

I-592 地盤との相互作用における杭基礎の耐震設計法に関する一提案

岡山大学大学院 学生員 片山 吉史
 鴻池(株) 正会員 谷口 正昭
 岡山大学 正会員 竹宮 宏和

1 まえがき

本研究は、杭基礎の地盤との慣性、並びにキネマチックな動的相互作用を考慮した杭の実務耐震設計を実施するための合理的な手法を、現行の杭の耐震設計基準である Chang公式をベースとして、その修正法を提案するものである。また、上部構造との連成振動要素として杭頭インピーダンスを評価すると共に、地盤震動による杭体の変形・断面力の算定を行い、その安全性を確保する。

2 定式化

杭基礎は、一般に先端支持杭の形態を採用することが多い。同杭基礎に対し基盤入力 u_g が行われた場合、周辺地盤との動的相互作用式は、フレキシビリティ法から定式化すれば

$$(\mathbf{F}_p + \mathbf{F}_s) \mathbf{P}_s = \alpha \mathbf{u}_F + (\gamma - \delta) \mathbf{u}_g$$

ここに杭体の変形を杭頭変位によるもの $\alpha \mathbf{u}_F$ 、地盤反力によるもの $\mathbf{F}_p \mathbf{P}_s$ 、杭先端の変位によるもの $\gamma \mathbf{u}_g$ とし、また地盤の変位を基盤変位によるもの $\delta \mathbf{u}_g$ 、杭の運動によるもの $\mathbf{F}_s \mathbf{P}_s$ としている。ここに、 \mathbf{P}_s は相互作用力を、 $\mathbf{F}_s, \mathbf{F}_p$ はそれぞれ地盤、杭体のフレキシビリティを、 α は杭頭変形による杭体の変位影響関数を定義している。杭頭断面力をフーチング重心へ変換すると

$$\mathbf{P}_F = \mathbf{K}_F^* \mathbf{u}_F + \mathbf{P}_F^* \mathbf{u}_g,$$

ここに $\mathbf{K}_F^* = (\omega)^T (\mathbf{F}_p + \mathbf{F}_s)^{-1} \alpha + \mathbf{K}_p^h$ は杭頭インピーダンスを、 $\mathbf{P}_F^* \mathbf{u}_g = \alpha^T (\mathbf{F}_p + \mathbf{F}_s)^{-1} (\gamma - \delta) \mathbf{u}_g$ は同位置での有効入力进行を定義している。そして $\mathbf{u}_F^* = (\mathbf{K}_F^*)^{-1} \mathbf{P}_F^* \mathbf{u}_g$ は、杭頭有効入力動と呼ばれ、上記の固定拘束力を杭頭インピーダンスで解除したときの運動(キネマチックな相互作用)として定義される。フーチングの応答 \mathbf{u}_F を水平並進 u と回転 ϕ の2自由度と規定した場合、杭の周面における地盤反力を円筒座標でフーリエ級数展開で $n=1$ を採って表現する。地盤解析には薄層要素法を適用する。

道路橋の杭基礎の実務設計では、杭体の変形・断面力の検討を一樣地盤の下で Chang公式が適用されているが、上部構造物の慣性力のみを考慮している。基盤入力を対象とした耐震解析では、杭体の応答にキネマチックな相互作用効果も導入する必要がある。これに対処するため、一樣な層状地盤内の杭体の変形・断面力の算定を地盤反力に平面歪の仮定を用いて行う。このとき杭体の変形は

$$u(z) = C_1 \sin \beta z + C_2 \cos \beta z + C_3 \sinh \beta z + C_4 \cosh \beta z + \frac{k_u}{(EI)_p \left(\frac{\omega}{V_s}\right)^4 + (EI)_p \omega^2 m_p} \cos\left(\frac{\omega l}{V_s}\right) u_g$$

ただし、 $\beta = \sqrt[4]{\frac{(EI)_p \omega^2 m_p}{4 (EI)_p}}$ $k_u = G (S_{u1} + i S_{u2})$, V_s : せん断波速度、 m_p : 杭の単位長さ当りの質量、 l : 杭長、 ω : 振動数、係数 C_1-C_4 は境界条件から決定される。

3 数値解析例

剛基盤上の一樣な表層地盤中の先端支持杭(鋼管杭)を対象とした。地盤、杭および上部構造諸元杭の諸元を Table 1,2,3 に示す。解析をグリーン関数法、波動論解、平面歪解との比較において行った。慣性相互作用に関する杭頭インピーダンスの計算結果を実数部、虚数部について Fig. 1 に示す。実部においては低振動数帯域を除いて本解析結果と波動論解はほぼ一致している。低振動数帯域では、波動論解は地盤の非減衰時の固有関数で杭体の変形を展開しているため、その収束性が誤差の原因となる。減衰係数の値に大きな差が見られるが、波動論解において地盤反力の算出に実数Lame定数を用いた差である。平面歪解との差は、低振動数帯域を除いて大きくない。キネマチックな相互作用による有効入力動係数を Fig. 2 に描いた。この値は各手法でほぼ一致している。

次に、グリーン関数法と平面歪解による厳密解と近似解を慣性系、基盤系、全体系として、杭体のたわみと断面

力(曲げモーメント、せん断力)について調べた(Fig.3)。本解析と修正Chang公式を比較すると必ずしも良好な対応をしているとは言えないが、先に述べたように、境界条件の違いによる影響と、平面歪仮定による地盤反力係数を用いたためである。しかしそのことを考慮に入れば、各振動数、各固有周期において断面力、たわみについて修正Chang公式による結果は実務的な範囲にあると言える。

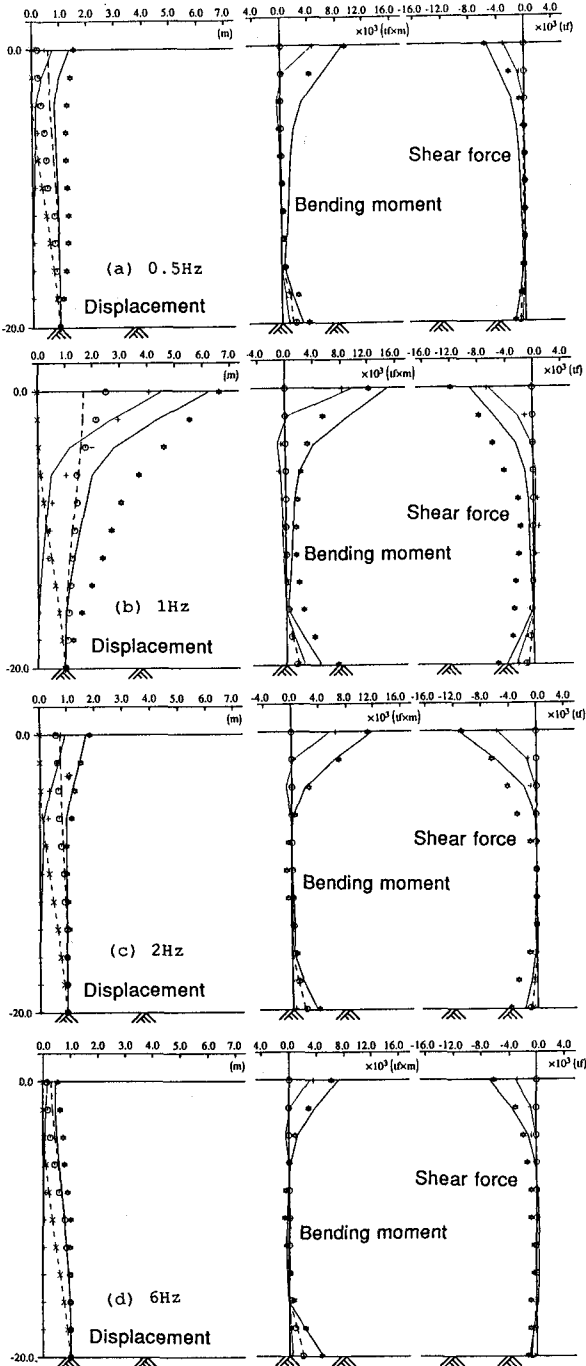


Fig.3 pile behavior under inertial and kinematic interactions

Table 1 Soil Properties

Layer	Shear Velocity	Unit Weight	Poisson Ratio	Damping
20 m	80m/s	1.5 tf/m ³	0.49	0.10

Table 2 Pile Properties

Piles	Steel Tube
Outer Diameter	600 mm
Thickness	90 mm
Spacing	1.5 m
Youngs modulus	2.1 × 10 ⁷ tf/m ²
Unit Weight	7.85 tf/m ³
Poisson Ratio	0.3

Table 3 Superstructure Properties

Piles	Footing Weight	Super-mass	Period	Damping
Single	5 tf	35 tf	0.5/1.5 s	0.02
4-piles	20 tf	140tf		
9-piles	45 tf	315tf		

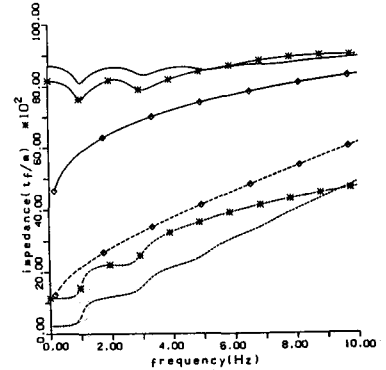


Fig.1 pile head impedance functions

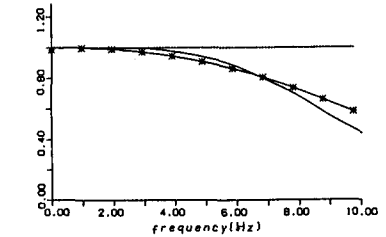


Fig.2 pile head effective input

