

地震動の振動数が地盤—杭系の相互作用に及ぼす影響に関する研究

京都大学大学院 学生会員 ○井上洋平
 京都大学防災研究所 国際会員 井合 進
 京都大学防災研究所 国際会員 飛田哲男

1. はじめに

わが国は世界でも有数の地震国であり、マグニチュード7を超える大地震が過去に幾度となく発生し、そのたびに甚大な被害を受けてきた。数ある地震被害の中でも、地中の杭基礎の被害は重要な被害である。1995年の兵庫県南部地震においても、杭が地中でせん断破壊を起こした被害が報告されている。このような被害を防止するために、地震時における地盤—杭系の相互作用の解明が求められている。既往の研究では、地盤—杭系の相互作用には二つのモードがあることが知られている。それは、地盤が杭を押すモード（キネマティック相互作用）と、地盤が杭を支えるモード（慣性力相互作用）である。キネマティック相互作用の特徴は、杭下端における曲げモーメントが杭上部に比べて大きくなることであり、慣性力相互作用の特徴は、逆に杭上部の曲げモーメントが杭下部に比べて大きくなることである。また、キネマティック相互作用と慣性力相互作用のどちらの作用が全体の曲げモーメントに大きく影響するかは、地盤の固有振動数と構造物の固有振動数の大小によって決まるとされている。しかし、地震波の振動数を含めた大小関係についての検討は行われてこなかった。よって本研究では、地震動の振動数が地盤—杭の相互作用にどのような影響を与えるかについて検討していく。

2. 実験方法

京都大学防災研究所の遠心力載荷装置（有効回転半径 2.5m）を用い、40G の遠心力場で模型振動実験を実施した。図1に示す実験模型において用いた杭模型は長さ 290 mm（模型スケール）の単杭であり、杭下端は土槽底面に固定（回転と変位拘束）、上端は自由端とした。実験ケースによって、杭頭にパイルキャップ（379.2g：模型スケール）や上部構造物（297g：模型スケール）を模擬するおもりを取り付けた。ただし、その場合にも杭頭は自由端とした。地盤には砂 7 号を用い、相対密度 70%で、水平乾燥砂地盤を作成して実験を行った。実験は、Case 1（地盤のみ）、Case 2（地盤+杭）、Case 3（地盤+杭+パイルキャップ）、Case 4（地盤+杭+パイルキャップ+上部構造物）の4ケースである。入力地震動は図2に示すように、正弦波を用い、それぞれのケースにおいて最大加速度一定（ 1.5m/s^2 ）で 1Hz から 12Hz まで振動数を変えて 12 種類の加振を行った。

3. 実験結果

地盤と、各ケースにおける構造物の固有振動数を求めるため、加速度応答を解析し、表1の結果を得た。Case4 に関しては構造物が二つ載っているため、振動のモードが2つあり、それぞれのモードについて固有振動数が得られた。次に、これらの固

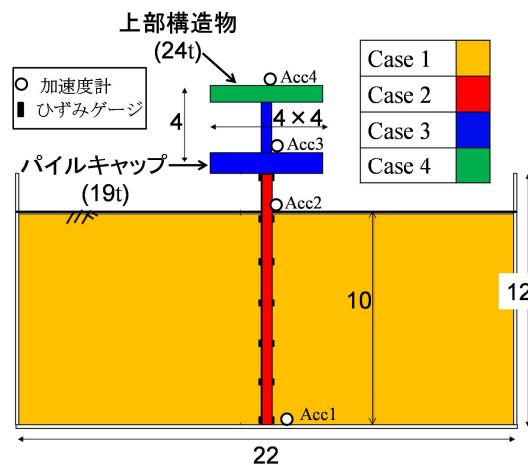


図1 実験模型概要
（プロトタイプスケール）

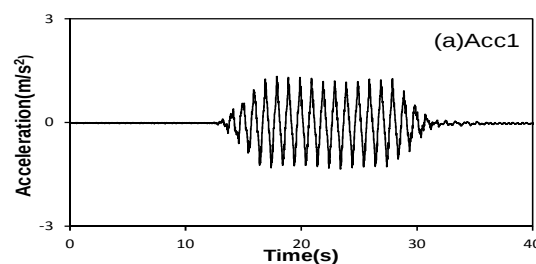


図2 入力加速度時刻歴(1Hz)

キーワード 遠心模型実験、地震応答、相互作用、杭

連絡先 〒611-0011 宇治市五カ庄 京都大学防災研究所 TEL0774-38-4093

有振動数と入力波の振動数の大小関係に着目しながら、曲げモーメント分布図について述べてゆく。曲げモーメント図については、ひずみを積分して求めた地表面における水平方向変位が最大になる時点においてプロットした。Case 3 において、1Hz

すなわち構造物の固有振動数付近の振動数を入力した場合は杭下端での曲げモーメントが小さい値をとっている(図3左)。構造物の固有振動数から離れた振動数である5Hzを入力したときには、杭下端での曲げモーメントが大きくなっていることが見て取れる(図3中央)。そして、地盤の固有振動数から離れた振動数である10Hzを入力した場合、再び杭下端での曲げモーメントが

小さくなっている(図3右)。つづいてCase 4 について見ていく。1次モード、2次モードそれぞれの固有振動数付近である1Hz

(図4左端)と5Hz(図4中央右)において、杭下端の曲げモーメントが小さ

くなっている。構造物の固有振動数から離れた3Hz(図4中央左)では、杭下端での曲げモーメントが大きくなっていることがわかる。また、地盤の固有振動数から離れた9Hz(図4右端)では、杭下端での曲げモーメントが小さくなっている。これらのことから、Case 3、Case 4 ともに入力振動数が構造物の固有振動数に近い場合はキネマティック相互作用の影響が小さくなり、構造物の固有振動数から離れた振動数を入力するとキネマティック相互作用の影響が大きく表れることが分かった。また地盤の固有振動数から大きく離れた場合、再びキネマティック相互作用の影響が小さくなった。これは、構造物の固有振動数付近では構造物が共振状態にあり、慣性力相互作用がキネマティック相互作用に比べて大きな影響を及ぼしているからだと考えられる。また、地盤の固有振動数から大きく離れた振動数では地盤の振動の振幅が小さくなり、キネマティック相互作用の影響が小さくなるものと思われる。

4. 結論

地盤—杭系の地震時相互作用に地震波の振動数が及ぼす影響について、遠心模型実験を行い検討した。本研究では地盤の固有振動数が構造物の固有振動数よりも大きいことが分かった。この場合、既往の研究ではキネマティック相互作用が卓越するといわれていたが、入力振動数が構造物の固有振動数付近の場合には、慣性力相互作用の影響が大きく表れた。また、構造物の固有振動数から離れた振動数を入力すると、キネマティック相互作用の影響が大きく表れたが、地盤の固有振動数を大きく離れると再び慣性力相互の影響が大きくなった。

参考文献

- 1) 日本建築学会近畿支部基礎構造部会・兵庫県南部地震建築基礎被害調査委員会(1996): 兵庫県南部地震における建築基礎の被害調査事例報告書
- 2) 室野他(1999): 地盤と構造物の動的相互作用を考慮した応答変位法
- 3) 西村他(1998): 杭基礎構造物の地震時挙動に関する実験的研究

表1 地盤と構造物の固有振動数

地盤の固有振動数	7Hz	
構造物の固有振動数(Case3)	1.5Hz	
構造物の固有振動数(Case4)	1次モード	1Hz
	2次モード	5Hz

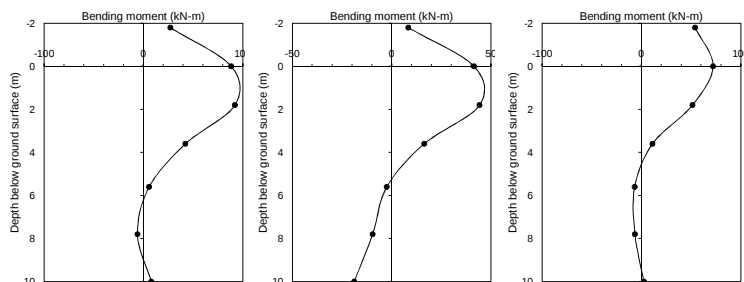


図3 Case 3 における曲げモーメント分布 (左から 1Hz、5Hz、10Hz)

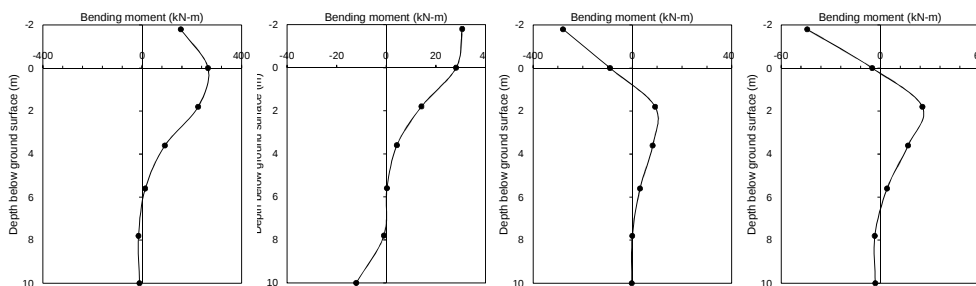


図4 Case 4 における曲げモーメント分布 (左から 1Hz、3Hz、5Hz、9Hz)