

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 工学 )	氏名	肥田 剛典
論文題目	上部構造物固有周期と杭の損傷が液状化地盤における杭と構造物の地震時挙動に及ぼす影響		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、構造物の諸条件が杭応力に影響を及ぼす要因を把握するため、上部構造物の固有周期および杭剛性、地盤の相対密度をパラメーターとした遠心載荷装置を用いた液状化地盤—杭—構造物系の振動実験を行い、これらの構造物および杭の条件が杭応力および構造物の応答に及ぼす影響および杭応力の発生メカニズムを検討している。</p> <p>第1章では、研究の背景および目的についてまとめている。液状化地盤における杭基礎の問題点を示すとともに、杭の損傷と構造物の応答についても言及している。</p> <p>第2章では、液状化地盤—杭—構造物系の遠心載荷実験の概要を示すとともに、長周期の固有周期をもつ小型構造物モデルを提案している。</p> <p>第3章では、液状化地盤における短周期構造物の杭剛性および地盤の相対密度が杭応力に及ぼす影響を検討し、以下のことを示している。上部構造物の固有周期が地盤の卓越周期より短く、基礎部変位が地盤変位より小さい場合、上部構造物慣性力、土圧摩擦合力および総地盤反力は同位相となるのに対し、基礎部変位が地盤変位と同程度の場合、上部構造物慣性力と総地盤反力が同位相で、それらと土圧摩擦合力の間に位相差が生じる。基礎部変位が地盤変位より大きい場合、構造物慣性力と土圧摩擦合力は逆位相となる。杭変位が地盤変位より小さくなる深度の水平地盤反力は、構造物慣性力と同位相となり、杭変位が地盤変位より大きくなる深度の水平地盤反力は、構造物慣性力と逆位相となる。</p> <p>第4章では、杭剛性が液状化地盤における免震構造物の杭応力および上部構造物の応答に及ぼす影響を検討し、以下のことを示している。低剛性杭の杭頭および杭先端せん断力は、高剛性杭のそれらより小さくなった。これは、低剛性杭の基礎部に作用する土圧摩擦合力が高剛性杭のそれより小さくなったためである。一方、低剛性杭における上部構造物加速度は高剛性杭のそれより大きくなった。これは、杭剛性が低ほど基礎部の挙動は地表付近の地盤の挙動に近づき、地表面加速度の振幅が大きい2秒から5秒付近の周期帯において、低剛性杭の基礎部加速度の振幅が高剛性杭のそれより大きくなったためと考えられる。さらに、実験で計測された基礎部加速度を用いて、免震構造物を模擬した1質点系の時刻歴応答解析を行い、杭剛性と免震構造物の固有周期が免震層変位に及ぼす影響を検討し、免震構造物の固有周期が地盤の卓越周期に近くなると、免震層変位は大きくなり、その傾向は低剛性杭で顕著であることを示した。これから、低剛性杭を用いた免震構造物は、高剛性杭に比べ、免震層の変位が大きくなることが想定されるので、設計での配慮が必要であることを指摘している。</p> <p>第5章では、応答変位法を用いて短周期構造物と免震構造物の構造物慣性力が杭応力に及ぼす</p>			

影響を検討し、以下のことを示している。短周期構造物において、高剛性杭の杭頭および杭先端せん断力は、低剛性杭のそれより大きくなる。これに対し、免震構造物では、構造物慣性力が大きくなると、杭せん断力は杭頭で最大となり、高剛性杭と低剛性杭の杭頭せん断力は同程度となる。したがって、免震構造物では、低剛性杭による杭応力低減効果は小さい。

第6章では、杭の損傷が構造物および杭の振動性状に及ぼす影響を検討するため、大型せん断土槽を用いた RC 杭の破壊実験のデータを用い、杭損傷前後における構造物および杭の振動性状を比較・検討し、以下のことを示している。杭の中央部から杭頭にかけての振動性状は、杭損傷前と杭損傷後で異なった。それにもかかわらず、構造物の固有周期は前震と余震でほぼ同じであった。これは、杭の剛性が低下したことによる長周期化の要因と、杭の主に振動している部分が短くなったことによる短周期化の要因が重なったためと考えられる。さらに、杭の損傷評価の可能性を検討するため、RC 杭基礎の破壊実験データにカオス時系列解析を適用し、構造物および杭加速度の時間遅れ座標系におけるアトラクタの形状や埋め込み次元を杭破壊前後で比較した。その結果、構造物加速度の卓越周期は前震と余震で同程度であったのに対し、アトラクタの形状は前震と余震で異なった。また、誤り最近傍法を用いて杭加速度のアトラクタの最適な埋め込み次元を求めた結果、杭破壊後の埋め込み次元は、杭破壊前のそれより高くなった。このことは、杭の破壊によって杭が複雑に挙動する傾向が強くなったことを示している。これから、杭破壊前後で構造物の固有周期が変化しない場合でも、カオス時系列解析を用いて杭の損傷を検出できる可能性があると考えられる。

第7章は結論であり、上部構造物固有周期と杭の損傷が液状化地盤における杭と構造物の地震時挙動に及ぼす影響をまとめている。

氏名	肥田剛典
----	------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、地盤の相対密度、杭剛性、上部構造物の固有周期をパラメーターにした一連の液状化地盤—杭—構造物系の遠心載荷実験および大型振動台を用いたRC杭基礎の破壊実験に基づいて、杭応力に影響する様々な要因を検討するとともに、カオス時系列解析を用いた杭の健全性評価手法を提案したものである。得られた主な研究成果は以下の通りである。

- ① 短周期構造物の場合、地盤の相対密度・杭剛性によって上部構造物慣性力と土圧摩擦合力の位相が異なり、地盤の相対密度が高いほど、また杭剛性が低いほど杭応力は小さくなる。特に地盤の相対密度が高く、杭剛性が低いケースでは、杭の上部と下部で水平地盤反力の位相が異なり、杭端せん断力は極めて小さくなる。
- ② 免震構造物の場合、低剛性杭を用いることによる杭応力の低減効果は小さい。また、低剛性杭を用いた免震構造物では高剛性杭を用いたケースに比べて、免震層変位が大きくなる。この傾向は免震構造物の固有周期が地盤の卓越周期に近いと顕著となる。したがって、液状化地盤における免震構造物では、高剛性の杭が適している。
- ③ 杭剛性によらず、短周期構造物の土圧摩擦合力は、免震構造物のそれより小さい。これは、短周期構造物では地盤と基礎部の相対変位が小さいためである。
- ④ RC 杭の破壊実験では、杭体の損傷にもかかわらず、地盤—杭—構造物系の固有周期は変化しなかった。これは、杭の剛性低下による長周期化の要因と、杭の振動する部分が短くなることによる短周期化の要因が重なったためと考えられる。
- ⑤ 前震と余震で地盤—杭—構造物系の固有周期に変化が現れないケースにおいても、カオス時系列解析によるアトラクタの形状および埋め込み次元に違いがみられた。これから、杭の損傷に起因する構造物および杭の振動性状の変化は、カオス時系列解析によって検出できる可能性がある。

以上要するに本論文は、上部構造物固有周期と杭の損傷が液状化地盤における杭と構造物の地震時挙動に及ぼす影響を実験および解析から詳細に検討したものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年2月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。