

地盤の動特性が構造物の振動性状に与える影響

東京都市大学大学院 学生会員○安形早織 正会員 片田敏行 末政直晃
(株) ジオデザイン 正会員 荒井郁岳

1. はじめに

構造物は地盤上に建設されているため、地盤の影響を大きく受ける。そして、地震時に発生する震害は基礎の形式、建物の種類によっても異なる。本研究では、地盤の動特性が構造物に与える影響を把握するために、地盤－杭基礎－構造物の一体系をモデル化し、地震応答に与える要因を検討するとともに、要因と考えられる地盤条件や構造特性などが応答特性にどのような影響を与えるかを考察することを目的としている。

2. 解析方法及び解析条件

(1) 解析モデル

本研究では、Penzien 系のバネ質点モデル(図-1)を用いて線形応答解析を行う。このモデルは下部構造(以下杭基礎構造)と上部構造からなる構造物系と地盤系の2つの系から構成され、これら両系の間に地盤の影響として地盤相互作用バネが考慮されている。

(2) 解析条件

本解析の対象とした解析モデルを以下のように設定した。

地盤：4層として想定した。一般に、地盤は深くなるにつれて硬くなるため、剛性係数やせん断波速度 V_s (以下 V_s)は大きくなる¹⁾。4層の層厚が一定である地盤とし、 V_s 一定で軟弱な沖積地盤、 V_s 一定で硬質な洪積地盤、 V_s の勾配が急で地盤が深くなるにつれて剛性が大きくなる地盤の計3ケースのモデル地盤を用いた(図-2)。このように想定した深さ32mのモデル地盤を8質点で表した。**入力加速度波**：入力波形特性が応答にどのような影響を与えるか調べるため、長周期な地震加速度波と衝撃的な地震加速度波の40秒間を用いた。そして、最大入力加速度を100galになるように設定した。地震加速度波の卓越振動数は、長周期な地震加速度波(図-3(a))の場合0.56Hzで、衝撃的な地震加速度波(図-3(b))の場合10.2Hzであった。**杭基礎－構造物系**：高層ビル(80m)と中層ビル(32m)を想定した。この構造物の杭基礎が長い場合(以下長杭)と短い場合(以下短杭)を仮定し、計4ケースの杭基礎－構造物モデルを用いた(図-4)。これら各ケースを組み合わせ、計24ケースの応答解析を行い、その応答を比較した。

3. 解析結果及び考察

応答解析結果から、いくつか特徴的な現象に着目した考察を行った。

山の手のような硬質な洪積地盤に建設された長杭を有する中層ビルに衝撃的な地震波を入力すると、最大応答加速度は、地表面では 117cm/s^2 、最上階では 94cm/s^2 となり、最上階で応答が小さくなった。また、応答変位モードは、下から波が伝わるような細かいうねりが多いモードであり、入力地震加速度が小さくなった12秒以降は2次モード的に振動した。一方で、軟弱な沖積地盤で短杭を有する中層ビルに衝撃的な地震波を入力した場合の応答に注目してみる。この場合、最大応答加速度が地表面では 94cm/s^2 、最上階では 99cm/s^2 であり、最大変位が 0.11cm となっている。また、加速度応答の波形に注目すると、入力地震加速度が小さくなった12秒以降、長杭の沖積地盤の方が減衰は大きい。以上より、条件の組み合わせによっては大きく応答が異なると考えられる。また、杭が長いと減衰効果が増し免震にも繋がる可能性があるといえる。さらに、以下項目について、各応答結果を比較して、考察を行った。

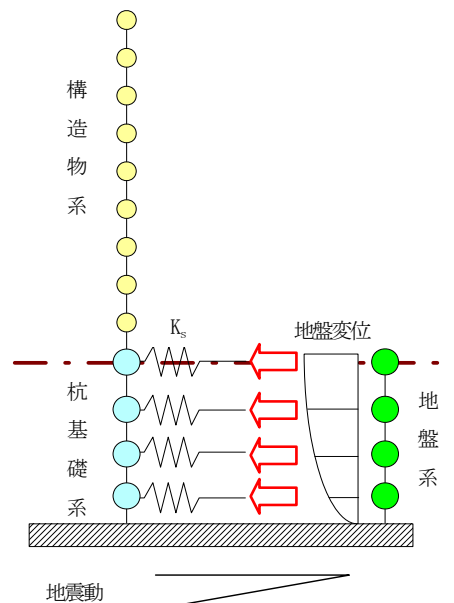


図-1 バネ質点モデル

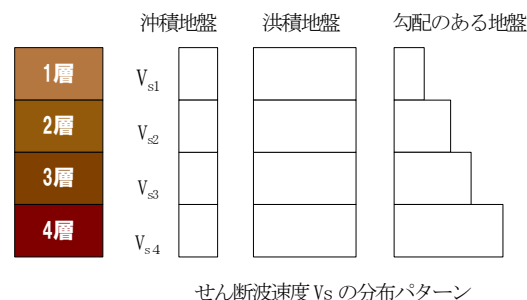
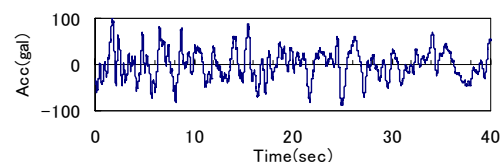
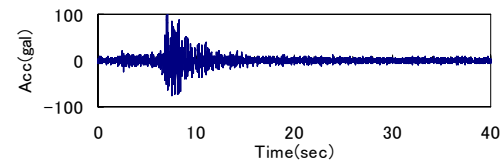
せん断波速度 V_s の分布パターン

図-2 地盤モデル



(a)長周期な地震加速度波



(b)衝撃的な地震加速度波

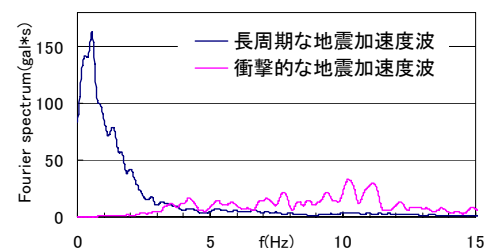


図-3 地震加速度波形とフーリエスペクトル

キーワード：一体系、地震応答、地盤、振動モード、杭基礎

連絡先：東京都市大学大学院 都市基盤工学専攻 地盤環境工学研究室 TEL 03-5707-2202

(1) 入力地震加速度波の影響

洪積地盤上の高層ビル（長杭）に長周期な地震波と衝撃的な地震波を入力したところ、衝撃的な地震波の方が、加速度応答や変位応答は小さかった。また、応答変位モードは、どちらの入力地震加速度波であっても、地盤が硬質であるため、杭から伝播した高周波数帯域の振動も付加されて、上部構造物は長周期に揺れながらも細かく振動していた。そして、曲げモーメント分布（図-6）を全ケースで比較すると、衝撃的な地震波を入力した場合には、地盤や杭によってあまり違いは見られ、長周期な地震波を入力した場合は大きな違いが見られた。その違いとは、杭が長いと最大モーメント発生時刻が遅くなることや、軟らかい地盤の方が最大曲げモーメントが大きいことが挙げられる。これらのことから、入力地震加速度波の卓越振動数やそのエネルギーなどの特性が異なると、応答が変わるといえる。

(2) 地盤の影響

中層ビル（短杭）に衝撃的な地震波を入力したときの応答変位モードを、図-5 に示す。杭基礎に着目すると、 V_s が一定の洪積地盤の場合は大きく速く振動している。それに対して、沖積地盤と V_s に勾配がある地盤は、ゆっくりと振動している。これは、杭が V_s に勾配がある地盤の軟らかい部分までしか埋設されていないので沖積地盤の固有振動数と近い値であるためだと考えられる。上部構造物については、どの地盤の場合も入力地震加速度が大きくなる7秒からは（図-5(a)）、下から波が伝わってうねるように振動している。また、10秒からは（図-5(b)）、長周期的な振動をしながらも細かく振動し、3次モード的や2次モード的に振動している。そして、入力地震加速度が小さくなった20秒以降は（図-5(c)）、1次モード的に振動している。また、加速度応答や変位応答は、洪積地盤の場合が最も大きく応答した。これらのことから、 V_s に勾配がある地盤では、それぞれの層構造に依存するため、複雑な振動になることがいえる。特に、層ごとの硬軟に大きく差がある方がより複雑な挙動になった。

(3) 杭の根入れ深さの影響

高層ビルで衝撃的な地震波：長杭の場合は、地盤条件によってそれぞれ異なる応答変位モードで揺れている。また、地盤の振動に大きく影響を受け、洪積地盤では細かく小さく変位し、沖積地盤ではゆっくりと大きく変位している。また、入力地震加速度が小さくなった17秒以降もそれぞれ異なったモードで振動している。それに対して、短杭の場合、終始応答変位モードが変わらない。地盤による応答変位モードの差もあまりない。特に入力地震加速度の振動が小さくなった17秒以降は、ほぼ応答変位モードは同じであった。中層ビルで長周期な地震波：長杭の場合、洪積地盤の時は2次モード的に振動して、沖積地盤または V_s に勾配がある地盤の時は1次モード的に振動している。杭基礎部分は地盤の影響を受け、どの地盤でも大きく応答が異なっている。一方、短杭の場合は、洪積地盤以外ではほぼ同じような応答をしている。洪積地盤の時は、周期は同じだが変位が少し小さくなっている。この組み合わせのとき、洪積地盤が構造物の振動を抑制しているのではないかと考えられる。以上のことより、長杭の方が地盤の影響を大きく受けることがわかった。つまり、地盤の影響を大きく受けるのは杭基礎部分である。また、上部構造物は、地盤の影響を受ける杭基礎によって応答は少し変化するが、基本的に構造物自身の振動性状に依存するのではないかと考えられる。以上の知見は、従来のものと調和的といえる。

4. おわりに

本研究では、杭の鉛直支持力にはこだわらず、地盤種別や杭の長さの違いが一体系の応答変位モードや曲げモーメント分布などの振動性状に与える影響に着目して、いくつかの応答解析を行った。その結果、以下の知見を得た。i) 杭が長いと減衰効果が増すので免震効果に繋がる可能性がある。ii) 杭の振動性状は地盤の影響を受けるが、構造物の振動性状は地盤にあまり影響されず、構造物自身の振動性状で振動する。iii) 軟らかい地盤の時に最大曲げモーメントが最も大きく作用する。iv) V_s 分布に勾配がある地盤では地層構造の影響が大きい。

〈参考文献〉1) 社団法人地盤工学会：土質試験—基本と手引き—，2001，2) 荒井ら：杭基礎で支持された自立型タワークレーンの動的安定性，2004年土木学会年次学術講演会講演概要集第3部

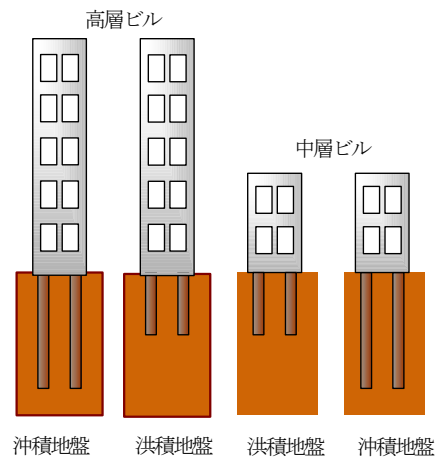


図-4 構造物のモデル

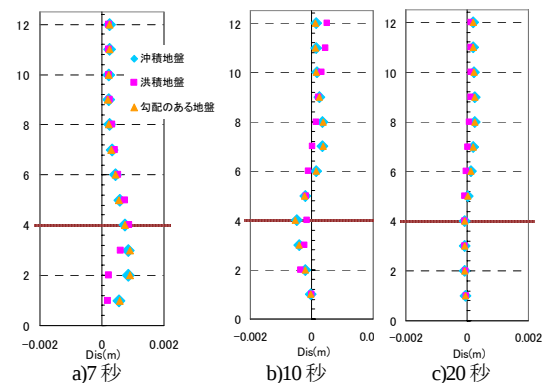


図-5 衝撃的な地震波入力時の変位モード

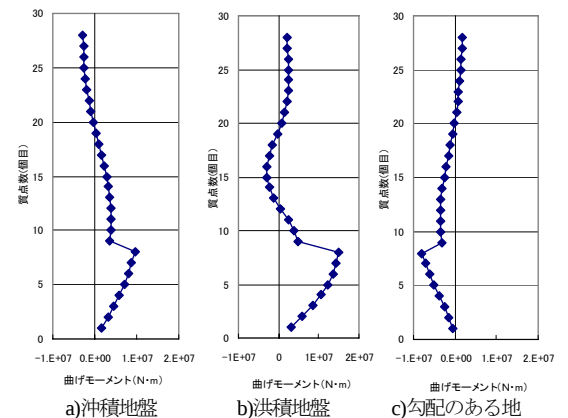


図-6 衝撃的な地震波時の最大曲げモーメント