

I-B313 地震時杭応力における慣性力と地盤変位の影響に関する考察

(その1) 地盤変位と慣性力の組合せ方法の考え方と杭応力に与える影響

(財) 鉄道総合技術研究所	正会員	永妻 真治
同 上	正会員	室野 剛隆
同 上	正会員	西村 昭彦
(株) テ ス	正会員	長谷川淳史

1. はじめに

軟弱地盤では地震時の地盤変位量が大きく、鉄道橋梁の基礎構造物の耐震設計では、地震による上部構造物の慣性力と地盤変位による影響を考慮した応答変位法を用いてきた。これまで地盤-基礎-構造物系の模型振動実験や解析により、慣性力と地盤変位の影響には位相差があること等を明らかにして、これら2者の組合せによって杭体へ作用する荷重を求める際に位相差を考慮した補正を行うことを提案してきた^{1), 2), 3)}。

本報告では、地盤変位と慣性力の組合せ方法の考え方を示すとともに、杭応力分布における位相差の影響について考察した。なお、本解析では杭頭を固定としたが、その他の条件については、(その2)で述べる。

2. 地盤変位と慣性力の組合せ方法

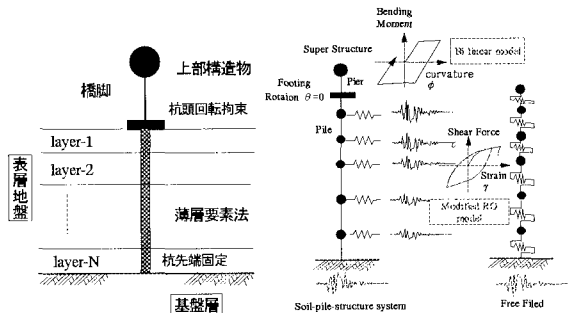
上部構造物の慣性力と地盤変位が杭基礎に与える影響を把握するために、地盤-基礎-構造物系の解析モデルを構築し、地盤の一次固有周期(T_g)と構造物の一次固有周期(T_s)の組合せをパラメトリックに変化させて、薄層要素法による線形解析、多質点離散系による線形解析および非線形解析(地盤のみ非線形、地盤および橋脚が非線形の場合)を行ってきた^{1), 2), 3)}。解析モデルを図-1に示す。

モデル化に際しては、構造物および基礎は鉄

道橋脚のRC場所打ち杭型式を想定し、地盤条件と構造物の諸元および入力地震動の条件を変化させ種々の解析ケースを設定した。各ケースとも構造物の固有周期(T_s)を0.3~2.0(sec)の範囲で変化させた。

各解析ケースについて T_g と T_s の比(α)を求め、この関係をもとに解析結果を整理することとした。杭頭モーメントの時刻歴応答波形をみると、地盤変位によるモーメント(M_g)と慣性力によるモーメント(M_a)は、 α の大きさにより位相差を生じ、全体系モーメント(M_t)は、 α の大きさによって必ずしも合計値とはならないことが確認された。そこで、地盤変位および慣性力の影響と固有周期との関係を評価するために、地盤変位が最大となる時($t=t_g$)の上部構造物の応答加速度($a(t=t_g)$)の最大値(a_{max})に対する比($a(t=t_g)/a_{max}$)と上部構造物の応答加速度が最大となる時($t=t_a$)における地表面の応答変位($\delta(t=t_a)$)の最大値(δ_{max})に対する比($\delta(t=t_a)/\delta_{max}$)を全解析ケースについて求め、図-2、3に表した。

これより、 $\alpha < 1$ ($T_s < T_g$)では、慣性力と地盤変位による影響がほぼ同位相で作用するため、 $a(t=t_g)/a_{max}$ および $\delta(t=t_a)/\delta_{max}$ は1.0に近い値を示すが、 α が大きくなる($T_s > T_g$)につれて徐々に減少し負の値となり、位相がずれていく影響が表れていることが分かる。



薄層要素法モデル 多質点離散系モデル
図-1 解析モデル

Key Words : 耐震設計, 応答変位法, 杭基礎, 地盤変位, 慣性力, 杭応力

連絡先: 〒185-0034 東京都国分寺市光町2-8-38 TEL 0425-73-7262 FAX 0425-73-7248

以上のことから、杭に作用する外力(R_t)としては、慣性力による外力(R_a)と地盤変位による外力(R_g)をもとに概念的に、 $R_t = \beta \times R_a + \gamma \times R_g$ と表わせ、耐震設計上は、以下の2段階の組合せが考えられる。

Step1 慣性力を主体とした設計 $R_t = 1.0 \times R_a + \gamma \times R_g$ (1)式

Step2 地盤変位を主体とした設計 $R_t = \beta \times R_a + 1.0 \times R_g$ (2)式

係数 β 、 γ は位相差を考慮した補正係数であり、図-2、3に示す上限値 ν 、下限値 η の範囲に位置する。

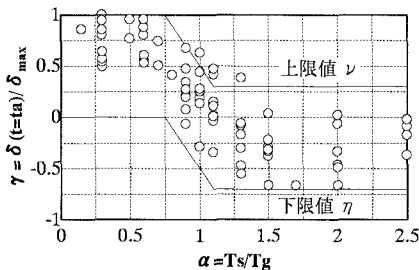


図-2 構造物加速度最大時の地表面の変位比

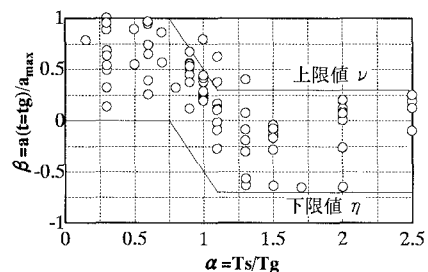


図-3 地盤変位最大時の構造物の応答加速度比

3. 杭応力分布に与える慣性力と地盤変位の影響

慣性力と地盤変位による杭の曲げモーメント分布を静的解析（設計実務による方法）によって求め、上述した設計の考え方をもとに、位相差による補正係数を考慮して合計したモーメント分布を求め、動的解析によって得られる全体系モーメント(M_t)との比較を行い、補正係数の適用性について考察する。なお、橋脚は線形とし、荷重となる慣性力 R_a は動的解析による上部構造物の最大加速度を震度に換算した値を用い、地盤変位分布は自然地盤の動的解析による最大変位分布を杭体に作用させた。算出結果を図-4に示す。補正係数 β 、 γ は、位相を考慮しない場合(図中①)と図-2、3の上限値 ν 、下限値 η を用いた場合(図中②～⑤)を示した。これより杭頭付近では②が、地中部では⑤の場合が動的解析結果との一致が最もよい。つまり、 α によって位相が変化するものの、杭頭付近は慣性力による影響が支配的になることから、設計上の配慮により上限値 ν を用いる方がよい。一方、地中部では地盤変位による影響が支配的になるが、杭頭部を回転拘束としているため M_a の分布が反転することにより M_g とは逆符号の関係となるため、上限値 ν を用いると逆に過小評価となり、下限値 η を用いた方がよいものと考えられる。 ν 、 η については、今後さらに精査していく必要がある。

4. まとめ

杭に作用する外力としては、耐震設計上は慣性力が主体と地盤変位が主体の2段階の組合せが考えられ、両者の位相差を考慮した補正係数を適用して杭応力分布を求めた。

参考文献

- 1) 西村・室野・永妻：地盤変動を考慮した軟弱地盤中の杭基礎構造物の耐震設計法。第24回地震工学研究発表会講演論文集。pp. 921-924, 1998
- 2) 室野・西村・永妻：軟弱地盤中の杭基礎構造物の地震応答特性と耐震設計への応用。構造工学論文集 Vol. 44A, pp. 631-640, 1998
- 3) 室野・西村：杭基礎構造物の地震時応力に与える地盤・構造物の非線形性の影響とその評価手法。第10回日本地震工学シンポジウム, 1998(投稿中)

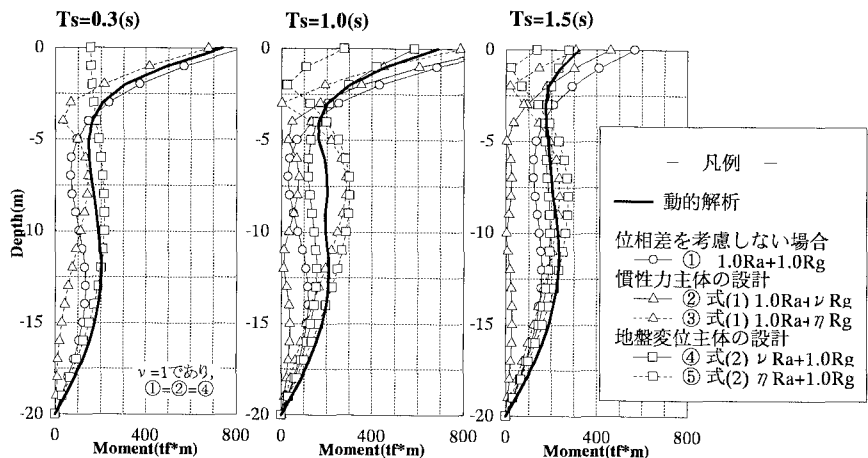


図-4 動的解析と静的解析（式(1)、(2)による）からの杭の曲げモーメント分布の比較