

3個の磁石を備える転がり免震支承の復元力特性と自由振動特性

崇城大学工学部エコデザイン学科 正会員 ○片山拓朗

1. はじめに

2011年3月の東北地方太平洋沖地震において、大きな加速度が長時間継続する地震動とこれに伴う長周期地震動を経験した。また、南海トラフにおいては、東海・東南海・南海3連動の巨大地震の発生が予想されている。現在の技術水準では、上部構造の地震時安全性を確保する方法としては、下部構造と上部構造の間に免震支承とダンパーを備える免震化が最も確実な方法と考えられる。

免震支承としては、重荷重においては積層ゴム支承の実績が多く、軽荷重においては転がり免震支承の実績が多い。転がり支承は鉛直支持力が積層ゴム支承に比べて小さいので、中・重荷重で使用する場合は一考を要する。

筆者は、鉛直支持力を向上させるために多数の転動体(鋼球)を使用し、3個の磁石により磁気復元力を発生させ、磁気吸引力で転動体の脱落を防止する転がり免震支承を提案している。¹⁾ ここでは、提案支承の基本構造、試作機の復元力特性と自由振動特性を報告する。

2. 磁気復元力式転がり免震支承の基本構造

図1は提案支承の基本構造図である。図(a)と図(b)はそれぞれ平面図と断面図である。提案支承は主にスライドプレート(1)、ベースプレート(2)およびリテーナー(3)で構成する。リテーナーは転動体(4)を転動自在に格納し、平面的に多数の転動体を配置する。括弧内の数字は図中の符号を示す。図はスライドプレートとベースプレートに相対変位 u が生じた状態を示している。平面図の上半分はスライドプレートがある状態を示し、下半分はスライドプレートを取り外した状態を示す。

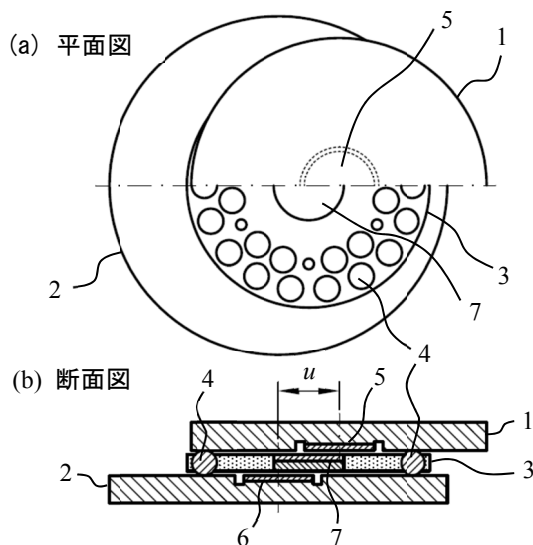


図1 提案支承の基本構造図

スライドプレートとベースプレートおよびリテーナーにはそれぞれ中央部に円盤状の磁石(5,6,7)を互いに吸引するように配置し、スライドプレートとベースプレートおよびリテーナーが変位 u の方向に相対的に移動した時に、これらを元の位置に戻す方向に、磁気復元力が発生する構成とした。スライドプレートとベースプレートおよび転動体は磁性体とし、リテーナーを磁性の低い材料とすることによって、各部材(1~4)の磁性体部と磁石で磁気回路を構成し、磁気復元力を生成させる。

提案支承は多数の転動体を用いることにより、少数の転動体を用いる支承に比べて、鉛直支持力を大きくできる。磁石間の作動方向と作動直角方向(鉛直方向)の吸引力により、常にリテーナーはスライドプレートとベースプレートの中に存在しようとするので、作動中のリテーナーの脱落すなわち転動体の脱落を防止できると考えられる。

平面視にて、3個の磁石(5~7)が部分的に重なる間は復元力が発生する。磁石の直径が全て等しい場合、直径の2倍が復元力を生成できる限界変位となる。

3. 試作機の諸元と磁気特性

写真1と表1にそれぞれ試作機の外観と諸元を示す。スライドプレートとリテーナーの材料は機械構造用炭素鋼(S50C)とし、転動体としては鋼炭素クロム軸受鋼(SUJ2)の玉軸受用鋼球を用いた。これらの材料は磁性体である。



写真1 試作機の外観

表1 試作機の諸元

名称・符号	寸法・個数 (mm)	質量 (kg)	材質
スライドプレート	$\phi 340 \times t32$	22.60	S50C
ベースプレート	$\phi 390 \times t32$	29.80	S50C
リテーナー	$\phi 280 \times t25$	2.13	A5052P
転動体	s $\phi 28.575 \cdot 30$ 個	2.85	SUJ2
磁石・5~7	$\phi 80 \times t5 \cdot 3$ 個	0.56	ネオジウム 磁石

キーワード：免震支承，転動体，磁石，磁気復元力，磁気回路

連絡先：(〒860-0042 熊本市西区池田 4-22-1, Tel:096-326-3792, Fax:096-311-1769, Email: katayama@eco.sojo-u.ac.jp)

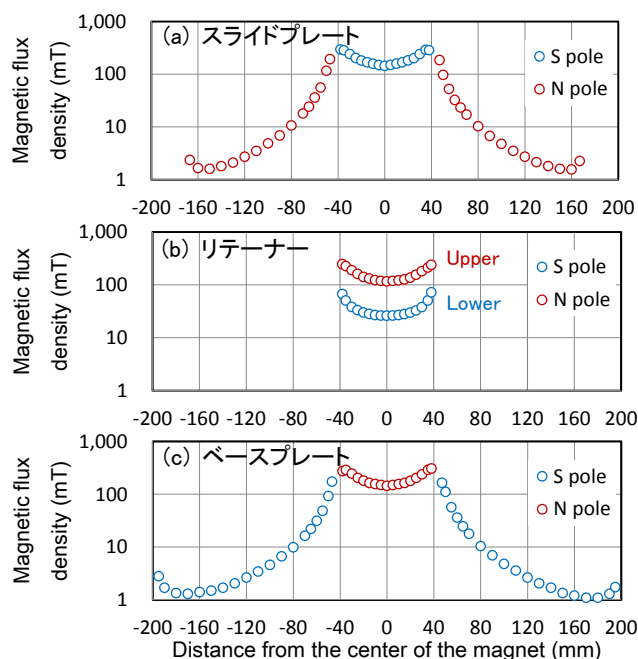


図2 構成要素単体の磁束密度の分布

リテーナーの材料は非磁性体であるアルミニウム合金 (A5052P) とした。磁石はネオジウム磁石とした。なお、リテーナーの磁石(7)にはヨーク (φ25×t20, SS400) を接着し、対面する磁極との間隔を約 1.6mm に調整した。磁極間の間隔はリテーナーに装着する間隔保持器 (SUS304+ポリウレタンゴム) で保持した。転動体は二つの同心円上 (φ180, φ240) に配置した。

図2はいずれも磁石を装着したスライドプレート (転動面側)、リテーナー (上下面) およびベースプレート (転動面側) の磁束密度の分布である。スライドプレートとベースプレートはそれぞれ装着した磁石の表面が一方の磁極となり、転動面が他方の磁極となることが確認される。互いに異極となるスライドプレートの転動面とベースプレートの転動面は転動体を介して磁氣的に短絡する。3個の磁石部の磁束密度は、磁石の端部 (±40mm 付近) で最大となり、中央部 (0 付近) で最少となるすり鉢状の分布であった。転動面の磁束密度は、磁石側 (±40mm 付近) で最大となり、外側になるほど急激に小さくなる分布であった。リテーナーの Lower と表示する磁極面の磁束密度は、磁石(7)に接着したヨークの表面であるため、Upper と表示する磁石(7)の磁極面の磁束密度より小さくなった。

4. 復元力特性と自由振動特性

図3は試作機の変位—復元力曲線である。図のように変位が 10mm 以下では接線剛性は概一定であり、変位が 10mm を超えると接線剛性は急激に小さくなった。変位が 10mm 未満の試作機のばね定数は約 8N/mm であった。負荷と除荷のキャップは約 24N であり、これは転動体の転がり抵抗と間隔保持器の運動抵抗によって生じたと考えられる。磁石の直径で決まる限界変位は 160mm であるが、変位計測器の能力から変位が 40mm を超える領域では計測できなかった。

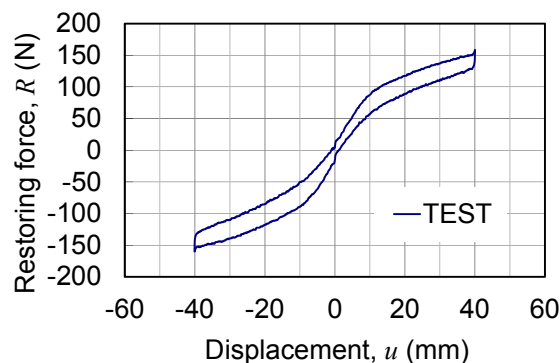


図3 試作機の変位—復元力曲線

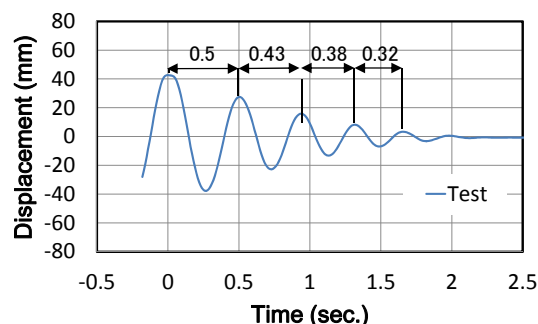


図4 試作機の自由振動記録

試作機のスライドプレートとリテーナーおよびベースプレートの鉛直方向の磁気吸引力は 2098N であった。磁石製造業者の資料によれば、使用した磁石と軟鋼の吸着力は約 170N とされている。提案支承の磁気回路の効果および 3 個の磁石が近接することによって磁束が高められた結果、大きな磁気吸引力が発生したと考えられる。

図4は、質量などを搭載していない試作機単体におけるスライドプレートの自由振動記録の一例である。図より、振幅の減少と共に往復周期が減少する特徴と、往復を繰り返すことによって振幅が減少する特徴が確認される。前者の特徴は、図3の変位—復元力曲線における、変位増加により接線剛性が減少することに関係し、後者の特徴は、変位—復元力曲線の履歴減衰に関係していると考えられる。

試作機の可動部の質量をスライドプレートの質量とリテーナーの半分の質量の合計とすると、可動部の質量は 25.1kg となる。変位 10mm 未満のばね定数 8N/mm から、可動部の固有周期を試算すると、固有周期は 0.35s となった。これは、図4の自由振動記録における振幅 10mm 未満の往復周期 0.32s と良く対応した。

5. まとめ

本研究では、3 個の磁石を用いて磁気復元力を生成する転がり免震支承を試作し、試作機の磁気特性、復元力特性、自由振動特性を調べた。復元力特性と自由振動特性から、新しい免震支承として可能性があることが判明した。

参考文献

- 1) 片山拓朗 (発明者)、君が淵学園 (出願人) : 免震装置, 特願 2013-10796, 2013.