

地盤の層構造の違いが地盤応答特性に与える影響

武蔵工業大学 学○安形早織 正 片田敏行 末政直晃 学 荒井郁岳

1. はじめに

構造物は地盤上あるいは地盤中に建設されるため、地盤の特性の影響を受ける。例えば、関東地震（M7.9, 1923 年）の際、地盤の軟らかい東京下町では一般木造家屋が多く倒壊している。それに対して、地盤の硬い山手では、かたい構造物である土蔵の損傷が多いと報告されている¹⁾。震害は地盤や基礎の形式、また構造物の種類などによって異なる。そのため、本研究ではまず地盤の層構造や地震波の違いによって地盤応答がどのように変化するかと明らかにすることを目的とする。

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を採用する（図-1）。地盤-基礎-構造物系は下部構造（以下、杭基礎構造と呼ぶ）と上部構造から成る構造物系と地盤系の 2 つの系から構成される。そして、地盤の影響としては地盤相互作用バネを考慮した。本研究では、図-1 中の解析対象部分である地盤のみの応答特性を解析した。

(2) 解析条件

解析の対象として 4 層地盤を想定した。まず、CASE1 は、せん断波速度の変化を緩やかに設定した。すなわち、地盤が深くなるにつれて徐々に剛性が大きくなるようにした。また、CASE2 は、全層一定で軟弱地盤、CASE3 は、全層一定で硬質地盤とした。そして、CASE4 は、せん断波速度の変化を急に設定した。つまり、地盤が深くなるにつれて急激に剛性が大きくなるようにした。このように仮定した地盤モデルを用いた。

そして、入力波は振動数特性や入力波形特性が地盤の応答にどのような影響を与えるか調べるため、4 つの地震波を用いた。その地震波は、長周期な地震波、短周期な地震波、持続的な地震波、衝撃的な地震波を入力した。また、これら地震波加速度記録を周波数解析し、卓越振動数を求めると、長周期な地震波の場合 0.5Hz、短周期な地震波の場合 3.2Hz、持続的な地震波の場合 0.8Hz、衝撃的な地震波の場合 10.2Hz となった。そして、全データの最大入力加速度を 1m/s^2 になるように設定して、40 秒間の地震加速度波データを使用した。これら地震波形とフーリエスペクトルを図-2 に示す。これらの地震波の 4 ケースと地盤モデルの 4 ケースを組み合わせ、全 16 ケースの応答解析を行った。

4. 解析結果及び考察

(1) 加速度応答

まずは、加速度応答の比較を行った。地表（1 層目）の最大応答加速度から最大応答倍率を以下の式で算出した。

$$\text{加速度応答倍率} = \frac{x''_{\max}}{y''_{\max}} \quad (1)$$

ここで $x''_{\max}$: 最大応答加速度値, $y''_{\max}$: 最大入力加速度値である。

地震波による違い

長周期な地震波 : 各ケースを比較してみると、最大応答加速度が最も大きい値は、CASE2 の 3.51 倍である。長周期な地震波の卓越振動数と各地盤の固有振動数に着目してみると、CASE2 の固有振動数と地震波の卓越振動数が近い。また、CASE2 の次に加速度応答倍率が大きい CASE4 に注目しても卓越振動数に近いこ

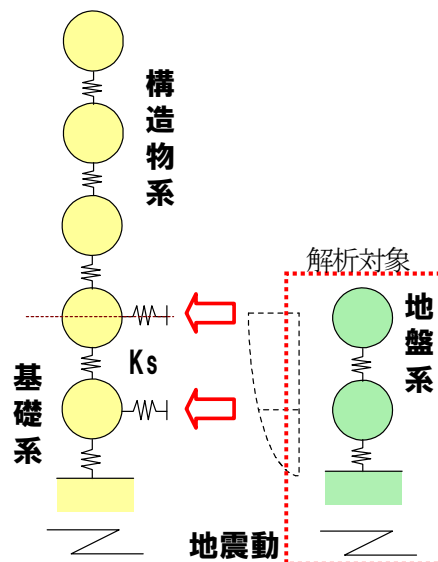


図-1 一体系モデル

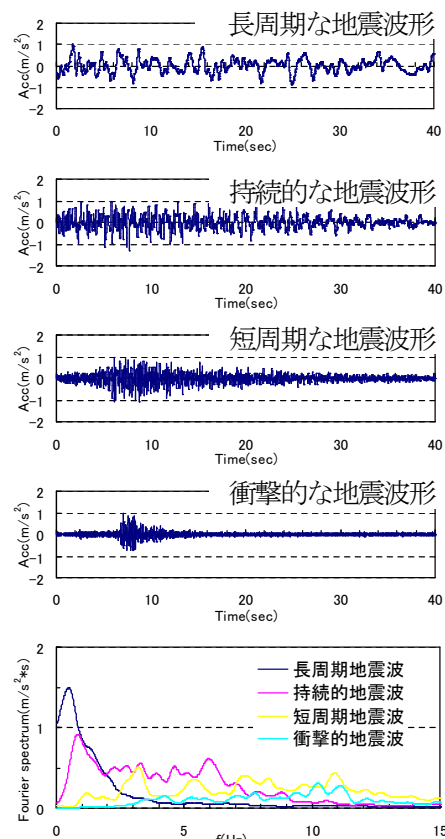


図-2 入力波形とそのフーリエスペクトル

キーワード：地盤 層構造 応答特性 地震加速度波

連絡先：〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 地盤環境工学研究室 TEL03-5707-2202

とがわかる。**持続的な地震波**：最大応答加速度が最も大きい値は、CASE3 の 6.61 倍である。これは、卓越振動数とかけ離れているが、2 次卓越振動数に注目すると 6.0Hz であり（図-2）、影響を受けているのではないかと考えられる。**短周期な地震波**：最大応答加速度の最大値は、CASE1 の 4.65 倍である。卓越振動数と離れたところで反応している。短周期な地震波の周波数解析した結果に注目すると他の地震波とは違い、卓越した振動数を持たないことがわかる（図-2）。**衝撃的な地震波**：最大応答加速度が最も大きい値は、CASE3 の 3.42 倍である。卓越振動数に最も近い固有振動数を持つ CASE3 で応答倍率が高い。しかし、他の地震波の時と加速度応答倍率値を比較すると小さいことがわかる。上記のことから、当然ながら地震波の卓越振動数と地盤の固有振動数が近い時に加速度応答倍率が大きくなるといえる。

地盤の層構造による違い

CASE1：最大応答加速度が最も大きいのは、持続的な地震波の時である。地震波の卓越振動数と地盤の固有振動数が最も近いからと考えられる。**CASE2**：最大応答加速度が最も大きいのは、長周期な地震波の時である。CASE1 のように地震波の卓越振動数と最も近い時に大きな応答を示している。**CASE3**：最大応答加速度が最も大きいのは、持続的な地震波の時である。しかし、この場合地震の 1 次卓越振動数と固有振動数は大きく異なるので、2 次卓越振動数に反応し大きく応答していると考えられる。また、CASE3 は硬い地盤のため、細かく速く振動しているのではないかと考えられる。**CASE4**：最大応答加速度が最も大きいのは、長周期な地震波の時である。地震波の卓越振動数と地盤の固有振動数が最も近いことため応答が大きくなったと考えられる。以上のことから、地盤構造が同じでも地震波が異なれば、加速度応答が異なることがわかった。また、地盤の層構造が異なる場合も、また一定である場合も加速度応答率は、地盤の固有振動数と地震波の卓越振動数が近いほど応答が大きいことがわかった。

(2) 変位応答

次に、各ケースの最大変位をバネ質点モデルのようにプロットし（図-3）、以下の項目について考察を行った。

地盤の硬さによる違い

図-3 の軟らかい地盤を模擬した CASE2 の固有振動数に近い卓越振動数を持つ長周期地震波と硬い地盤を模擬した CASE3 の固有振動数に近い卓越振動数を持つ持続的な地震波の変位を比較した。CASE2 と CASE3 を比較すると、CASE2 の方が大きく応答している事がわかる。さらに、時刻歴の変位波形を見ると、長周期成分が卓越して、ゆっくりと大きく振動していることから、地盤が軟らかいと表層の応答変位が大きく、大きな地震力が作用する可能性があると言える。

地盤構造による違い

図-3 の CASE2 と CASE4 の変位を比較すると、振動モードが大きく異なる。CASE4 に注目すると、この地盤モデルにおいて大きく変位している。これは、表層を軟らかくしたため、大きく変位してしまったと考えられる。つまり、CASE2 と CASE3 は層構造が一定の場合 1 次モードで振動し、CASE1 と CASE4 は層構造が一定でない場合、相対変位が大きく 2 次モードで振動する。そして、時刻歴の振動モードに注目すると、CASE2 と CASE3 に関しては似ているが、CASE1 と CASE4 は、地震波によって大きく異なる。このことから、振動モードは、層構造が異なる方が、複雑であり、地震波によっては、上下の層の硬軟に影響を受けるのではないかと考えられる。

5. おわりに

本報告では、層構造や入力地震波の違いによる地盤応答特性の影響として、計 16 ケースの地盤応答解析を行った。その結果以下の知見が得られた。i) 加速度応答は、層構造にかかわらず地盤の固有振動数で決定する。ii) 軟らかい地盤は、1 層目の変位が大きい。そのため、上部構造物に力が加わり、影響を与える。iii) 層構造が異なると相対変位が大きい。つまり、ひずみが大きくなる。地中構造物がある場合、影響を与える可能性がある。

今後は地盤—基礎—構造物の一体系で同様な解析を行いたいと考えている。

〈参考文献〉(1) 大崎順彦：地震と建築，岩波新書，1983 (2) 社団法人地盤工学会：土質試験—基本と手引き—，2001 (3) 荒井郁岳：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

表-1 地盤の解析条件

層	CASE1				CASE2			
	地盤	k(kg/m ³ m/s ²)	m(kg)		地盤	k(kg/m ³ m/s ²)	m(kg)	
1層	沖積	7402203.3	15000	沖積	7402203.3	15000		
2層	砂質	35530575.8	33000	沖積	7402203.3	30000		
3層	洪積	79943795.6	36000	沖積	7402203.3	30000		
4層	洪積	142122303.4	36000	沖積	7402203.3	30000		

層	CASE3				CASE4			
	地盤	k(kg/m ³ m/s ²)	m(kg)		地盤	k(kg/m ³ m/s ²)	m(kg)	
1層	洪積	319775182.6	18000	沖積	296088.1	15000		
2層	洪積	319775182.6	36000	洪積	42991996.8	33000		
3層	洪積	319775182.6	36000	洪積	142122303.4	36000		
4層	洪積	319775182.6	36000	洪積	319775182.6	36000		

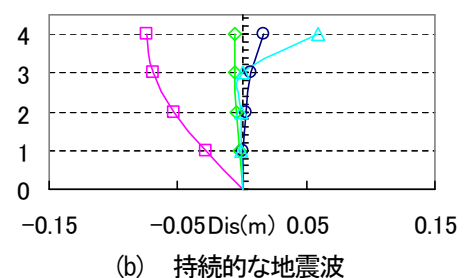
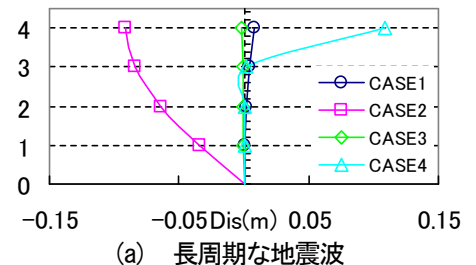


図-3 地震波による応答変位の違い