

I-B 406 地盤変位に着目した杭基礎構造物の耐震設計法への一提案

(その2)・地盤-杭-構造物系の地震応答解析と耐震設計への検討

鉄道総合技術研究所 正会員 室野剛隆
 同上 正会員 西村昭彦
 基礎工学コンサルタント 正会員 永妻真治

1.はじめに

前編(その1)では、地盤-杭基礎-構造物系の伝達関数および正弦波を入力した場合の結果から、地盤変位と構造物の慣性力の影響が同位相で作用する場合と逆位相で作用する場合があること等を報告した。そこで、本編(その2)では、その1と同じモデルを用いて、地盤の卓越周期(T_g)と構造物の固有周期(T_s)の組み合わせをパラメトリックに変化させた地盤-杭-構造物系の地震応答解析を実施し、地盤変位を考慮した耐震設計法(応答変位法)への一提案を行った。

2.入力地震波

入力地震波は鉄道構造物の耐震設計に関する参考資料¹⁾で定める基盤適合波(2種類)と八戸波を基盤にした。図1に基盤適合波の波形と速度応答スペクトルを示す。

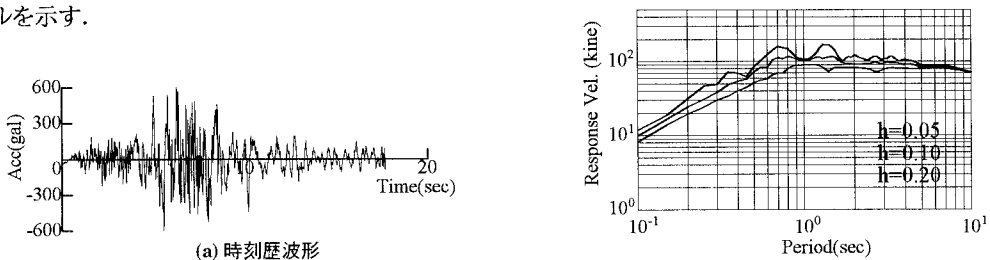


図1 入力地震波 (a) 時刻歴波形 (b) 速度応答スペクトル

3.解析結果

(1)地震応答波形

図1の地震波を基盤に入力した地震応答解析の結果得られた応答波形(杭頭モーメント)の代表的な例を図2に示す。 $T_g > T_s$ の場合(図(a))では地盤系と慣性系に位相のずれはなくほぼ同位相であり、地盤変位と慣性力によるモーメントが同位相で作用することが分かる。しかし、 $T_g < T_s$ の場合(図(c))では両者の位相が無関係に推移している様子がわかる。正弦波を用いた解析結果と定性的には同じ傾向である。

(2)地盤変位と慣性力による影響の関係

地盤変位が最大となる時刻($t=t_g$)および、構造物加速度が最大となる時刻($t=t_a$)に注目した。図3は $t=t_g$ に注目した場合である。

$T_g > T_s$ の範囲では M_a/M_{max} (最大モーメント(慣性系)に対する $t=t_g$ でのモーメント(慣性系)の割合)が1.0に近いが、 T_s が長くなるにつれて M_a/M_{max} は減少し、 $T_s \approx 1.3T_g$ 付近

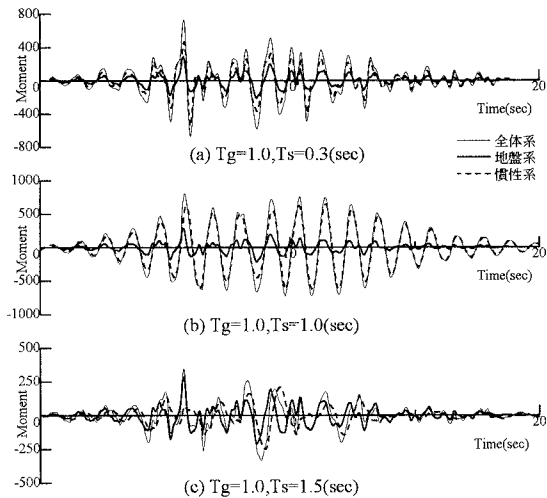


図2 時刻歴応答波形(杭頭モーメント)

でこの値は最小となり、その後再び1.0に近づく。これは図2からもわかるように T_g と T_s の関係によって地盤変位と慣性力の作用の間に位相差が生じ、両者が最大となる時刻に差が生じてくるためである。この結果は、地盤変位を考慮した設計では、地盤変位と組み合わせる慣性力は必ずしも大きな値をとる必要がないことを示唆している。一方、図4は $t=ta$ に注目した場合であるが、 T_s が T_g に比べて大きくなるとともに、 $Mg/Mgmax$ （最大モーメント（地盤系）に対する $t=ta$ でのモーメント（地盤系）の割合）は0に近づく。

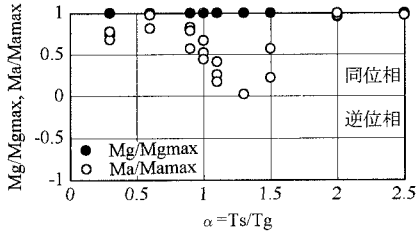


図3 地盤変位最大時刻での応答値

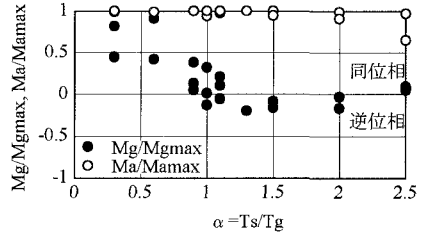


図4 上部構造物加速度最大時刻での応答値

また、 $t=tg$ のときの振動モードの一例を図5に示す。(a)では地盤が主体のモードであり、地盤と構造物は同位相である。(b)では共振現象を起こしており、その結果地盤と構造物の間で位相差が生じ、さらに(c)では逆位相に近い関係を示す、このことは(2)の検討結果とよく対応している。

(3) T_s/T_g と構造物加速度との関係

図6に T_s/T_g の関係と構造物の最大応答加速度との関係を示す。入力レベルによる違いをなくすために各ケースとも最大値で正規化した。 $T_s=T_g$ 付近では共振し大きな加速度を示すが、 $T_s>T_g$ の領域では構造物加速度がかなり小さく抑えられる。

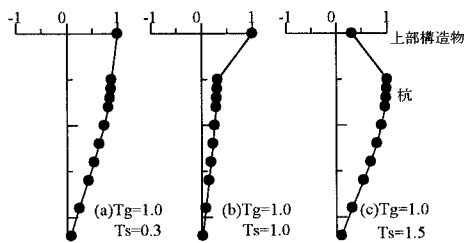


図5 振動モード

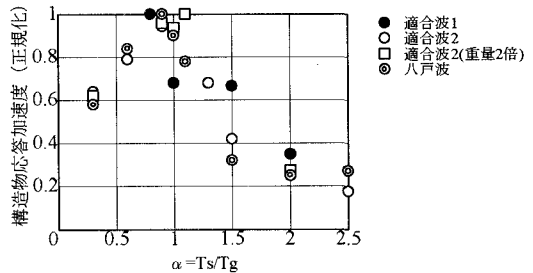


図6 T_s/T_g と応答加速度との関係

4. 耐震設計への応用

以上より、軟弱地盤での杭基礎構造物の耐震設計では、地盤変位を考慮する必要がある。現在の耐震指針でも、地盤変位を速度応答スペクトルから算定し、その地盤変位を地盤バネを介して杭に作用させることで地盤変位の影響を設計に取り入れている²⁾。しかし、図3や図6の結果に鑑みると、① T_g と T_s の関係で構造物と地盤変位の間に位相差が生じる、② T_g と T_s の関係で上部構造物の応答加速度が大きく変化する、という効果を取り入れる必要がある。この効果を取り入れる必要がある。この効果を、設計震度の補正係数として導入することを考えている。詳細については、別の機会に報告したい。

5. おわりに

地盤 - 杭 - 構造物系の地震応答解析を行い、杭基礎の応答変位法について、地盤変位と構造物の慣性力の載荷方法の考え方等について検討した。今後は、さらに試設計と実験などを合わせて検討していく予定である。なお解析プログラムに関して御指導頂いた岡山大学の竹宮教授に深謝致します。

参考資料 1) (財) 鉄道総合技術研究所：新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料，平成8年3月
2) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説，1986