

（財）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

1. はじめに

軟弱地盤上の基礎の耐震設計法として、鉄道構造物では地盤の変形を考慮した応答変位法<sup>1)</sup>が取り入れられている。また、鉄道基礎構造物では、限界状態設計法の導入が図られ、普通地盤についてほぼその考え方がまとまってきた。これに伴い、応答変位法でも基礎と地盤の相互作用をよく把握した上で、慣性力の影響と地盤変位の影響をより精度よく評価する必要がある。そこで、地盤と基礎の動的相互作用を考慮した杭基礎構造物の地震応答解析を実施し、限界状態設計法に対応した応答変位法を確立するための基礎資料を得た。

2. 解析条件

地盤の卓越周期（以下 $T_c$ ）と構造物の固有周期（ $T_s$ ）の大小関係は地盤-基礎-上部構造物系の地震応答特性を左右する一要因である<sup>2)</sup>。そこで $T_c$ と $T_s$ の組合せをパラメトリックに変化させた地震応答解析を行い、応答変位法で組み合わせるべき地盤変位と慣性力の大きさの検討を行った。

解析モデルについては、地盤モデルは表1のような一層地盤を基本としてせん断弾性波速度 $V_s$ を変化させて $T_c$ を変化させた。構造物は表2の諸元を持つ杭基礎橋脚を基本に、橋脚の曲げ剛性EIまたは上部工重量を変化させて $T_s$ を調節した。また入力地震波は図1のようなマグニチュード $M=8$ 、震央距離 $\Delta=35(\text{km})$ のスペクトル適合波を用いた。

表1 地盤条件（表層地盤）

層厚H	20 (m)
ポアソン比 $\nu$	0.45
密度 $\gamma$	1.50 (tf/m <sup>3</sup> )
減衰定数h	20%
せん断弾性波速度 $V_s$	40~160 (m/s)

表2 構造物条件

上部工諸元	橋脚高さ	23.5(m)
	上部工重量	800(tonf)
杭諸元	杭本数	12 (本), 直径 100(cm)

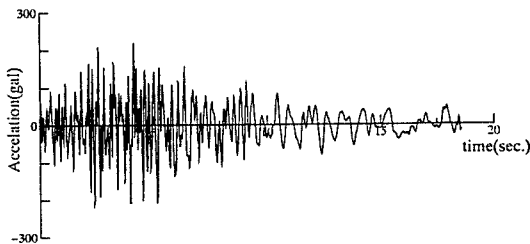


図1 入力地震動（スペクトル適合波）

3. 地震応答解析結果

図2に鉛直方向の杭の曲げモーメント分布の一例を示す。杭頭が最も慣性力の影響が大きく、深くなると地盤変位の影響が大きくなっている。図3は $T_s=0.6(\text{sec})$ に対して $T_c=0.5\sim 2.0(\text{sec})$ とした場合である。普通地盤（ $T_c=0.5(\text{sec})$ ）では慣性力による影響が支配的であるが、軟弱地盤（ $T_c=1.6, 2.0(\text{sec})$ ）では地盤変位による影響が大きく、設計上重要であることがわかる。図4は $\alpha (=T_s/T_c)$ と加速度・曲げモーメントの最大応答値との関係を示したものである。上部工加速度では $\alpha=1$ 付近で最大値を示し、地盤と構造物が共振を起こしていることがわかる。また $\alpha=0.33$ 付近でも明確なピークを示す。これは $T_s$ が $T_c$ の約1/3に一致したケースを想定したことになる。つまり地盤の2次モードと共振したものであると考えられる。杭頭曲げモーメントでは、 $\alpha=1$ と $\alpha=0.33$ で大きな値を示す傾向にあるが、それほど顕著ではない。これは1次モードの他に2次モードなどの影響が大きいためと考えられる。また図5は上部工重量を2倍して解析した結果の一例である。図4とほぼ同じ傾向である。

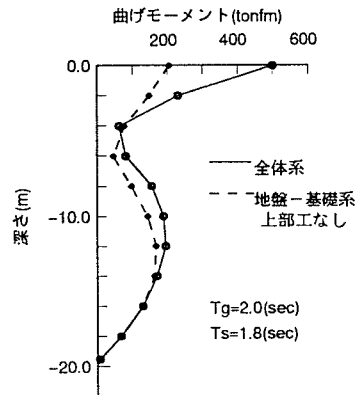


図2 曲げモーメントの鉛直分布

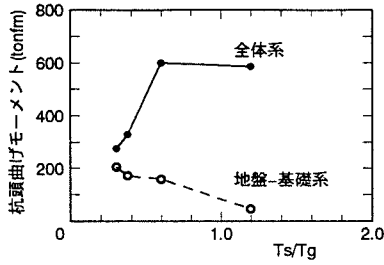


図3  $\alpha (=T_s/T_G)$ と地盤変位による影響の関係

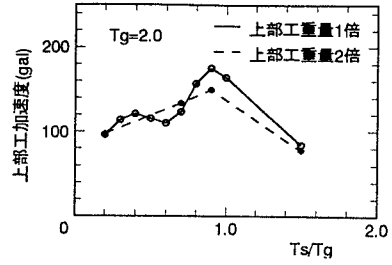


図5 上部工重量を2倍にした場合

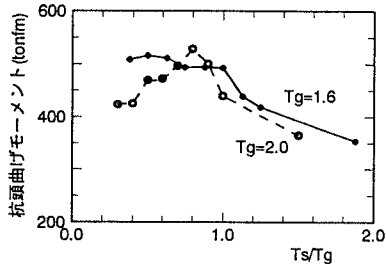
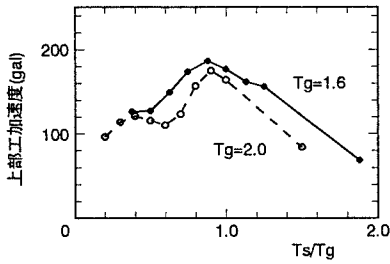


図4  $\alpha (=T_s/T_G)$ と最大応答値の関係

#### 4. 設計への応用

地盤変位が最大の時刻に注目すると、その時発生した曲げモーメントは最大曲げモーメントに対して常に8割以上に達することが確認できた。よって地盤変位が最大の時刻に注目した応答値に基づいて、上部工慣性力と地盤変位に起因する外力の両者を評価してもよいと考えられる。そこで、設計震度としては、

$$k_{hd} = 0.04 \nu a_g / (T_G)^2$$

( $k_{hd}$ : 応答変位法に用いるべき設計水平震度,  $a_g$ : 耐震設計上の地盤面の設計水平変位量,  $T_G$ : 表層地盤の卓越周期,  $\nu$ : 構造物および地盤の応答特性から定まる増幅率)

なる設計水平震度を提案することができる。これは地表面が変位振幅 $a_g$ で正弦波振動した場合の地表面の加速度に対して、構造物が $\nu$ 倍増幅されると考えたものである。図6は解析から得た増幅率(上部工加速度/地表面加速度)で、この結果を利用した一例として図7のように考えることができる。そして、慣性力と地盤変位に起因する外力は、 $\alpha \leq 1.15$ のときは同位相で、 $\alpha > 1.15$ では逆位相で載荷する。

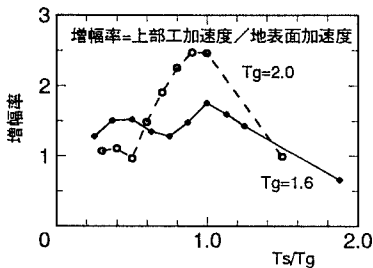


図6 解析から求める加速度増幅率

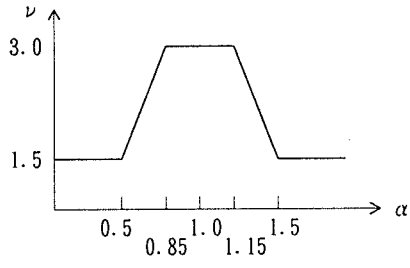


図7 構造物および地盤の応答特性から定まる増幅率

#### 5. おわりに

本論文では、地震応答解析の結果とこれを設計に応用する場合の一提案を行った。今後はさらに試設計等を含めて、大地震時を考慮した応答変位法の設計方法の検討を進める必要がある。

#### 参考文献

- 1) 大橋勝弘, 西村昭彦: 地盤の変位を考慮した基礎の耐震設計 (1) ~ (3), 構造物設計資料No.50~No.52
- 2) 竹宮宏和, 片山吉史: フレキシビリティ法による群杭の動的解析と設計への提案, 土木学会論文集