

## 地震動を受ける構造物の高精度な実験シミュレーションのための 基礎-地盤系メカニカルインターフェースの構築手法の提案

埼玉大学 正会員 ○齊藤 正人

### 1. 目的

地震動を受ける構造物の動的挙動を評価するためには、振動台を用いた加振実験は有効な手段の一つである。また実験精度を向上させるためには、実スケールの構造物を直接的に用いるか、あるいは振動台上で適切に縮小された模型を用いる必要がある。こうした加振実験でも地上構造物の動的挙動、特に非線形挙動を詳細に評価するような大型実験では、これを支持する基礎-地盤系のモデル化はスペースの関係から極めて難しい。実際、杭基礎のように地中部に数十メートルも根入れのある基礎を、地盤を含めて再現することは非現実的であり、簡略的に数メートル分の根入れを考慮するのが限界ではないかと思われる。特に動的問題の場合には、杭やフーチング等の構造物と同位相で振動する広範囲の地盤領域までモデル化しなければ、実際の動的ばね特性を表現することは難しい。また、エネルギーの観点から見れば、基礎から遠方地盤に散逸される波動特性が適切に再現できなければ、構造物の応答を実際よりも大きく予測する結果となる可能性がある。更に言えば、基礎-地盤系のばね特性や減衰特性には強い振動数依存性のあることが知られている。このような特性が上部構造物に及ぼす影響については未解明な点が多く、今後の研究を待たねばならない。そのため現時点では、そうした振動数依存性に関して、できる限り再現性の高い実験を行う必要があるものと思われる。

そこで本研究では、こうした基礎-地盤系の振動特性を再現するための機械装置（メカニカルインターフェースと呼ぶ）の構築方法を提案する。以前、本著者により Gyromass 要素（図 1）を用いた新しいパラメータモデルを提案し、このモデルによって様々な基礎の動的ばね特性が表現できることを紹介した<sup>1)</sup>。ここで Gyromass 要素とは、これを挟む 2 節点の相対変位に比例した反力を生成する要素であり、質量と同じ次元を持つ。このパラメータモデルは、従来から提案されてきたパラメータモデルに見られるような負の質量やばね定数、減衰係数を持たない。そのため、現実の機械装置として構築できる可能性があった。今回はこれを実際の機械装置として構築することを目的に、機械装置としての構成や各要素の構築方法について紹介する。この機械装置のメリットは、従来から検討されている Active 制御方式のシミュレータと異なり、Passive な制御装置である点である。そのため、上部構造物が急激な非線形挙動を起こしても、常に安定した所定の振動数依存性を再現することができる。

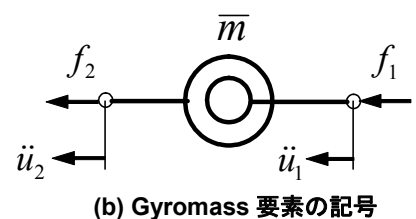
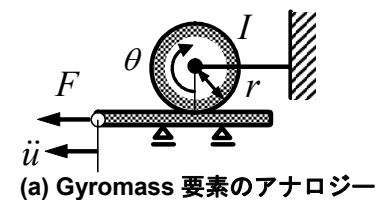


図 1 Gyromass 要素の概説

### 2. パラメータモデルの説明

本研究で提案したパラメータモデル(TypeII)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。パラメータ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、加振振動数に対して起伏のある振動数依存性を模擬することが可能となる。一例として Wong and

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

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

表 1 相似則を適用した基礎-地盤系に対するシステム諸元

| System           | Quantity                                 | Abbr.        | Law of Similitude       | Values    |                      |
|------------------|------------------------------------------|--------------|-------------------------|-----------|----------------------|
|                  |                                          |              |                         | Prototype | Target               |
| Base System      | spring(kn/m)                             | $k_f$        | $\lambda^{-1} \gamma$   | 1333.3333 | 1862595.000 1.40E+03 |
|                  | damper(kn sec/m)                         | $c_f$        | $\lambda^{-1/2} \gamma$ | 3265.9863 | 0.000 0.00E+00       |
|                  | gyromass(kn sec <sup>2</sup> /m or ton)  | $m_{\gamma}$ | $\gamma$                | 8.00E+03  | 3776.929 4.72E-01    |
| Core System No.1 | spring1(kn/m)                            | $k_f$        | $\lambda^{-1} \gamma$   | 1333.3333 | 1210686.750 9.08E+02 |
|                  | damper1(kn sec/m)                        | $c_f$        | $\lambda^{-1/2} \gamma$ | 3265.9863 | 30267.169 9.27E+00   |
|                  | gyromass1(kn sec <sup>2</sup> /m or ton) | $m_{\gamma}$ | $\gamma$                | 8.00E+03  | 4035.623 5.04E-01    |
| Core System No.2 | spring2(kn/m)                            | $k_f$        | $\lambda^{-1} \gamma$   | 1333.3333 | 614656.350 4.61E+02  |
|                  | damper2(kn sec/m)                        | $c_f$        | $\lambda^{-1/2} \gamma$ | 3265.9863 | 18439.691 5.65E+00   |
|                  | gyromass2(kn sec <sup>2</sup> /m or ton) | $m_{\gamma}$ | $\gamma$                | 8.00E+03  | 939.058 1.17E-01     |
| Core System No.3 | spring3(kn/m)                            | $k_f$        | $\lambda^{-1} \gamma$   | 1333.3333 | 1862595.000 1.40E+03 |
|                  | damper3(kn sec/m)                        | $c_f$        | $\lambda^{-1/2} \gamma$ | 3265.9863 | 18625.950 5.70E+00   |
|                  | gyromass3(kn sec <sup>2</sup> /m or ton) | $m_{\gamma}$ | $\gamma$                | 8.00E+03  | 1293.469 1.62E-01    |
| Footing          | Mass(tons)                               | $m_f$        | $\gamma$                | 8.00E+03  | 500.000 6.25E-02     |

\*  $\lambda$ : Geometrical Scaling  $\gamma$ : Mass Scaling, where  $am/ap=1$

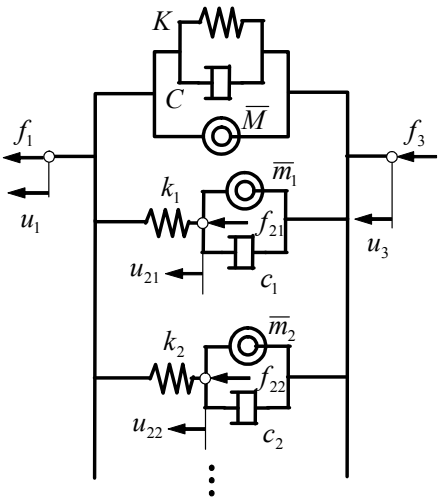


図 2 パラメータモデル Type II

Luco<sup>2)</sup>による互層地盤上の正方形基礎(基礎幅 30m, 表層厚 15m)の水平方向に関するインピーダンス特性を当該モデルによりシミュレートした

(図 3)。このときの各構成要素の諸数値を表 1 に示す。本研究ではこれを機械装置に置換する。あるいは Buckingham の  $\pi$  定理を用いて縮約を与えることも可能である(表 1 併記)。

Gyromass 要素は、図 1(a)のアナロジーのように、質量を回転させてその慣性抵抗を隣り合うばねに伝達させる機構となる(図 4)。表 1 を見てわかるように、インピーダンスを再現するために必要な Gyromass 要素は、実物相当では 4000ton 相当の大きな回転質量が必要となる。本装置は機械装置としての利点を活用して、図 4 のようにギアを組み合わせることで、トルク増幅を行うことで、回転させる質量を数百分の一に低減することができる。図 5 はシステム全体を示しており、並列機構として Base System と Core System が並んでいる。これらは共通のテーブル(図中上面)で固定されている。このテーブル上に対象構造物を設置し、基礎入力地震動を振動台から入力することで、動的相互作用の概念に合致した実験システムとなる。

ただし現時点では、各要素の動特性を確認している段階であり、実際の応答特性については別の機会に報告する予定である。

参考文献

1) 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.

2) Wang, H.L., and Luco, J.E. : Tables of impedance functions for square foundations on layered media, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.4, No.2, pp.64-81, 1985.

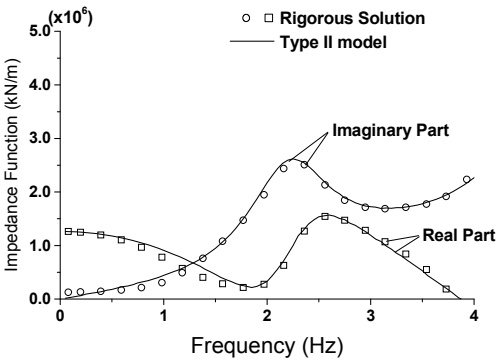


図 3 正方形基礎の動的ばね特性

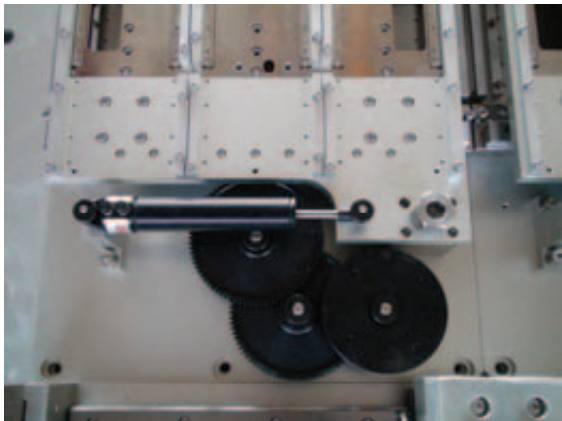


図 4 Gyromass 要素の機械化

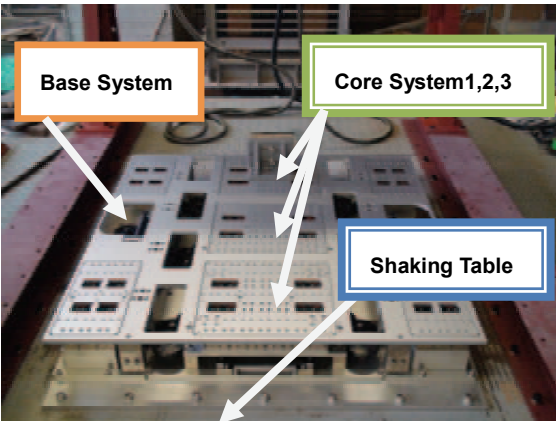


図 5 メカニカルインターフェース