

杭基礎構造物の振動数依存性が上部構造物の非線形挙動に及ぼす影響について

埼玉大学 正会員 ○齊藤 正人

1. 目的

杭基礎—地盤系のインピーダンス特性には、強い振動数依存性のあることが既往の研究により明らかにされている。群杭基礎のインピーダンスの特徴としては、一杭の運動が他の隣接する杭に同位相で伝達されることによる剛性低下と、それよりも高い加振振動数における逆位相での伝達に起因した剛性増加が挙げられる。また減衰項については、遮断振動数よりも高い振動数において、減衰増加が生じる (Dobry and Gazetas 1988)。このような振動数依存性は、杭径・杭間隔と地盤諸特性によって特性づけられる。こうした振動数を関数に持つ系の応答を評価するためには、系が弾性であることを前提に、振動数領域で検討するか、あるいは振動数領域から時間領域に動的ばねを変換し、これを用いて検討する方法が取られる。一方で、そうした基礎—地盤系に支持される構造物の大半は、強震動によって塑性域にまで応答が及ぶことが多い現状にある。そのため、塑性域に亘る応答を解析的に評価する場合には、時間領域における逐次応答解析が必要不可欠となる。こうした非弾性構造物の時刻歴応答を評価するために、振動数依存性を Lumped Parameter Model (LPM) に置換する方法が提案されている (例えば, Wolf 1998)。LPM とは、振動数に依存しないばねやダンパー、あるいは質量を並列・直列に複数組み合わせたものであり、モデル全体として振動数に依存する動的ばねを模擬することを目的としている。この方法であれば、たとえ上部構造物が非弾性挙動しても、従来通りの解析ルーチンによって解析処理することが可能である。しかし、遮断振動数やオシレーションなどの複雑な振動数依存性を模擬できるパラメータモデルは数少ない。著者は、そうした複雑な特性を少ない要素数でシミュレートできる Gyromass 要素を用いた新しい LPM (GLPM) を提案した。Gyromass 要素とは、要素を挟む 2 節点間の相対加速度に比例した反力を生成するものと定義する (詳細は Saitoh 2007)。

そこで本研究では、この GLPM を用いて、互層地盤に支持される 4×2 配列の群杭基礎を対象に、これに連成する様々な周期と降伏震度を有する構造物の線形・非線形応答について評価を行い、振動数依存性が応答性状に及ぼす影響を検討した。

2. 解析手法

本研究で対象とする群杭基礎を図 1 に示す。また杭頭は剛な梁で結合されており、その重心位置でのインピーダンス特性を Flexible Volume Method (Lysmer 1978) により求めた (図 2)。図 3 に示す

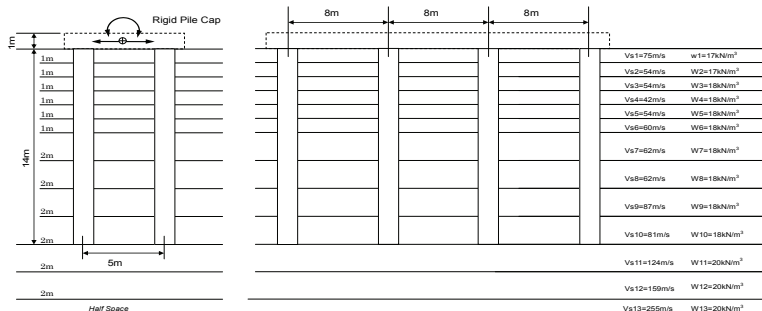


図 1 解析対象基礎

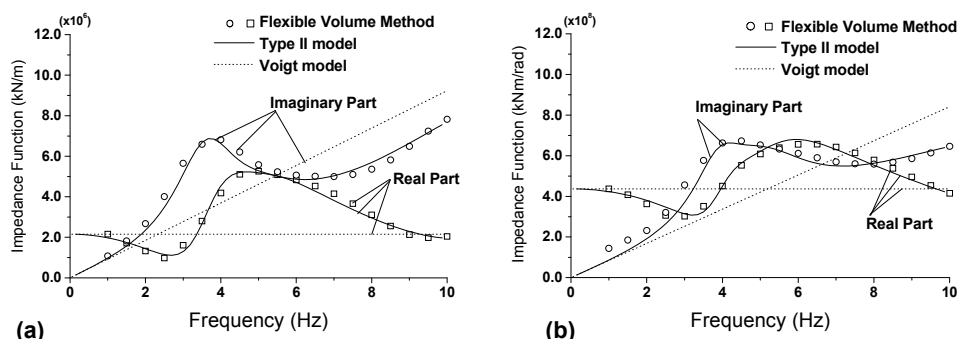


図 2 インピーダンス特性 (a) 水平ばね (b) 回転ばね

キーワード 動的相互作用, 基礎, 振動数依存性, 非線形性, パラメータモデル

連絡先 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院理工学研究科 TEL 048-858-3560

GLPM を用いてこのインピーダンスをシミュレートすると、図 2 に示すように 10Hz まで良好に再現できることが分かる。図 3 には、これらの GLPM を上部構造モデル（1 自由度系＋フーティング）に接続した構造解析モデルを示す。このモデルに地震動を入力し、時刻歴応答解析を行う（Newmark β 法）。入力地震動は、2004 KiK-NET Ojiya EW を、図 1 に示す地盤に対して基盤入力加振して求めた地表面地震動を用いる。比較検討のため、静的剛性と初期減衰を Kelvin-Voigt モデルに置換したインピーダンス（図 2）を用いた解析も併せて実施した。

2. 解析結果

解析結果として、以下の無次元量を示す。

$$R = \frac{u_{FD}}{u_{FI}} \quad (1)$$

ここで、 u_{FD} と u_{FI} はそれぞれ GLPM と Voigt モデルを用いた場合の構造物天端の基礎に対する相対変位量を示す。また本解析では、上部構造物の固有振動数と降伏震度をパラメータとして評価を行った。上部構造物の非線形特性として Clough モデルを用いた。図 6 によれば、構造物が弾性範囲にある場合、固有振動数が低い領域で R が 1 よりも小さく、3Hz 近傍を境に 1 よりも大きくなる傾向にある。これは、振動数依存性を考慮した GLPM の逸散減衰量が Voigt モデルに比べて、低振動数領域で大きく評価されていることに起因すると考えられる。また、その差異は、上部構造物に非線形性が生じた $ky=1.2$ において顕著となる。しかし、降伏震度が低下するほど（非線形性が強まるほど）、その影響は小さくなる傾向が見られる。この理由として、評価指標に変位量を用いていることから、降伏点近傍に両者の応答がある場合（降伏震度が大きい場合にそのようになりやすい）、差異が強調されたものと思われる。今後、更なる研究を進める予定である。

参考文献

- R. Dobry, G. Gazetas: Simple method for dynamic stiffness and damping of floating pile groups, *Geotechnique*, 38, 4, 557-674, 1988.
- J. P. Wolf: *Foundation vibration analysis using simple physical models*, Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall., 1994.
- M. Saitoh: Simple Model of Frequency-Dependent Impedance Functions in Soil-Structure Interaction Using Frequency-Independent Elements, *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, Vol.133, No.10, pp.1101-1114, 2007.
- J. Lysmer, Analytical procedures in soil dynamics. Report No. EERC78-29, EERC, 1978.

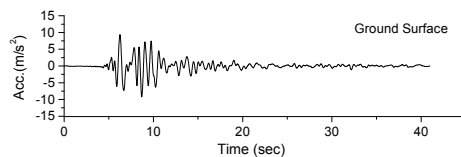


図 5 入力地震動

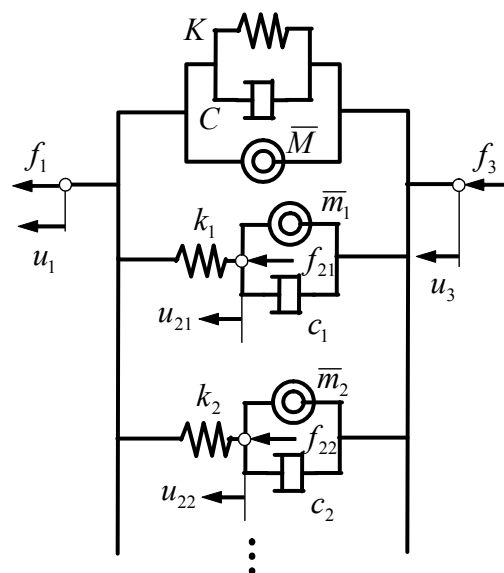


図 3 GLPM (Type II)

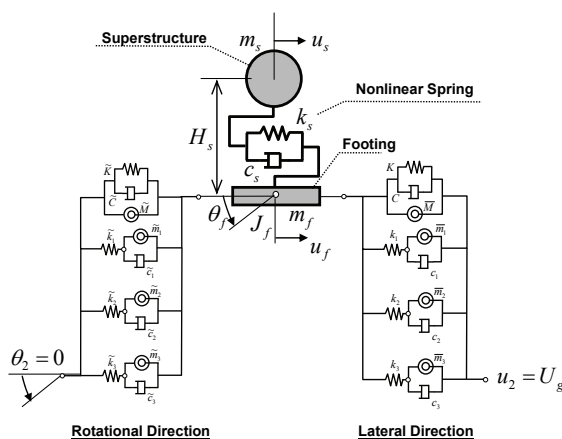


図 4 GLPM を用いた構造解析モデル

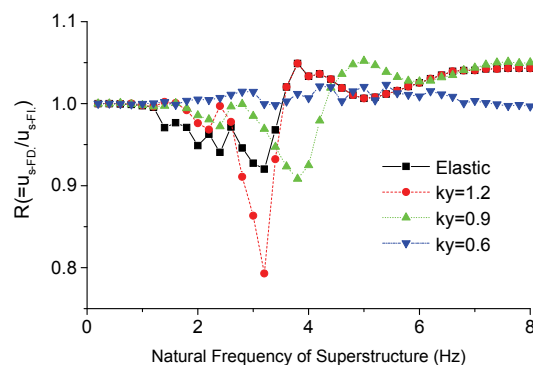


図 6 振動依存性による応答変化