

磁気復元力式転がり免震支承の地震応答解析

崇城大学工学部機械工学科 正会員 ○片山拓朗
第一復建株式会社構造設計部 正会員 片山 花

1. はじめに

筆者らは多数の鋼球で対象物を支持し、磁石間の磁気吸引力の水平分力を復元力とする転がり免震支承を提案している。変位縮尺 1/2・最大搭載質量 8000kg・最大変位 250mm の試作機について自由振動試験で得られた自由振動特性を報告した¹⁾。提案支承で対象物を支持すると構造物の水平固有周期は振幅の増加に連れて単調に増加し、大振幅時の固有周期は小振幅時のその数倍に増加すると考えられる。ここでは試作機を対象とする免震構造の地震応答解析で得られた固有周期と地震時最大応答の関係について報告する。

2. 免震構造の振動モデル

図-1 は免震構造の 1 自由度振動モデルである。振動モデルは質量、ばね、クーロン摩擦及びダッシュポットで構成する。ここに、 m , $R(u)$, F 及び c はそれぞれ質量、ばねの復元力、クーロン摩擦力及び粘性減衰係数であり、 u は質量の相対変位である。地震時の地盤の加速度を $\ddot{z}$ とし、質量の相対加速度及び相対速度をそれぞれ $\ddot{u}$ 及び $\dot{u}$ とすると、地震時の質量の運動方程式は次式で表される。

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + R(u) = -m\ddot{z} - \text{sgn}(\dot{u})F \quad (1)$$

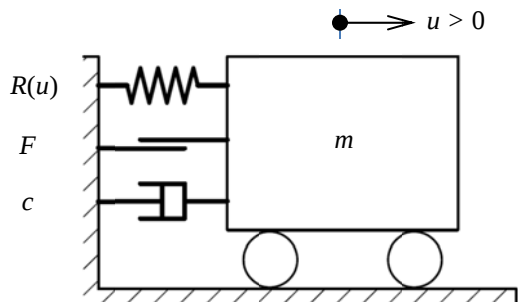


図-1 免震構造の 1 自由度振動モデル

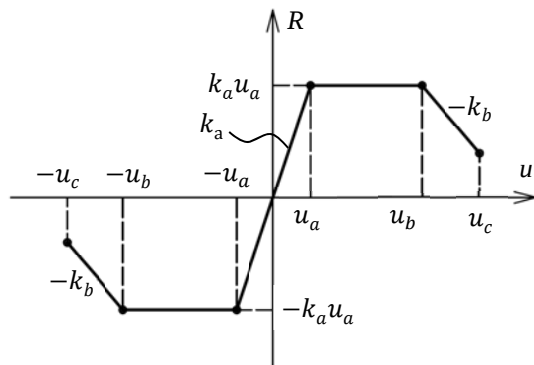


図-2 提案支承の復元力の数値計算モデル

筆者らが提案する免震支承の磁気復元力の数値計算モデルを式(2)と図-2 に示す。

$$R(u) = \begin{cases} k_a u & , |u| \leq u_a \\ k_a u_a & , u_a < |u| \leq u_b \\ \text{sgn}(u)k_a u_a - k_b \{u - \text{sgn}(u)u_b\} & , |u| > u_b \end{cases} \quad (2)$$

変位が線形限界変位 u_a より小さい範囲では復元力はばね定数 k_a で増減し、変位が u_a と変位 u_b の間に有るとき復元力は一定値 $k_a u_a$ であり、変位が u_b を超えると復元力は負のばね定数 $-k_b$ で増減する。ここに u_c は提案支承の終局変位である。

3. 試作機の静的反力特性

写真-1 は中立時の試作機の外観である。上鋼板と下鋼板の材料は耐摩耗鋼板とし、鋼球は高炭素クロム軸受鋼(SUJ2)の玉軸受用鋼球とした。保持器の材料はアルミニウム合金(A5052P)とした。磁石はネオジウム磁石とした。試作機の変位縮尺、最大搭載質量及び最大変位はそれぞれ 1/2, 8000kg 及び 250mm である。

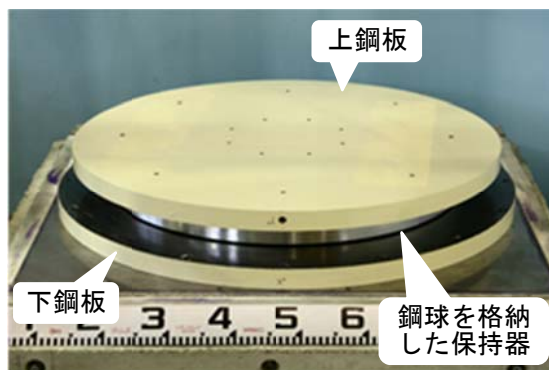


写真-1 提案支承の試作機の外観

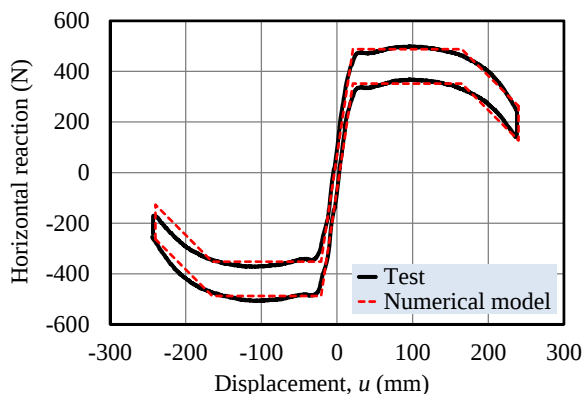


図-3 試作機の静的水平反力特性

キーワード：免震支承，磁気復元力，固有周期，地震応答解析

連絡先：(〒860-0042 熊本市西区池田 4-22-1, Tel: 096-326-3792, Fax: 096-323-1351, Email: katayama@mec.sojo-u.ac.jp)

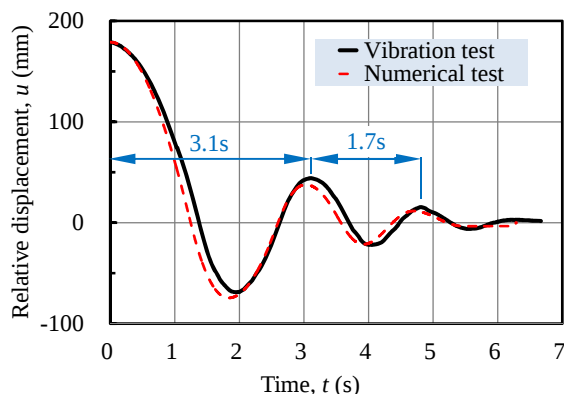


図-4 自由振動時の変位応答の一例

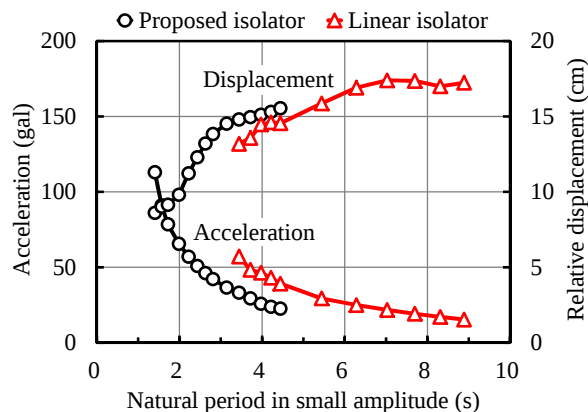


図-6 地震時最大応答の比較

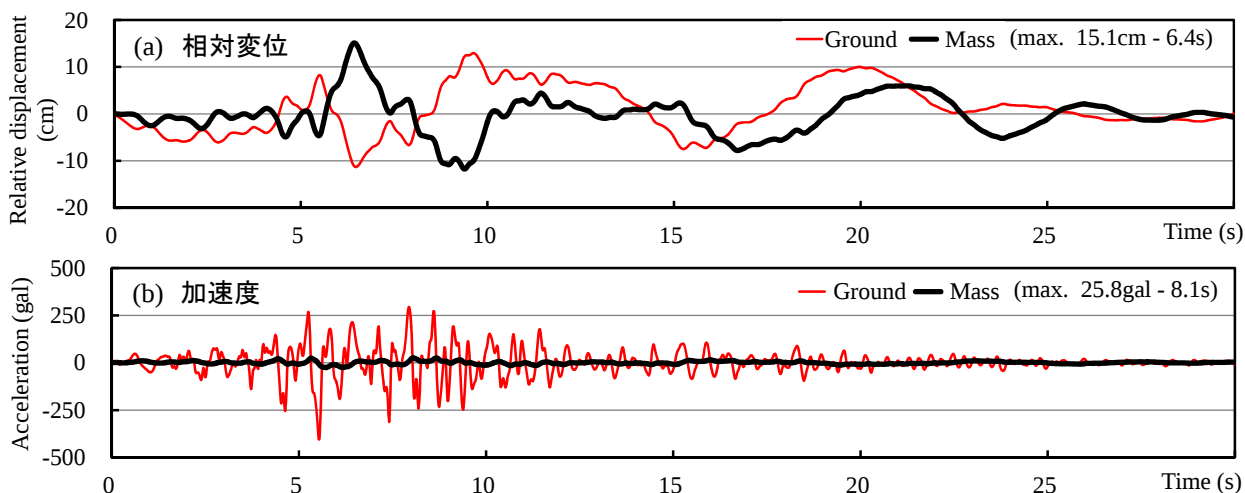


図-5 地震応答解析の一例 (1995年兵庫県南部地震・神戸海洋気象台地盤上・NS成分・加速度スケール 1/2)

図-3は緩速水平反力特性試験で得られた試作機の静的水平反力特性である。図には式(3)の復元力にクーロン摩擦力を加えた水平反力の計算値を併記する。摩擦力と復元力のパラメーターを以下に示す。

$$F = 68\text{N}, \quad k_a = 20\text{kN/m}, \quad k_b = 3\text{kN/m}, \\ u_a = 21\text{mm}, \quad u_b = 165\text{mm}, \quad u_c = 240\text{mm}$$

4. 自由振動解析及び地震応答解析

図-4は質量を $m=1220\text{kg}$ とする試作機の自由振動試験と自由振動解析の変位応答の比較である。自由振動解析は線形加速度法により行い、その際の時間間隔と粘性減衰係数はそれぞれ 0.001 秒と 570Ns/m である。摩擦力と復元力のパラメーターは前述の値とした。振幅が 21mm 未満の線形固有周期は 1.55 秒と計算される。図より、振動開始時から最初の山までの間隔は約 3.1 秒であり、次の山と山の間隔は約 1.7 秒であり、振幅の減少に連れて固有周期が減少することが確認される。自由振動の計算値は実験値と良い対応を示していることが確認される。

図-5は試作機の1自由度振動モデルの地震応答解析の一例である。図(a)では質量の相対変位と最初と最後の変位を結ぶ直線を基線とする地盤変位を比較し、図(b)では質量及び地盤の加速度を比較している。地震波は1995年兵庫県南部地震・神戸海洋気象台地盤上・NS

成分(最大加速度 812gal)とし、試作機の変位スケール $1/2$ に合わせて、加速度を $1/2$ に減じて入力波とした。質量及び粘性減衰係数はそれぞれ $8,000\text{kg}$ 及び $5,060\text{Ns/m}$ とした。振幅が 21mm 未満の固有周期及び粘性減衰定数はそれぞれ 4.0 秒及び 20% である。

図-5(a)では、地震波の主要動の 4 秒～ 10 秒の範囲において、地盤変位を打ち消す方向に質量に相対変位が生じていることが確認される。図-5(b)では、質量の最大加速度は 25.8gal であり、それは入力波の最大加速度 406gal の約 $1/16$ であることが確認される。

図-6は地震応答解析で得られた地震時の最大加速度及び最大相対変位並びに小振幅の固有周期の関係である。図では提案支承の免震構造(Proposed isolator)と復元力を線形に限る従来型の免震構造(Linear isolator)のそれらを比較する。提案支承の免震構造では小振幅の固有周期を増加させると最大加速度は減少し、逆に相対変位は増加することが確認される。小振幅の固有周期が 4 秒である図-5の最大加速度 25.6gal は固有周期 7 秒の従来型の免震構造における最大加速度に匹敵することが確認される。

参考文献

- 1) 片山拓朗：大型ネオジウム磁石を備える転がり免震支承の自由振動特性，第71回年次学術講演会講演概要集，I-216，土木学会，2016年9月