

1. はじめに

摩擦杭とは、杭先端が支持層に達しておらず、杭の周辺摩擦力によって構造物を支持する杭を指す。杭基礎が使われ始めた頃は摩擦杭が主に用いられたが、許容支持力に対する算出法が未解明であったため不同沈下を生じた例が多かった。しかし、最近では長期にわたる摩擦杭の支持力や沈下特性については解明されつつあり、摩擦杭が見直され始めている。ところで摩擦杭基礎の地震時の応答特性についての研究は少ない。実際、兵庫県南部地震では支持杭構造物が大きな被害を受けたのに対して、摩擦杭構造物は被害が生じなかったという報告もされている¹⁾²⁾。そこで杭基礎構造物を図-1のようなフレームモデルでモデル化し、支持杭構造物と摩擦杭構造物の地震応答解析を行うことにより、摩擦杭基礎の有する免震効果について検討する。

2. 杭基礎構造物のモデル化

本研究では、フィジビリティスタディーとして、沖積地盤上の杭基礎を持つ橋脚をフレームモデルでモデル化し非線形動的解析を行う。自由地盤の応答解析は等価線形解析により求める。地盤は粘性土を主体とした4層系を考慮し、非線形特性は双曲線モデルで表現する。自由地盤と杭-構造物系を関連づける相互作用ばねは鉄道構造物等設計標準³⁾により求めている。杭長は支持杭を30m、摩擦杭を20mとしている。構造物系については鉄道高架橋脚をモデル化し、上部工重量は800tf、フーチング部の重量は225tf、フーチング幅は7mとしている。橋脚高さについては5m、10m、20mの場合について考慮し、フーチングと杭頭の結合条件については剛結の場合とピン結合の場合を考慮する。入力地震動には兵庫県南部地震においてポートアイランドで観測されたNS成分を用いる。

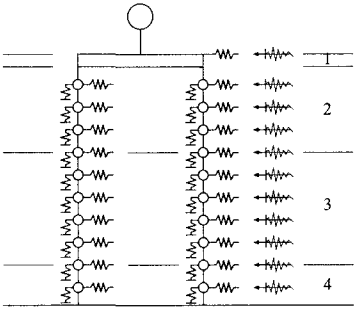


図-1 フレームモデル

3. 解析結果

図-2に橋脚高さを10m、杭頭を剛結とした場合の摩擦杭と支持杭の比較結果の一部を示す。上部工とフーチング部の水平変位については摩擦杭と支持杭で大きな差異はなかった。これは上部構造物の水平変位はフーチングの水平変位に大きく影響を受け、フーチングの水平変位は自由地盤の地表面変位にほぼ一致するためと考えられる。橋脚の最大たわみについては摩擦杭の方が小さくなり免震効果が認められる。なお橋脚のたわみは上部構造物の加速度と比例関係にある。軸力については杭先端が引き抜き、あるいは押し込まれやすいため摩擦杭の方が小さくなったが、曲げモーメントに関しては、杭頭付近で支持杭の数倍となっていることがわかる。これは摩擦杭の方がロッキングしやすいためと思われる。したがって摩擦杭を用いる場合には杭頭の結合条件に工夫が必要であると考えられる。

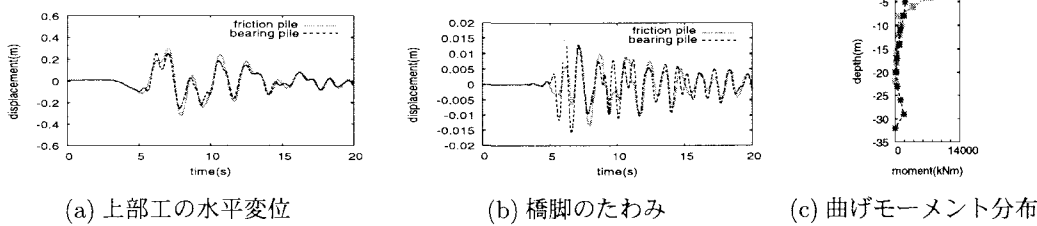


図-2 橋脚高さ10m・杭頭剛結

杭頭の結合条件をピン結合とした場合についても考慮した。橋脚高さ 10m の場合、剛結の場合と比較して、上部工およびフーチングの水平変位に大きな違いは見られなかった。また摩擦杭と支持杭で比較しても大きな差異は見られなかった。それに対し、図-3 に示すように曲げモーメントについては摩擦杭の方が小さくなった。これは地盤のひずみが大きい部分 (深度 30m 付近) の影響を受けないためと考えられる。

さらに橋脚高さを 5m とし、杭頭をピン結合とした場合の結果を図-4 に示す。上部工の水平変位に比べて橋脚のたわみや回転変位が十分小さくなった。つまり剛性が強くなったことにより上部構造物はほぼ剛体として挙動していることを示している。

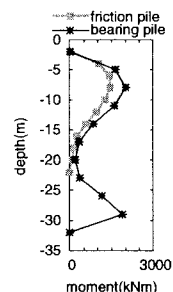


図-3 モーメント分布

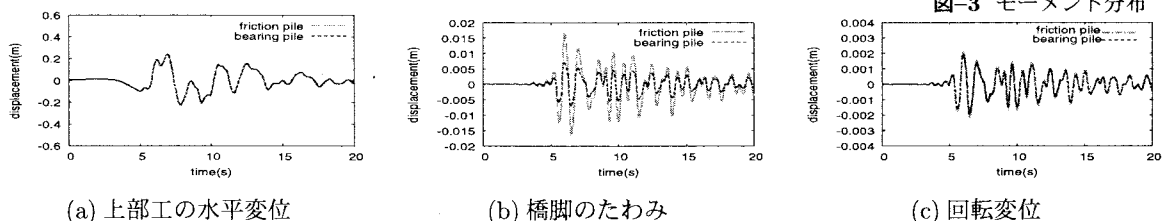


図-4 橋脚高さ 5m・杭頭ピン結合

図-5 に橋脚高さ 20m、杭頭ピン結合とした場合の比較結果を示す。上部工の水平変位、橋脚のたわみ、曲げモーメントともに摩擦杭の方が大きく低減された。また杭に作用する軸力についても、摩擦杭の方が小さくなった。回転変位に注目するとロッキング周期が延びていることがわかる。すなわち橋脚高さがかなり高い場合、もともと長いロッキングの固有周期が摩擦杭ではさらに長周期化し、その結果上部構造物の水平変位や橋脚のたわみなどに免震効果が現れたと考えられる。また杭に生じる軸力および曲げモーメントについても、摩擦杭の場合には免震効果が得られた結果、支持杭の場合よりも大きく低減された。

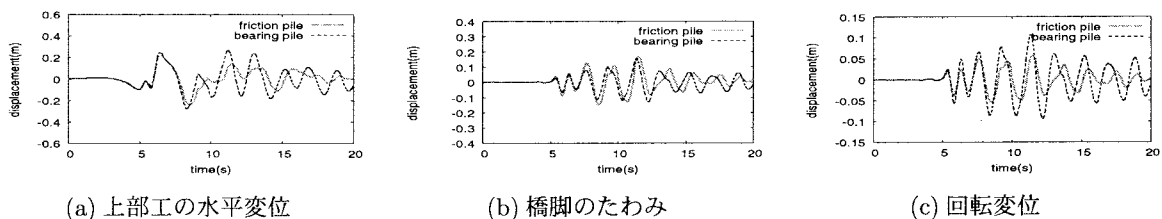


図-5 橋脚高さ 20m・杭頭ピン結合

4. 結論

杭頭剛結の場合、摩擦杭では橋脚のたわみを低減出来る場合があるが、反面ロッキング角が大きくなるために、杭頭付近に大きな曲げモーメントが生じることが確認された。よって摩擦杭を用いる場合には、杭頭の結合条件に工夫が必要である。なお杭頭ピン結合とした場合、杭に生じる曲げモーメントは、摩擦杭と支持杭は共に剛結の場合と比べて低減される。

橋脚高さによって挙動は大きく異なることがわかった。橋脚がかなり高い場合、摩擦杭の非線形挙動の結果ロッキングの固有周期がさらに長周期化されることによって免震効果が得られることが確認された。

参考文献

- 1) 小椋仁志, 平尾幸太郎, 岡田克幸: 節杭+砂利充填 (神戸六甲アイランドにおける実施例), 基礎工, pp.82-87, 1995.
- 2) 金井重夫, 小椋仁志, 須貝光二: 摩擦杭基礎の地震に対する安全性, 基礎工, pp.69-73, 1996.
- 3) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 丸善株式会社, 1999.