

I-B 329 土の非線形性を考慮した構造物-群杭基礎-地盤系の地震応答解析

京都大学工学研究科	正会員	山下典彦
京都大学工学研究科	正会員	土岐憲三
京都大学防災研究所	正会員	佐藤忠信

1.はじめに 一般に、橋梁構造物は岩盤等の硬質地盤上に直接設置される場合を除いて、杭を介して下部の硬質な地盤に支持される杭基礎が採用されることが多い。しかし、それらの耐震設計には「道路橋示方書V耐震設計編」が適用されるが、動的相互作用の効果が大きいにもかかわらず明確な規定がないのが現状である。そこで本研究では、土の非線形性を考慮した構造物-群杭基礎-地盤系の地震応答解析を行い、上部構造物の特性を変化させることによってフーチングにおける並進および回転の挙動がどの程度影響を受けるかを考察した。なお、入力地震動としては兵庫県南部地震での神戸本山における振り切れ波形を再現¹⁾したものをを用いた。

2.解析モデルの概要 図1に解析の対象とする多質点系モデルを示す。すなわち、杭端は支持基盤に達し基盤変位 u_g によって地盤とともに杭は地震動を受ける。このとき、 u_j^s は杭から遠く離れた場所での地盤変位であり、杭の変位 u_j^p は u_j^s による影響を受けるが、 u_j^p は u_j^s の影響を受けない。したがって、相互作用の影響はすべて杭と地盤との間の見かけの相互作用ばねにより考慮されることになる。また、各杭体は場所打ち杭でフーチングで剛結され、さらに上部構造物はコンクリート橋脚を考え、復元力特性として剛性劣化型の武藤トライリニア型モデルを用いた。

3.地盤と杭体の相互作用ばね 地盤と杭体の相互作用を表す相互作用ばねは土の力学的性質の影響を大きく受けるので、修正Hardin-Drnevich型モデルを採用する。このモデルの骨格曲線は、初期剛性と降伏強度の二つのパラメーターを用いて双曲線関数で表せる。ここでは、初期剛性としてはNovakらによる複素剛性を時間領域解析に取り入れる手法を用い、無次元周波数 $a_0 = r_0 \omega / V_s = 0.3$ (r_0 : 杭の半径, V_s : セン断波速度) における複素剛性の実数部を0.5倍した値を用いて初期剛性とした。降伏強度はBromsが提案したRankineの受動土圧の3倍を用いた。また、これらの地盤パラメーターはすべてN値により推定するものとする。低減率については、道路橋示方書「下部構造編」の $\mu = 1 - 0.2(2.5 - L/D)$, $L < 2.5D$ を横方向地盤反力係数に乗じて考慮した。

4.動的解析 多質点系のモデルの応答解析には入力地震動およびその入力に対する自由地盤の応答が必要となる。動的解析の手順を詳細に示すと以下ようになる。

- 1) 図1、図2のように座標系をとり多質点系モデルの運動方程式を定式化する。
- 2) 図3に示すように入力地震動を支持基盤に作用させ有限要素法により自由地盤の応答を求める。
この場合、表層地盤は半無限弾性基盤上にのった水平成層地盤とし、地震波は鉛直下方から入射するSH波を考える。
- 3) 入力地震動およびその入力に対する自由地盤の応答を多質点系モデルに作用させることによって地震応答解析を行う。

5.解析結果と考察 解析は線形加速度法を用い、入力地震動としては図4の実線に示す最大加速度 403 cm/s^2 の神戸本山における振り切れ波形を再現したものを作用させ、計算時間間隔は0.005秒とした。また、地盤パラメーターは $N=10$ (一定) とし、表1に杭の諸元、表2に上部構造物の諸元を、さらに解析結果を表3および図5に示す。非線形モデルでは、上部構造物の降伏変位を一定とし、ひびわれの変位として2つの場合を想定した。Case2では上部構造物が早く降伏して地震エネルギーを吸収するため基礎の変位、加速度は小さくなるが、Case3では、基礎部への地震力が大きくなり基礎の応答加速度は大きくなる。図5にはCase1とCase2の上部構造の相対変位を示すが、線形、非線形モデルの違いとして非線形により振動周期が長くなり最大変位は大きくなることがわかる。

今後の課題としては、免震機構を有する上部構造物のモデル化を行い、群杭基礎-地盤-構造物系の終局安全性の最適配分について研究する予定である。

〔参考文献〕1)山下典彦・土岐憲三・澤田純男：兵庫県南部地震の神戸本山における振り切れ記録再現に関する基礎的検討,第50回年次学術講演会概要集第1部(B),pp.1226～1227,1995.

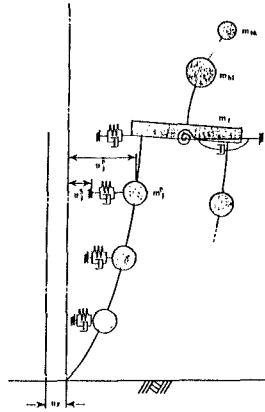


図1 多質点系モデル

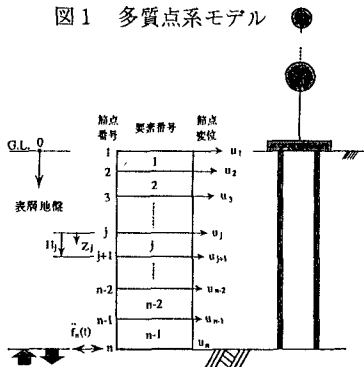


図3 表層地盤の震動解析

表1 杭の諸元

杭種	場所打ち杭
杭長	26.9 (m)
杭径	1.5 (m)
断面積	1.7672 (m ²)
断面2次モーメント	0.2485 (m ⁴)
ヤング係数	2.50E+6 (tf/m ²)
杭本数	4×4=16(本)

表2 上部構造物の諸元

上部工死荷重	23.135 (tf/m)
橋脚の高さ	12.00 (m)
脚柱の重量	814.80 (tf)
脚柱の弾性係数	2.65E+6 (tf/m ²)
フーチングの幅	14.50 (m)
フーチングの厚さ	3.50 (m)
フーチングの重量	1597.78 (tf)

表3 上部構造物の非線形性の影響

Case	u_{bC} (cm)	u_B		u_F		θ	
		Disp.(cm)	Acc.(cm/s ²)	Disp.(cm)	Acc.(cm/s ²)	Rot.(rad)	Acc.(rad/s ²)
1. 線形	—	7.8	690.2	6.0	528.3	6.9E-4	0.06
2. 非線形	0.5	11.4	655.6	5.7	450.7	6.0E-4	0.07
3. 非線形	1.0	9.6	719.1	5.7	530.1	6.7E-4	0.11

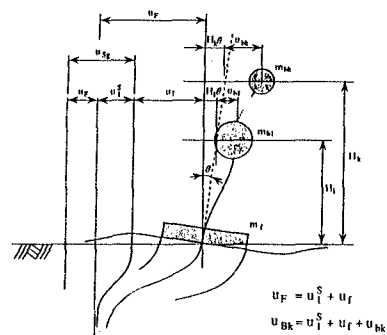


図2 解析モデルの座標系

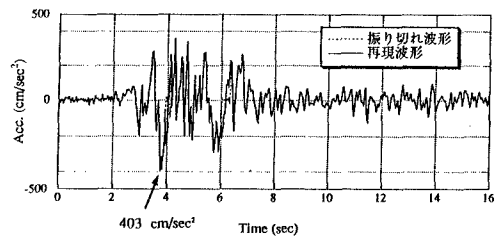
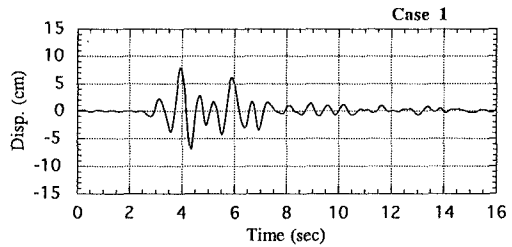
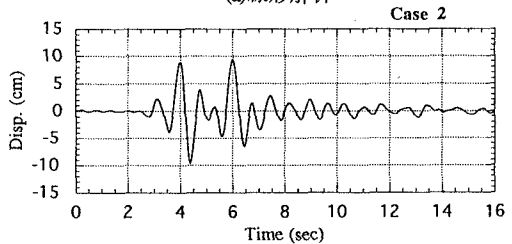


図4 神戸本山における再現波形



(a)線形解析



(b)非線形解析

図5 上部構造物の応答変位