

地盤の非線形性を考慮した杭基礎の動的応答解析手法の開発

熊本大学工学部 学生員○椋木俊文

熊本大学工学部 正員 大谷 順

1. はじめに

著者らは、すでに杭基礎を対象とする地盤の非線形性を考慮した動的応答解析手法を開発している¹⁾。また、この時米国のヒューストン大学で実施された、単杭の杭頭に動的荷重を水平方向から作用させた実物大載荷実験のシミュレーションから、ここで提案されたモデルおよび手法の妥当性について報告している。本研究は、この提案手法に基づき、地盤の非線形性を考慮した群杭基礎の比較的簡単で経済的な動的応答解析手法の開発を目的とするものである。本報告では、特に水平荷重下の群杭の動的応答に着目し、このモデルの基本理論である Winkler 理論に基づく平面ひずみモデルの検証および非線形挙動について報告する。

2. 解析モデルおよび手法²⁾

杭基礎の動的応答解析モデルは

- 1) 連続体モデル (3次元厳密解を使用)
- 2) Winkler モデル (平面ひずみ理論)
- 3) 有限要素、境界要素モデル

の3つに分類される。本論文で提案するモデルは2)の Winkler モデルに属す。以下、本モデルの特徴を列挙する。

(1) 杭と地盤を水平な層に分割し、平面ひずみ状態を考えると、相互作用としてのバネ剛性の特性は1つという Winkler 理論から、層内の地盤反力はその層の変位のみに支配される。(図-1)

(2) 解析手法では、鉛直荷重と水平荷重の応答をそれぞれ独立に扱う。(本論では、水平のみ対象)

(3) 各杭周辺地盤は、非線形領域(杭半径の2倍を設定)と線形領域とに分ける。(図-2)

(4) 非線形領域のみ地盤の非線形性(非線形荷重-変位関係、杭体と地盤の剥離および、摩擦の影響、繰り返し荷重下の degradation) を考慮し(図-3)、線形領域では地盤を弾性と仮定することにより計算の迅速化をはかる。

(5) Transient な荷重および非線形応答を対象とするため、解析は任意荷重ステップを仮定した Convolution Integral³⁾ による時間領域での Step-by-step 積分を実施した。

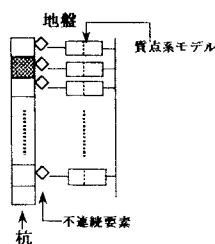


図-1 応答解析モデル

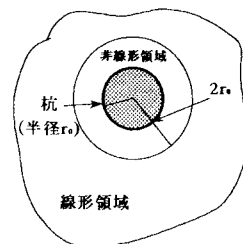


図-2 地盤モデル

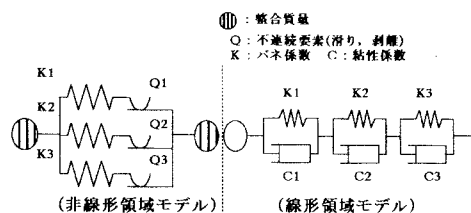
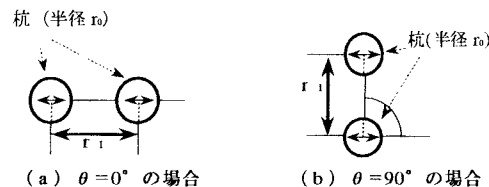


図-3 質点系モデル



無次元化振動数 $a_0 = r_0 \omega / V_s$

ω : 円振動数

V_s : 地盤中を伝播するせん断波速度

$$r_1 \begin{cases} 10 r_0 \\ 20 r_0 \end{cases}$$

図-4 提案したモデルの検証
<2本杭の水平加振>

(6) 平面ひずみでの応答は Transfer Matrix 法を用いて3次元に拡張する。このモデルおよび手法は文献2)を参照されたい。

3. モデルの検証 (2本杭の水平加振)

まず、本解析モデルの群杭への拡張における検証を厳密解の存在する調和振動下の弾性解との比較により実施する。ここでは、平面ひずみ条件での応答

を議論するため、杭体は剛体と仮定しその形状は変化しないとする。2本の杭の場合の応答は図-4に示すように2本の杭を加振方向($\theta=0^\circ$)に配置する場合と、加振方向に体して垂直方向($\theta=90^\circ$)に配置する場合、杭間隔を杭半径の10及び20倍の2ケースとした。図-5(a),(b)は、それぞれ $\theta=0^\circ$ と $\theta=90^\circ$ の複素剛性の周波数依存性について示したものである。実数部、虚数部ともに厳密解に近い結果が得られており、本解析手法の妥当性が確認された。ここで、無次元化振動数とは、杭と地盤の動的相互作用を議論できる重要なパラメータである。

4. 非線形応答

図-6、7、8は上の $\theta=0^\circ$ の場合についての非線形応答解析結果である。図-6では、応答の非線形性、剥離を観察することができる。またこのとき、杭荷重と応答の履歴曲線を示したものが図-7である。このループの面積が1周期あたりの減衰(材料減衰と波動の距離減衰)を表わしている。さらに、図-8では、この時の異なる変位レベルの荷重応答を実数と虚数部で表わしたものである。一般にその虚数部は、減衰の効果を表すが、線形モデルでは減衰の影響が常に拡大するのに対し、非線形モデルではこの減衰が応答とともに減少する影響が観察される。特に、剥離が現われるとその減少傾向が極端に強まり、実際の挙動をうまく表現していると言える。

5. おわりに

今後は、Transfer Matrixを用いて3次元の非線形群杭応答解析を実施するとともに、実験結果との比較により本モデルのさらなる確立を目指す予定である。

<参考文献>

- 1) T.Nogami, J.Otani, et al. "NONLINEAR SOIL-PILE INTERACTION MODEL FOR DYNAMIC LATERAL MOTION", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol.118, No.1, 1992.
- 2) J. Otani "Nonlinear pile group model for transient dynamic response analysis", Dissertation at University of Houston, 1990.
- 3) Ray W. Clough / Joseph Penzien 著 大崎順彦, 渡部 丹, 片山恒雄訳 "構造物の動的解析", 1978.

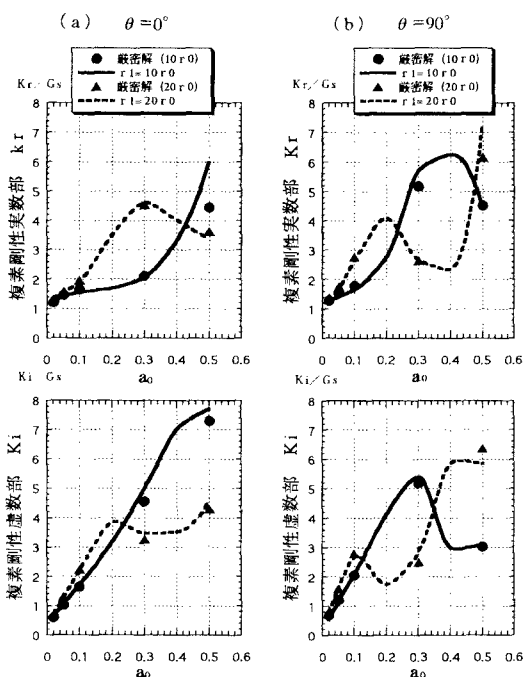


図-5 複素剛性

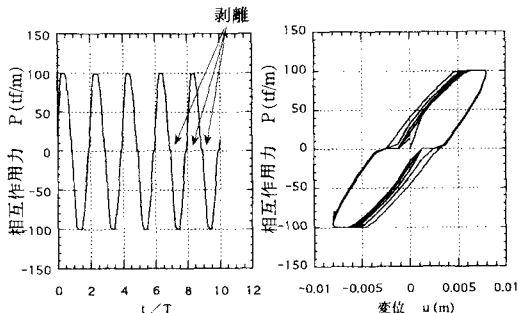


図-6 時間応答

図-7 履歴曲線

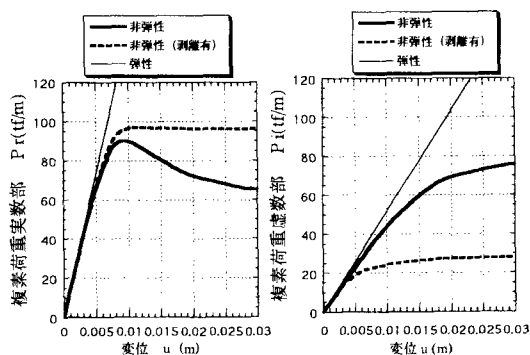


図-8 複素荷重応答