

軟弱地盤にある構造物の地震時応答特性に対する総合評価

東京都市大学大学院 学生会員○安形早織
東京都市大学 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

構造物の地震時挙動は、多くの要因に影響される。さらに、構造物の損傷は、基礎の形式や構造物の種類によって異なる。構造物の地震時挙動には多くの要因が影響する。また、一般的に、地震応答解析では、解析結果は加速度応答波、速度応答波、あるいは変位応答波で示される。これら応答波は、最大値、平均値、継続時間、固有振動数などの波形特性で表される。それゆえ、多くの特性値を持つ応答特性を総合的に評価することが必要と考えられる。そこで、本研究では地盤特性を表す指標を要約化し、4つのモデル地盤を作成した。さらに、地盤-杭基礎-構造物の一体系のモデルを用い、地震時の応答解析を行い、応答特性の総合指標を作成し、杭基礎-構造物系の形式との関係を考察した。

2. 地盤特性の要約化

(1) 対象地域及び分類方法

地盤特性を要約するため、対象地域は、丘陵、台地、埋め立て地など様々な地盤特性を有している横浜市とした。横浜市が WEB 上で公開しているボーリングデータ¹⁾から、横浜市各地の地盤特性値を求め、主成分分析²⁾を実施し地盤特性の要約化を行った。主成分分析の変数としては、N 値の平均や最大値、最小値、勾配、孔内水位、表層地盤の深さ、土質区分別の深さ等のデータを用いた。

(2) 要約化結果及び表層地盤の分類

算出された固有ベクトルの結果より、第 1 主成分は「軟弱層(N 値 50 以下)の深さスケール」、第 2 主成分は「N 値の変動パターン」を表すと判断した。この主成分分析では、地盤の土質区分があまり考慮されない結果となった。本研究では、N 値の「値」と「変動パターン」で主成分の意味が決まるものとした。

また、主成分得点を図にプロットして、パターン化した。図 1 は Y 軸に第 1 主成分、X 軸に第 2 主成分の得点を示したものであり、各主成分の意味から考え、象限ごとに表層地盤のグループ分けを行った。モデル 1 は第 1 象限に属する軟弱層が厚い地盤、モデル 2 は第 2 象限に属する比較的硬い地層が厚い地盤、モデル 3 は第 3 象限に属する全体が硬い地盤、そして、モデル 4 は第 4 象限に属する軟弱な地層だけが基礎層まで浅い地盤にグループ化した(図 2)。

3. 一体系の応答解析

(1) 解析モデル

構造物-基礎-地盤系(一体系)はバネ質点系でモデル化した。このモデルを用いて、線形応答解析を行った。このモデルでは杭基礎と上部構造からなる構造物系と地盤系から構成され、これら系の間には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

表層地盤のモデルとして、図 2 に示すモデル 1 を用いた。この想定したモデル地盤は、深さ 80m、16 質点で表した。また、入力地震加速度波は、図 3 に示すように、継続時間が 120 秒間の持続的な地震加速度波を用いた。その際、最大入力加速度は 100cm/s² になるように設定した。地震加速度波の 1 次卓越振動数は、0.45Hz であった。杭基礎の長さや構造物系の高さが応答に与える影響を調べるため、杭基礎-構造物モデルは、23 ケースを設定した。これら各ケースを組み合わせ、応答解析を行った。上部構造物は、250m と 165m と 145m、90m、40m の 5 ケースを想定した。また、杭基礎は、杭基礎がない場合(0m)から長い杭(80m)までで 5 ケースを想定した。

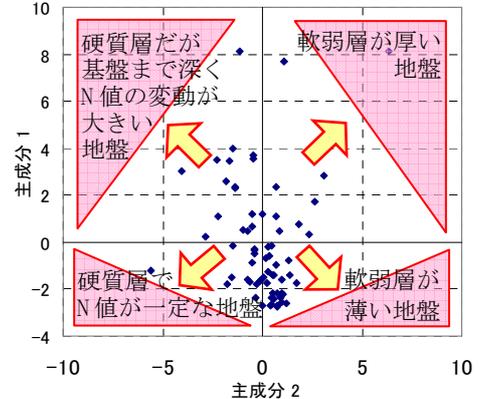


図 1 主成分得点の分布図

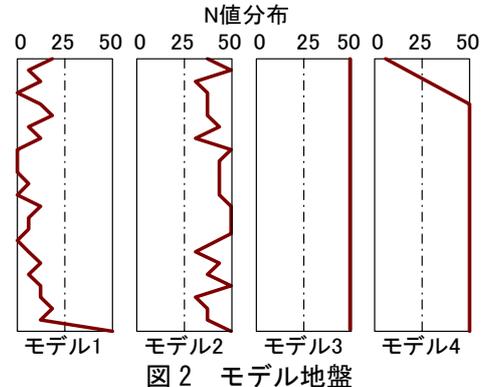


図 2 モデル地盤

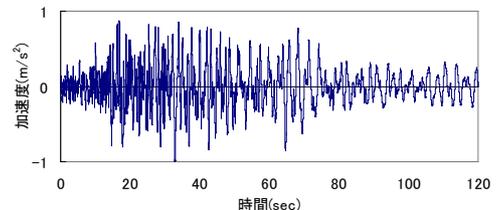


図 3 持続的な入力地震加速度波

キーワード：地震時応答 振動モード 総合指標

連絡先：〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 地盤環境工学研究室 Tel : 03-5707-2202

4. 応答解析結果及び考察

まず、杭基礎の長さが一定の場合は、上部構造物が低いほど振動が短周期になっている。一方で、上部構造物が高いほど構造物自身の振動モードに左右されることがわかった。今回の条件では、上部構造物の高さ90mで杭の長さ30mのビルの場合に最も大きく振動した。そして、最も大きく応答した上部構造物の高さ90mのビルを用い、上部構造物の高さを一定とした場合の振動モードを図4に示す。図4によれば、杭基礎が長いと変位応答が小さいことがわかった。また、高さ90m以外のビルの振動モードと比較すると、変位応答が最も小さい場合は、上部構造物の長さによって異なるので、上部構造物の高さや杭基礎の長さの割合によって変化することがわかる。以上のように構造物の違いによる影響が明らかになった。

5. 一体系の地震時応答の要約化

(1) 要約化の方法及び解析条件

構造物の地震時応答特性に与える影響を明らかにするため、地盤特性の要約化と同じように、主成分分析を用い、応答特性の要約化を行った。

解析条件としては、4.に示した解析結果を用いた。説明変数は、加速度応答、速度応答、変位応答の最大値と平均値、また振動モード、上部構造物の高さ、杭基礎の長さ等を用いた。

(2) 応答特性の総合指標を用いた分析結果

主成分分析により、算出された第1および第2主成分の固有ベクトルを図5, 6に示す。固有ベクトルは、その大きさや符号で算出された主成分の意味合いが決定する。図5より第1主成分は「上部構造物の高さによる加速度、速度応答の規模(スケール)」。図6より第2主成分は「上部構造物の高さや杭基礎の長さの割合による変位応答の規模(スケール)」を表すと判断した。よって「上部構造物の高さや杭基礎の長さの割合(以下、上下比)の大きさ」と「各応答の値」で応答評価が決まると考えられる。

また、地盤の要約化と同様に、主成分分析により得られた図7に示す主成分得点分布図を用い、各ケースの主成分得点が分布図のどの象限に位置するかで、応答特性のグループ分けを行った。杭基礎が長くなるほど、第1, 4象限から第2, 3象限にプロットが変化することや、上部構造物が長いと第1, 2象限から第3, 4象限にプロットが変化することがわかった。また、図7中の○印のプロット点は、各応答の最大値を観測した点を示す。つまり、応答に関しても、下にいくにつれ加速度、速度応答が大きくなり、右に行くにつれ変位が大きくなる。これらのことから、主成分得点が第1象限に位置すると「上下比が大きい場合には、変位応答が大きく、加速度応答が小さい」ということができ、反対に第3象限に位置すると応答としては「上下比が小さい場合には、かつ変位応答が小さく、加速度応答が大きい」といえる。これらのことから、上下比は、応答に影響を与えることが考えられる。

6. おわりに

本研究では、横浜市のボーリングデータを基に地盤特性を要約化して、表層地盤をグループ化した。類型化された地盤条件に対して地盤モデルを設定し応答解析を行った。その結果から、応答特性の要約化を行い、構造物の影響を考察した。その結果、以下の知見を得た。i)地盤条件は、主成分分析により、N値の「値」と「変動のパターン」に要約される。ii)杭長によって構造物に伝わる地震力は変化する可能性がある。iii)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、上部構造物が長いほど構造物自身の振動性状で振動する。iv)主成分得点(総合評価)により、上下比が応答特性に与える影響も大きいことが明らかになった。

<参考文献>(1)横浜市行政情報提供システム <http://www.city.yokohama.jp/> (2)菅民郎:Excelで学ぶ多変量解析入門, オーム社, 2007. 11 (3)荒井ら: 杭基礎で支持された自立型タワー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 (4)真野ら: 地盤の自然災害リスクから見た土地評価, Geo-Kanto2008 発表講演集, p. 88-89, 2008. 10

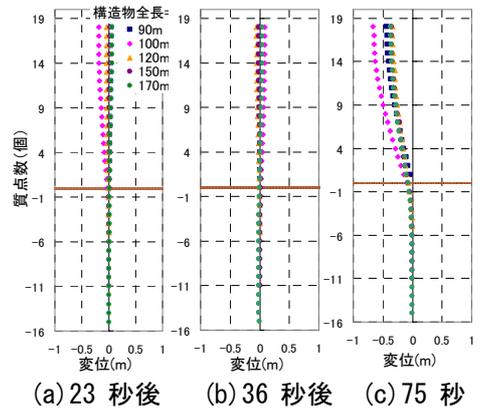


図4 変位応答モード

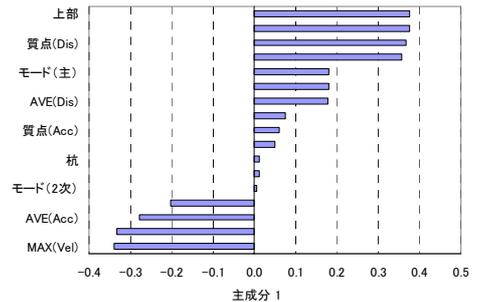


図5 第1主成分の固有ベクトル

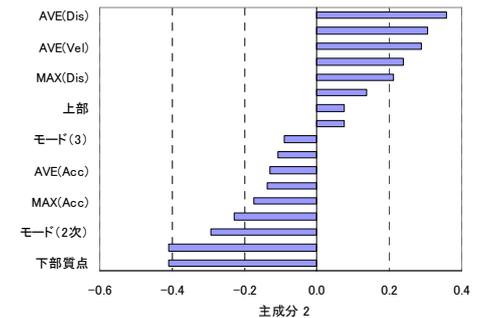


図6 第2主成分の固有ベクトル

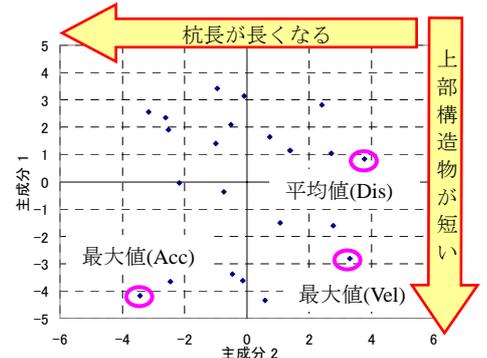


図7 応答特性の主成分得点分布