

I-B 405 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1）地盤-杭-構造物系の基本的動特性

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

1.はじめに

応答変位法は、地中埋設管等の耐震設計法として用いられているが、鉄道の設計指針¹⁾では、軟弱地盤中の杭基礎の耐震設計法についても構造物の慣性力の他に応答変位法によって地盤変位の影響を評価している。しかし応答変位法で組み合わせる場合の構造物の慣性力の算定法や、地盤変位と慣性力の組み合わせなどについて、なお検討の余地がある。そこで、本研究では、地盤-杭-構造物系の振動特性を把握し、地盤変位を考慮した耐震設計法のための資料を得ようとするものである。（その1）では地盤-杭-構造物系の基本的動特性について、（その2）ではその地震応答解析結果と耐震設計法への検討について報告する。

2.解析モデルと解析方法

ここでは地盤を1層地盤、構造物を1質点系としてモデル化した。解析モデルの概念図を図1に示す。諸元は実際の鉄道橋をモデルとして表1のように設定した。ただし、今回の解析では杭頭の回転を拘束とした。これを基本ケースとして地盤の卓越周期（ 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解析を行った。

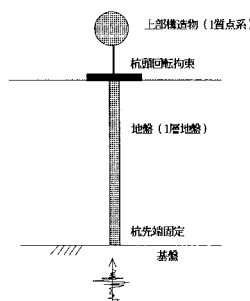


図1 解析モデル概念図

解析は、地盤を薄層要素法によって、また杭基礎は伝達マトリクス法によって評価し、地盤と杭の相互作用をフレキシビリティ法を用いて解析した²⁾。

3.解析結果

ここでは、地盤-杭-構造物系を「全体系」、地盤震動のみを考慮した場合を「地盤系」とした。上部構造物の慣性力の影響は両者の差として求め、これを「慣性系」として解析結果を整理した。

表1 解析モデル諸元

地盤	固有周期	$T_g(\text{sec})$	1.0
	層厚	$H(\text{m})$	20.0
	せん断波速度	$V_s(\text{m/s})$	80.0
	単体積重量(地盤)	$\gamma_s(\text{tf/m}^3)$	1.5
	ポアソン比	ν	0.49
杭	減衰定数(地盤)	hg	0.2
	半径	$D(\text{m})$	1.2
	単体積重量(杭)	$\gamma_p(\text{tf/m}^3)$	2.5
	減衰定数(杭)	hp	0.05
構造物	ヤング率	$E_p(\text{tf/m}^2)$	2.5×10^8
	固有周期	$T_s(\text{sec})$	0.3~2.5
	上部工重量	$W_u(\text{tf})$	196.85
	下部工重量	$W_p(\text{tf})$	80.58
	減衰定数	hs	0.1

(1) 伝達関数

図2は上部構造物および杭頭変位の伝達関数を示す。(a) $T_g > T_s$ では、構造物の応答は明確な2つのピークを持つ。1つは地盤の卓越周期付近であり、もう1つは構造物の固有周期付近である。前者は地盤変位が主体となるモードで、後者は構造物が主体となるモードである。杭頭変位の伝達関数においても似た形状を示し、地盤変位および構造物の慣性力の両者の影響を受けることがわかる。

(b) $T_g = T_s$ の場合には構造物は共振し応答が著しく増大するが、杭頭変位では全体系と地盤系とあまり変わらない。このことから構造物と地盤震動との影響に位相差があり、地盤変位が最大の時に慣性力が最大とならないと考えられる。(c) $T_g < T_s$ では、構造物変位はそれ自身の固有振動が卓越するが、杭頭変位は(b)と同様の傾向である。

(2) 正弦波入力による解析結果

1) 地盤の卓越周期 T_g と同一の周期をもつ正弦波を入力した場合の杭頭に作用するモーメントの応答波形を図3に示す。なお全体系の最大モーメントで正規化した。(a)のケースでは、地盤変位の影響(地盤系)と慣性力の影響(慣性系)が同位相で杭体に作用することがわかる。よって全体系のモーメントは地盤系と慣性系のモーメントの和として表される。また(b)の場合では、地盤と構造物が共振し、両者の影響の位相

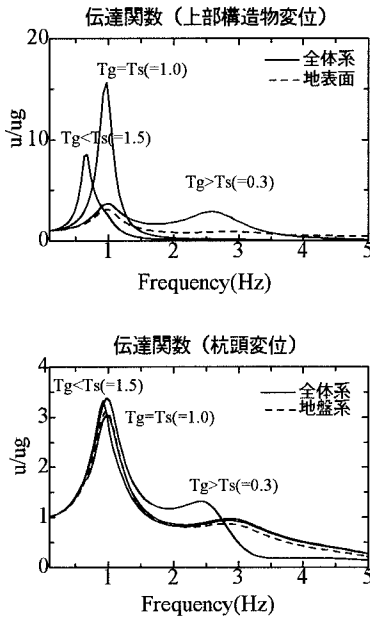


図2 基盤に対する変位の伝達関数

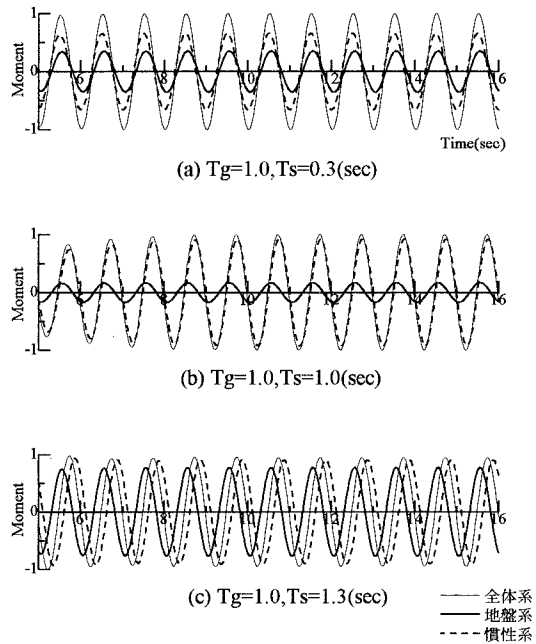


図3 時刻歴応答波形（杭頭モーメント）

が90° 近くずれており、さらに T_s が長くなり (c) のケースになると、地盤変位の影響と慣性力の影響がほぼ逆位相に近い関係で作用している。なお、波形掲載は省略するが、さらに T_s が長くなると慣性力の影響が非常に小さくなるものの、再び同位相で作用することも分かった。これらの傾向は伝達関数の特徴で検討した傾向ともよく対応する。

2)(a), (b), (c) の各ケースについて、杭に作用する最大モーメントの深度分布を図4に示す。ただし、最大値で正規化している。杭頭付近では、慣性系によるモーメントが支配的であり、特に地盤と構造物が共振する (b) の場合にその傾向が顕著である。一方、杭径の3倍程度以深では地盤変位による影響が支配的であり、地盤変位による影響が無視できないことが伺われる。なお解析は杭先端を固定としているので杭先端で非常に大きなモーメントが生じている。

4. おわりに

本編では、伝達関数および正弦波を入力した結果から、 T_s/T_g によって構造物の慣性力と地盤変位が杭に与える影響が変化することを明確にした。なお、本解析を行うにあたり、解析プログラムに関して御指導いただいた岡山大学の竹宮教授に深謝致します。

参考文献

- 1) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説，1986
- 2) 竹宮宏和，片山吉史：フレキシビリティ法による群杭基礎の動的解析と設計への提案，土木学会論文集1-27，No. 489

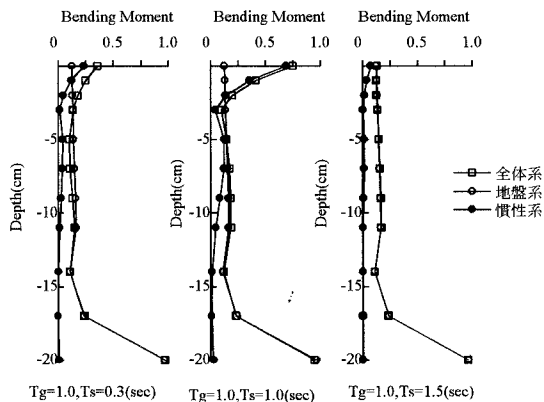


図4 杭のモーメントの鉛直方向分布