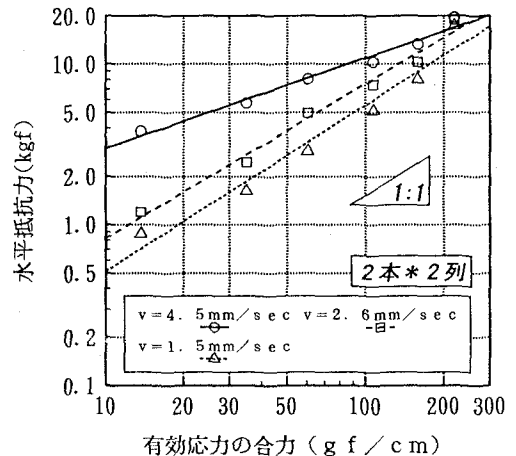


図-6 水平抵抗力と有効応力の総和の関係