

地震動の高振動数成分が杭基礎のキネマティック応答に及ぼす影響に関する研究

埼玉大学大学院 学生会員 ○佐藤 絵人

埼玉大学レジリエント社会研究センター 正会員 齊藤 正人

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震は日本における観測史上最大規模の地震であり、各地に多くの被害を与えた。被害調査報告によれば、建物上部構造のみならず杭基礎の損傷についても報告されている。本地震の特徴として、地震動の高振動数成分が卓越していたことが挙げられる。本地震で観測された地震動は、様々な設計指針の高振動数領域における想定をはるかに上回る応答特性を持つものであった。K-NET 築館 (MYG004) で観測された地震動の加速度応答スペクトルと現行の設計応答スペクトルの比較を図-1に示す。

本研究では、地中に埋設される杭基礎に対して、このような高振動数成分が及ぼす影響を評価することを目的とし、動的 Winkler モデルを用いた応答解析を行った。

2. 解析概要

(1) 地盤動的応答解析

Winkler モデルを用いた杭の解析では、地盤の応答変位を地盤ばねモデルに入力する必要があるため、先ず地盤の動的応答解析を行う。今回対象とした表層地盤モデル、及び杭の配置状況を図-2に示す。全層が砂で構成され、深度 5m 及び 21m にせん断波速度の異なる層境界が存在する。深度 25m 以深の地盤については、直上層と同等の物性を持つ層が半無限に存在すると想定した。地盤の非線形モデルについては双曲線モデルとし、履歴則は Masing 則とした。また、基準ひずみと微小ひずみ域の減衰定数は拘束圧依存型モデル (Hashash et al.¹⁾) を用いた。この地盤応答解析により得られる時刻歴応答加速度から時刻歴応答変位を計算し、杭の応答解析に用いた。

(2) 杭の動的応答解析

先の地盤応答解析により得られた時刻歴応答変位を用いて、杭の動的応答解析を行う。今回は単杭を対象とし、杭体は 0.5m 間隔の節点と節点間を結ぶ弾性梁要素でモデル化した (図-3)。杭周辺地盤は地盤ばねとして離散化し、ばねの節点に変位を入力する。地盤ばねについては、Boulanger et al.²⁾ の提案する非弾性モデルを用いる。杭長

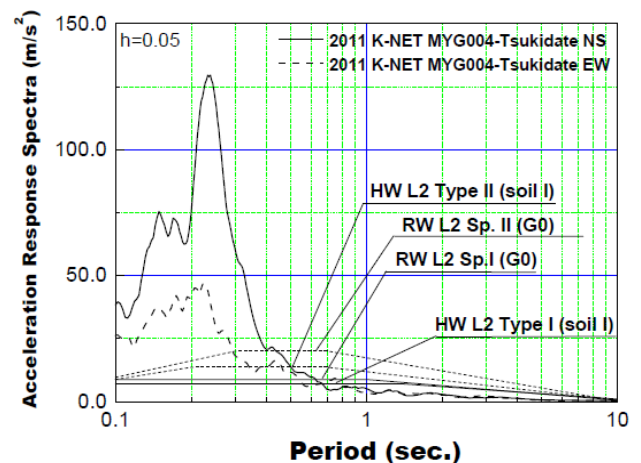


図-1 築館地震動と設計指針加速度応答スペクトル

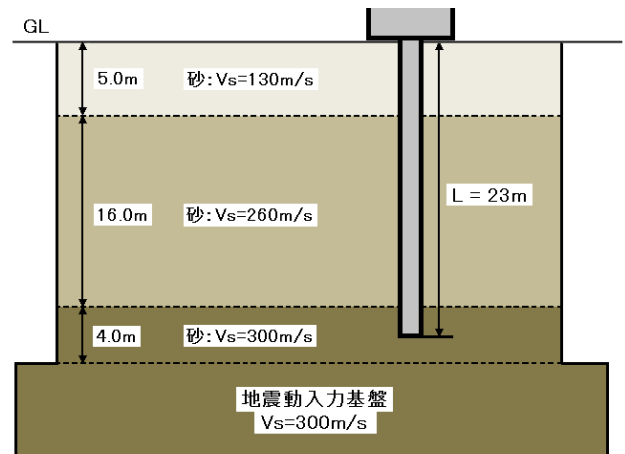


図-2 地盤モデルと杭の配置状況

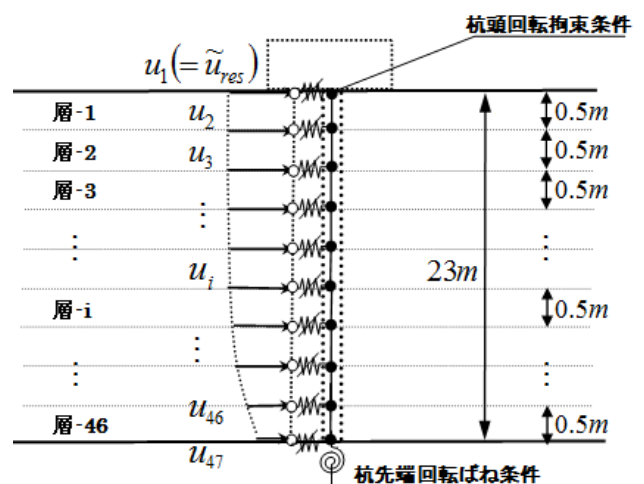


図-3 杭-地盤系モデル

は 23m とし、杭径 D は 0.5m, 1.0m, 1.5m の 3 通りとした．弾性梁要素のヤング率はコンクリート杭を想定して $2.5 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ とした．

(3) 入力地震動

本研究では，入力地震動に高振動数成分が最も卓越して観測された K-NET 築館の地震動を用いる．また，高振動数成分の影響程度を定量的に捉えるため，観測地震動の高振動数成分 ($T=0.25\text{s}$ 以下) に一定の係数 α を乗じて応答を低下させた地震動作成し，これを入力地震動として用いる．入力地震動の加速度応答スペクトルを図-4 に示す．

3. 解析結果

図-5 に $D=1.0\text{m}$ の杭に生じた曲げモーメントの深さ方向の分布を示す．いずれの α の値のケースにおいても，杭頭及び深度 5m の層境界付近での曲げモーメント値が大きくなっていることがわかる．また，高振動数成分の多いケースほど，より深部での曲げモーメント値が大きくなっていることもわかる．

また，図-6 に $\alpha=1.0$ および $\alpha=0.0$ での杭の最大変位の比較を示す． α の値が大きいほど変位分布が波打つような形になっていることがわかる．

4. 結論

概して高振動数成分が多い地震動ほど杭の曲げモーメントに与える影響は大きくなり， $D=1.0\text{m}$ の杭では $\alpha=0.0$ に対する $\alpha=1.0$ の曲げモーメント値の比は最大で 3 倍（深度 20m における）となった．高振動数成分が強い地震動の場合，地震動入力基盤の直上地盤層での非線形性が強くひずみが大きくなり，これが杭の深層部での曲げモーメントに影響を与えたものと考えられる．

また，高振動数成分を多く含むケースほど杭の最大変位分布が波打つような形状になっており，高振動数成分が杭体の高次モードの発現に影響を与えていると考えられる．特に杭径の小さいケースではこの傾向が強くみられる．

5. 参考文献

- 1) Hashash, Y. M. A., Park, D. (2001) "Non-linear one-dimensional seismic ground motion propagation in the Mississippi embayment." Engineering Geology, 62(1-3), 185-206
- 2) Boulanger, R. W., Curras, C. J., Kutter, B. L., Wilson, D. W., and Abghari, A. (1999) "Seismic soil-pile-structure interaction experiments and analyses." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 125(9), 750-759

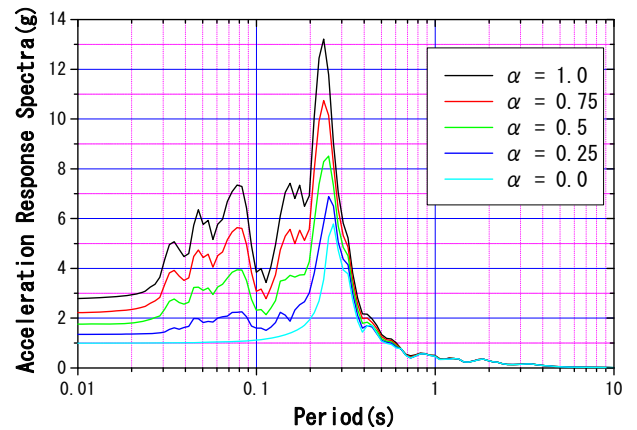


図-4 入力地震動加速度応答スペクトル

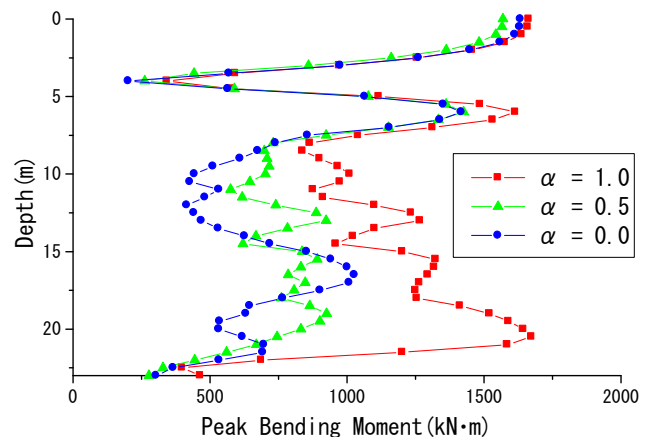


図-5 杭体最大曲げモーメント分布

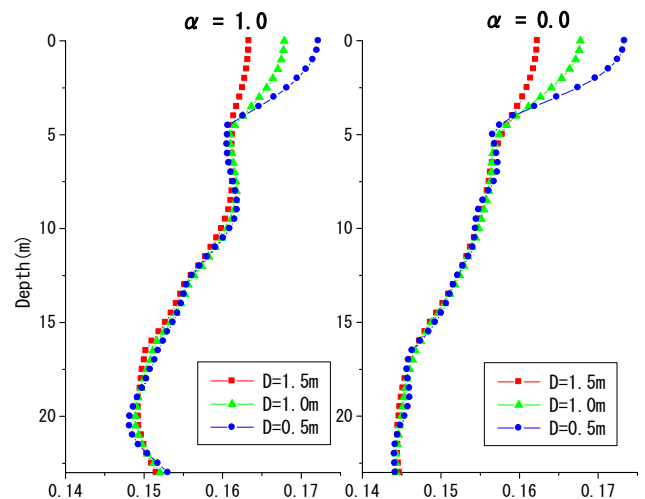


図-6 杭体最大変位分布