

非線形解析に使用可能な振動数依存性を有する基礎-地盤系のパラメータモデルの提案

埼玉大学 正会員 ○齊藤 正人

1. 目的

これまで基礎-地盤系の動的ばね特性には、強い振動数依存性のあることが明らかにされている。そして多くの研究者によって、振動数依存性に関する様々な評価式ならびに数値表が提案されている。一般に、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。一般に、振動数依存性を持つ動的ばねに支持される非線形構造物の応答を評価するためには、構造物系の卓越振動数などを代表的な振動数と定義して、この振動数位置における動的ばねの値を振動数に依存しない定数ばねとして用いることが行われている傾向にある。

こうした問題に対して、従来の構造物の動的解析で用いられている数値積分法、例えば Newmark の β 法などをそのまま利用する方法としては、基礎-地盤系の動的ばねを模擬できるパラメータモデルが便利である。パラメータモデルとは、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、これまで例えば群杭基礎の動的ばねに見るように、振動数によってその剛性と減衰が著しく変動するものや、あるいは互層地盤上の基礎のように Cutoff 振動数があるものなどがあり、これらを模擬できるパラメータモデルの考案は極めて難しいものであった。これまで最も良好に模擬できるモデルの一つとして、Wolf 博士の提案するパラメータモデル¹⁾が考案されている。しかし、振動数依存性が顕著な場合には、モデルを構成するばねやダンパーあるいは質量は、実際にはあり得ない負の値を持つ場合が多く、解の安定を含めて実際的ではないと言われている。

そこで本研究では、ある構成要素を考案し、これをパラメータモデルに導入することで、上記の問題を解決した。その構成要素とは Gyromass 要素であり、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。アナロジーとしては、回転する円盤に接触するロッドの端部の反力特性がそれと一致する(図 1)。質量要素と異なる点は、質量要素は質点に作用する絶対加速度に比例した反力を生成するのに対して、Gyromass 要素は、ばね要素やダッシュポットのように、これを挟む 2 節点の相対応答に起因した反力を生成することにある。

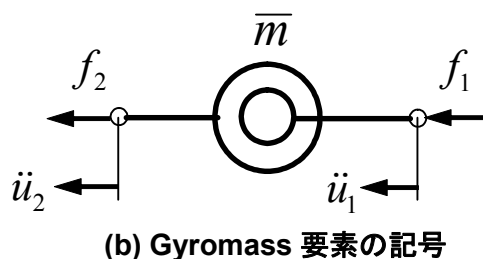
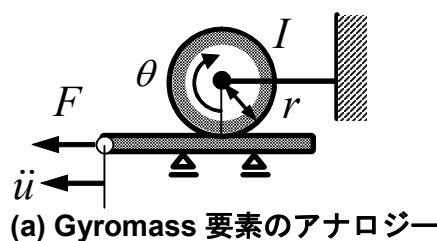


図 1 Gyromass 要素の概説

2. パラメータモデルの提案²⁾

本研究では、上記の Gyromass 要素を用いた 2 タイプのパラメータモデルを提案している²⁾。紙面の都合から、ここでは Type II についてのみ説明する。パラメータモデルは、図 2 に示すように、ばね、ダンパー、Gyromass 要素から構成されている。この中に質量が使用されていないのは、地震応答解析のようにパラメータモデルにも加速度が作用する場合には、それを構成する質量に

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

慣性力が作用し、これによってパラメータモデル自体が振動するといった問題を排除するためである。Type II モデルの構成ユニットは、図中最上部のばね、ダンパー、Gyromass の並列機構 (Base System) と、ダンパーと Gyromass の並列機構にばねを直列に接続した機構 (Core System) から成り立っている。このモデルの詳細は著者による論文に記載されておりそちらに譲るが、このモデルを用いることにより、群杭基礎などの動的ばねに見られるような、加振振動数に対して起伏のある特性を模擬することが可能となる。概して、Base System は動的ばねの全体的な傾向を、一方、Core System は起伏形状を模擬することに使用される。一例として、図 3 には Kaynia and Kausel³⁾による 3x3 本 (正方配列 9 本杭) の水平方向に関する動的ばねの厳密解 (実部：左側、虚部：右側) を Type II

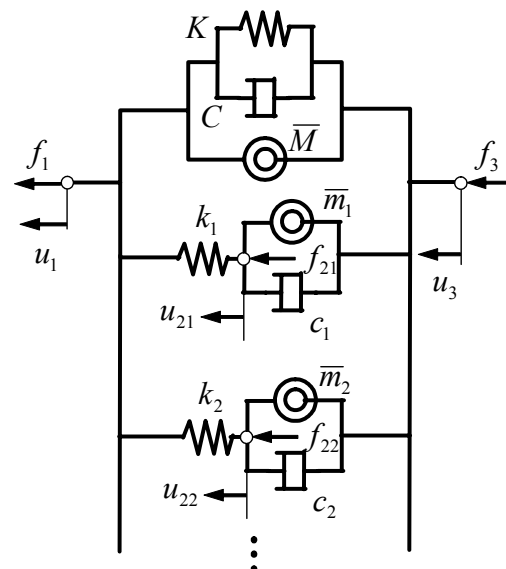


図2 パラメータモデル Type II

び Triple の記載は、上記の core system の数が 2 つの場合と 3 つの場合に該当する。Double において仔細な起伏形状を表現できない箇所、例えば $s/d=10$ (ここで s/d は杭間隔と杭径の比) の高振動数領域の起伏は、core system を更に一つ追加することによって、更に良好にシミュレートすることが可能となる。現在、本モデル上に非線形構造物を設置し、動的解析を実施中である。

参考文献

- 1) Wolf, J. P. : Foundation vibration analysis using simple physical models, Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall., 1994.
- 2) Masato 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.
- 3) Kaynia, A., and Kausel, E. : Dynamic stiffness and seismic response of pile groups, Research Report, R82-03, Dept. of Civil Engrg., MIT, Cambridge, Mass., 1982.

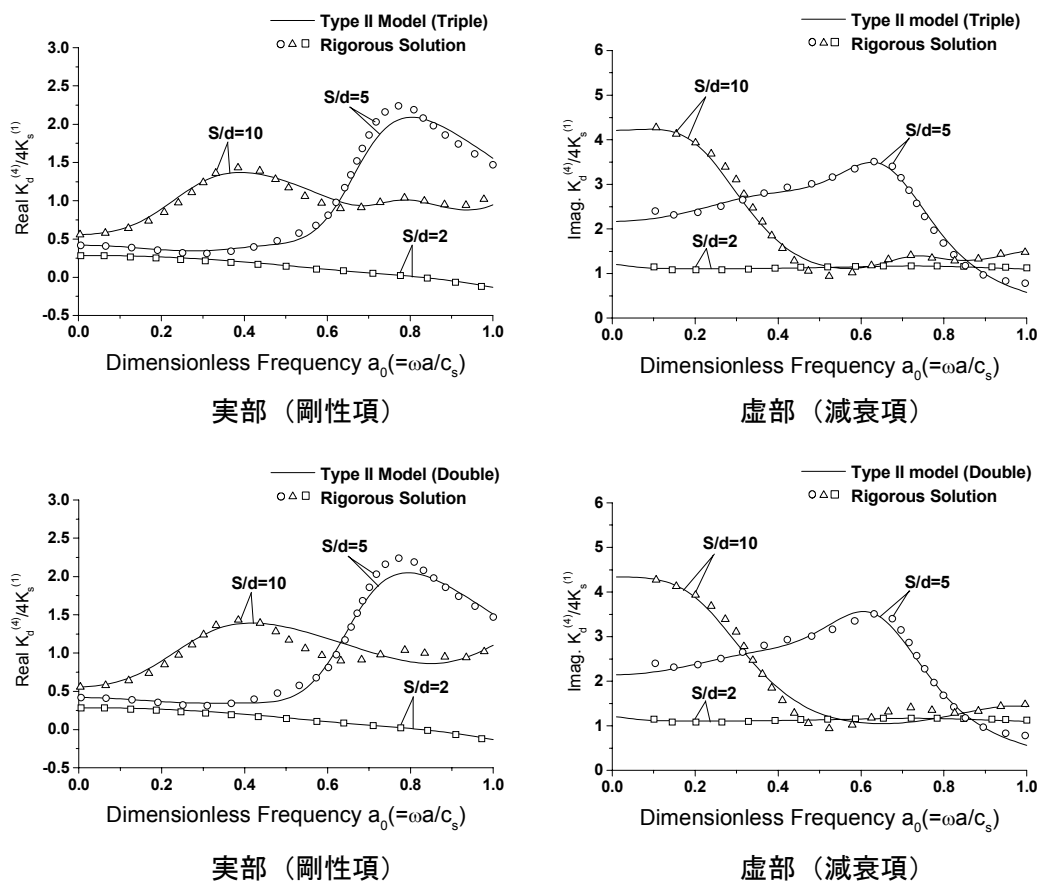


図3 群杭基礎の動的ばね (Kaynia and Kausel³⁾) の Type II によるシミュレーション結果