

群杭基礎構造物の非線形耐震解析

岡山大学工学部 正員 竹宮 宏和  
 日本道路公団 正員 湯川 保之  
 東洋建設 働 正員 ○野田 善久

1. まえがき

最近の土木・建築構造物の傾向として大型化が著しく、しかも軟弱地盤上に建設される機会が多くなってきている。そしてこれらの下部構造形式としての群杭基礎はそれに対応して大型化の傾向にある。本研究は、かかる群杭基礎構造物の地震応答性状を、特に杭周辺地盤の材料非線形性に注目して調べたものである。定式化は、まず単杭について離散系質量を有する梁要素で示し、地盤を粘弾性体として線形および非線形バネ要素を用いてモデル化する。さらに群杭の相互作用効果は、単杭の運動方程式に群杭効率を導入して評価する。土の非線形履歴モデルには、Hardin-Drnevich モデルを採用し、基礎入力に対する応答を直接逐次積分法から求める。また解の妥当性は、振動数応答法にフーリエ変換を施した結果との比較により確か<sup>1)</sup>。

2. 定式化

任意の節点に非線形要素を配した解析モデルを想定し(図1)、基礎入力を受ける離散化された単杭の運動方程式をマトリックスで表示すると、

$$M_p \ddot{U}_t + (C_p + C_s) \dot{U}_t + (K_p + K_s) U_t = R_t \quad (1)$$

上式において  $M_p, C_p, K_p$  は離散化された杭の集中質量、減衰、剛性マトリックスを、 $R_t$  は杭先端の境界条件から生じる断面力および各節点に作用する有効地震外力の和を示す。また地盤バネ  $K_s$  および地盤減衰係数  $C_s$  には、平面歪仮定のもとで得られた水平および鉛直動の波動論解を地盤の卓越振動数  $\omega_g$  で固定して使用する。つまり、

$$K_s = \text{REAL} ( K^*(\omega_g) ) \quad (2)$$

$$C_s = \text{IMAG} ( K^*(\omega_g) ) / \omega_g \quad (3)$$

式(1)を群杭の運動方程式に改めるには、“各杭頭が同一の並進と回転角を受ける。”という仮定のもとで幾何学的拘束に従い、単杭を総合して作成する。そして入力地震動には独立に求めた自然地盤の変位および速度応答を用いる。

杭周辺地盤の非線形特性は、地盤バネ  $K_s$  を地盤の歪の増大に伴って剛性が低下する劣下型を仮定することで評価する。そこで、地盤の材料非線形性を表す土の動力学モデルに、応力-歪関係のスケルトン曲線を次式で示すHardin-Drnevich モデルを採用する。<sup>2)</sup>

$$\sigma = G_0 \epsilon / (1 + \epsilon / \epsilon_r) \quad (4)$$

ただし、 $G_0$  は初期せん断弾性係数、 $\epsilon_r$  は基準歪である。そして、

スケルトン曲線とブランチ曲線の相関関係には曲率か 2 : 1 の相似な曲線形状を示すMasing仮定を設ける。<sup>3)</sup> 橋脚基礎構造物の運動方程式の応答計算は、Newmark- $\beta$ 法を用いて直接逐次積分法によって行う。

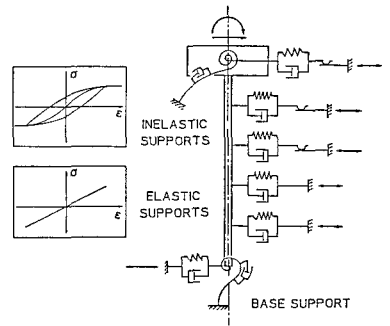


図 1 非線形解析モデル

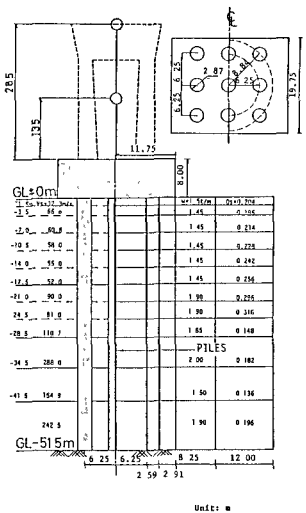
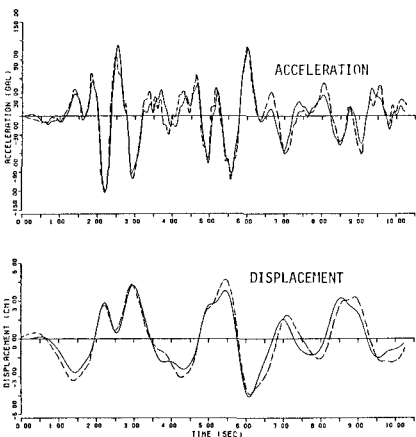


図 2 橋脚基礎構造物

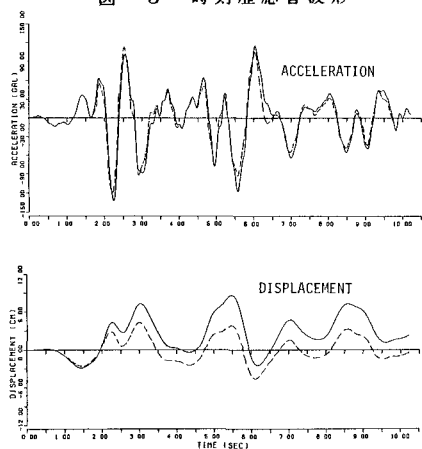
3. 数値解析例および考察

解析対象構造物には9本杭を有する橋脚基礎構造物を採用した(図2)。そして入力地震波にはエル・セントロ(NS成分)を最大100galに調節して用いた。まず図3の振動数応答法との比較から動的な群杭効果を静的にとらえた本解析手法の有効性が認められる。次に地盤の非線形性を導入することによって、構造物の変位応答が増加し加速度応答にはあまり大きな影響が生していないことがわかる(図4)。時刻歴応答波形で比較すると変位波形の基線が2秒付近からずれている。これは、残留変位を生じたまま運動していることを示している(図5)。図6には各層の最大歪分布を示している。同図より杭の断面諸元および地盤の諸元が大きく変化する点で歪が増大していることがわかる。また履歴ループの形状を調べることによってエネルギー損失および残留歪の大きさがわかる(図7)。



(実線;T-domain 破線;F-domain)

図3 時刻歴応答波形



(実線;NON LINEAR 破線;LINEAR)

図5 時刻歴応答波形

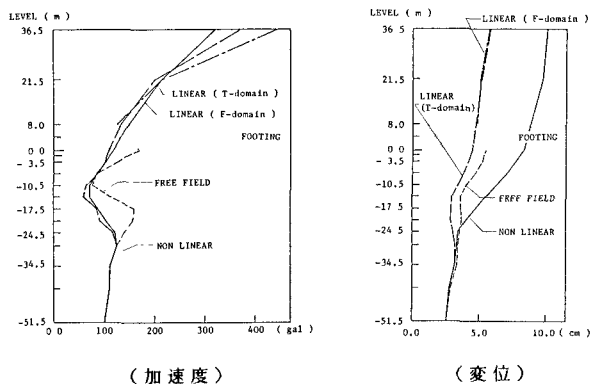


図4 時刻歴最大応答

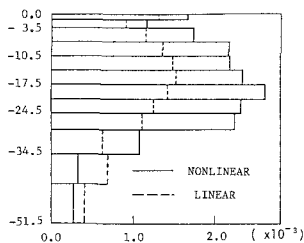


図6 最大歪分布

<参考文献>

- 1) TAKEMIYA, H., YUKAWA, Y.: Dynamic Analysis of Grouped Pile Foundation in Layered Soils. Proc. Struc. Eng./Earthq. Eng. JSCE, 1986.
- 2) Albert T.F. Chen.: A Multi-Linear Analysis Program for Ground Motion Studies of Horizontally Layered System. Earthq. Eng. Res. Lib., 1982.
- 3) 石原研而 : 土質動力学の基礎、鹿島出版会、1971.

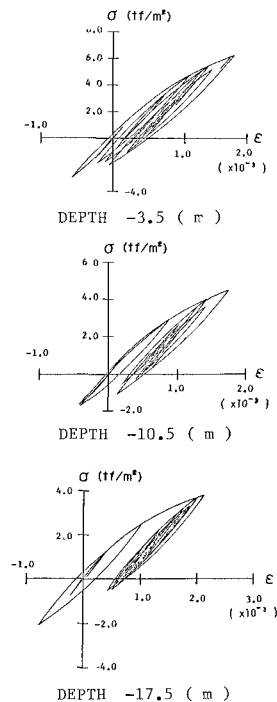


図7 履歴ループ形状