

## 磁石式多層すべり免震支承の変位—水平力特性

崇城大学工学部

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

構造物の免震支承としては積層ゴム支承、すべり支承、転がり支承などがある。積層ゴム支承は大型の免震建物や地震力を橋脚・橋台に分散する橋梁でダンパーと共に使用される。すべり支承と転がり支承は、それ自身は復元力を生成しないので、ゴム支承などの復元力装置と併用される。

筆者らは永久磁石を用いる転がり免震支承を提案している<sup>1)2)</sup>。提案の転がり免震支承は、3個のネオジム磁石を互いに吸引するように鉛直方向に重ねて、隣り合う磁石間で発生する磁気吸引力の水平分力を復元力として利用する。最大変位を大きくするためには磁石の大型化が必要である。

筆者らの聞き取り調査によれば、ネオジム磁石の製造装置の能力から、輸入品を含めて国内で調達できるネオジム磁石の直径は200mm以下である。最大変位を600mmと仮定すると、提案の転がり免震支承の磁石の直径は300mm以上となるので、磁石の製造設備の能力向上が課題となる。

ここでは、国内で調達可能なネオジム磁石を用いて最大変位600mmを実現できる可能性がある磁石式多層すべり免震支承の基本構造を提案し、その試作機の磁気特性と変位—水平力特性について報告する。

### 2. 磁石式多層すべり免震支承の基本構造

図-1で提案支承の基本構造を説明する。図は提案支承の上部と下部に一对の水平力  $H$  が作用し、上部と下部に変位  $u$  が生じた状態を示す。図(a)は平面図であり、図(b)は中央断面図である。以下、本文中の数字 1~12 は図中の符号 1~12 を示す。提案支承はそれぞれ円盤状の上沓(1+2+3+4)、中間沓(5+6+7+8)、下沓(9+10+11+12)を鉛直方向に重ねて構成する。

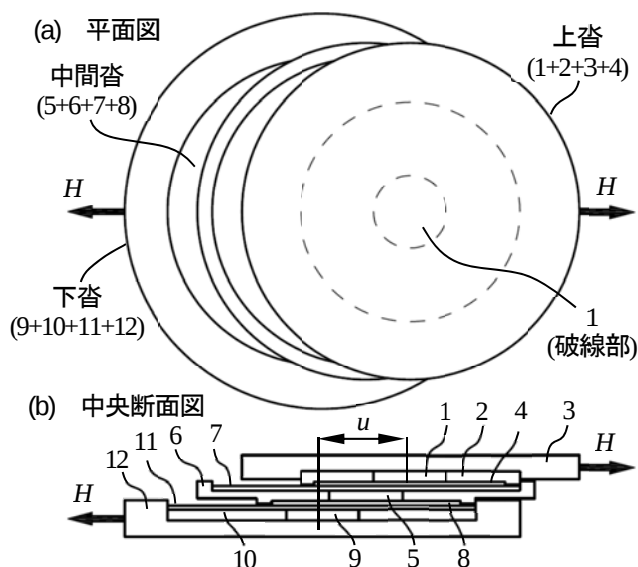


図-1 多層型すべり免震支承の基本構造

互いに隣り合う上側の沓の下面は下に凸の形状であり、下側の沓の上面は上に凹の形状であり、凸の形状と凹の形状が水平方向に隙間を持って嵌めあい、凸部の先端と凹形状の窪みの底が接触し且つ水平方向に互いに摺動する。

上沓は上部磁石 1、上部磁石を囲む上部非磁性体 2、および上部磁石と上部非磁性体のそれぞれ上側と下側で接する上部磁性体 3 と上部凸側摺動体 4 で構成する。上沓の下面は下に凸の形状であり、上部凸側摺動体 4 は凸の形状の先端にある。

中間沓は中間磁石 5、中間磁石を囲む中間非磁性体 6、および中間磁石と中間非磁性体のそれぞれ上側と下側で接する中間凹側摺動体 7 と中間凸側摺動体 8 で構成する。中間沓の上面は上に凹の形状であり、中間凹側摺動体は凹の形状の窪みの底にある。中間沓の下面は下に凸の形状であり、中間凸側摺動体は凸の形状の先端にある。

下沓は下部磁石 9、下部磁石を囲む下部非磁性体 10、下部磁石と下部非磁性体のそれぞれ上側と下側で接する下部凹側摺動体 11 と下部磁性体 12 で構成する。下沓の上面は上に凹の形状であり、下部凹側摺動体は凹の形状の窪みの底にある。

上部磁石、中間磁石、下部磁石の磁極面の形は円形であり、各磁石は鉛直方向に互いに吸引するように配置される。隣り合う磁石の水平面内の投影形状は、中立時においては重なり、最大変位時においては部分的に重なる。

隣り合う磁石の水平面内の投影形状が部分的に重なる状態では隣り合う磁石間に磁気吸引力が発生し、磁気吸引力の水平分力が支承の変位  $u$  を元に戻す復元力となる。ここでは、磁気吸引力の水平分力を磁気復元力と呼ぶ。

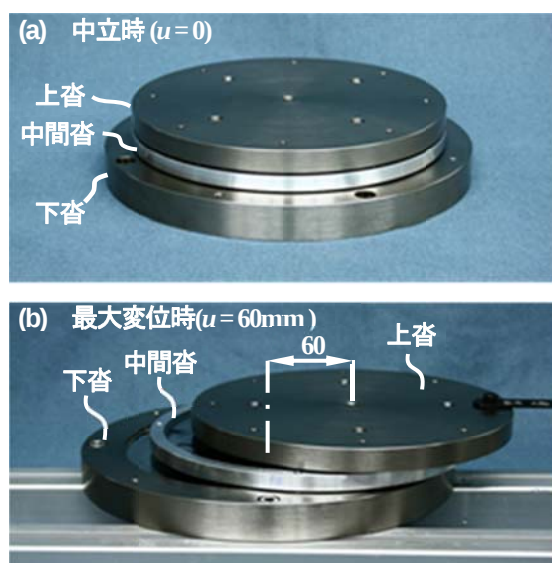


写真-1 試作機の外観

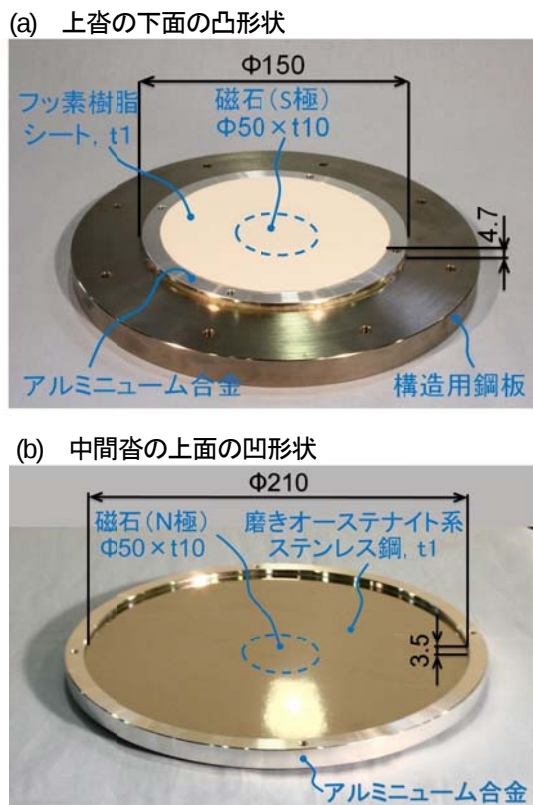


写真-2 凸の形状と凹の形状の寸法と外観

### 3. 試作機の諸元

写真-1(a)と写真-1(b)はそれぞれ中立時と最大変位時の試作機の外観である。最大変位時とは、隣り合う沓の凸の形状と凹の形状の変位方向の隙間がゼロとなった状態である。中立時の上沓と中間沓ならびに中間沓と下沓の上記隙間は共に30mmであり、最大変位時の上沓と中間沓ならびに中間沓と下沓の変位は共に30mmであり、最大変位はこれらの変位の和の60mmである。

写真-2(a)と写真-2(b)はそれぞれ上沓の下面の凸の形状と中間沓の上面の凹の形状の外観である。中間沓の下面の凸形状と下沓の上面の凹の形状も同様である。凸の形状の先端には凸側摺動体としてフッ素樹脂シート(厚1mm)を配置し、凹の形状の窪みの底には凹側摺動体として磨きオーステナイト系ステンレス鋼板(厚1mm)を配置した。ステンレス鋼板ならびにフッ素樹脂シートは共に非磁性体と磁石にエポキシ樹脂系接着剤で固定した。シートとステンレス鋼板の裏側には円盤状のネオジウム磁石(直径50mm×厚10mm)を配置した。上部非磁性体、中間非磁性体、下部非磁性体はアルミニウム合金板(A5052P)とし、上部磁性体と下部磁性体は構造用鋼板(SS400)とした。凹の形状の窪みにシリコンオイルを充填した。

### 4. 試作機の磁気特性と復元力特性

図-2は上沓、中間沓、下沓のそれぞれ上面と下面の磁束密度の分布である。磁束密度は磁石の端部で大きく、磁石の中心で小さくなる分布を示した。上沓と下沓では磁石と

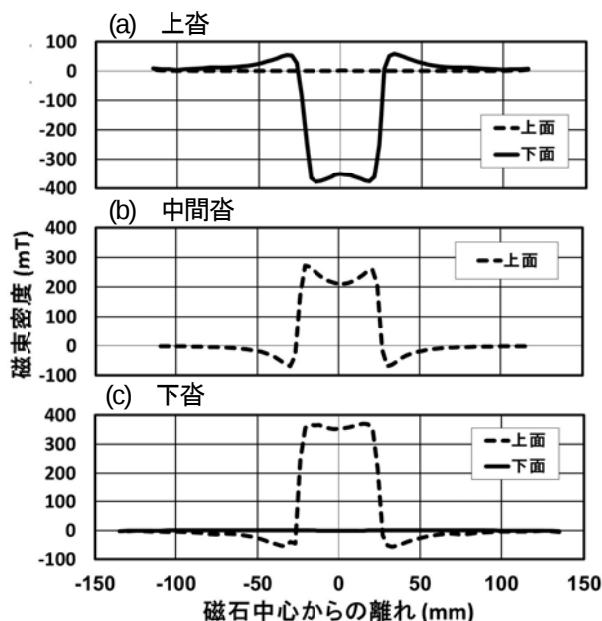


図-2 各沓の磁束密度の分布

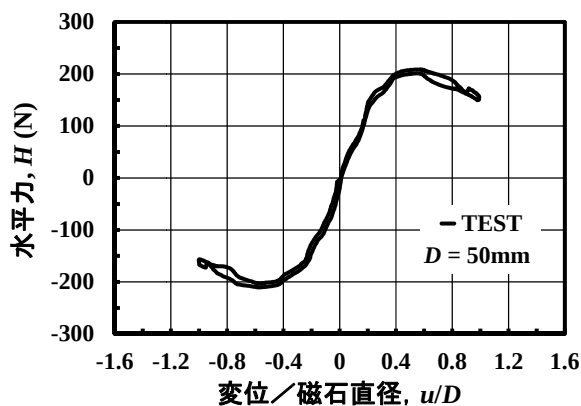


図-3 試作機の水平力—変位の履歴曲線

接する磁性体の影響から、中間沓より大きな磁束密度を示した。試作機の磁気吸引力は757Nであった。

図-3は緩速水平力負荷試験における試作機の変位—水平力の履歴曲線である。無次元変位約±0.2(変位約±10mm)まで変位の増加に比例して水平力は増加し、約±0.5(約25mm)で水平力は最大となり、その後は変位の増加に連れて水平力は単調に減少する特徴が確認できる。無次元変位約±0.2の範囲における接線剛性は約15N/mmである。

変位—水平力の履歴曲線における往路と復路での水平力の差は約8~9Nであった。これより、摩擦力は4~4.5Nと考えられる。磁気吸引力は757Nであるので、これより摩擦係数は約0.005~0.006と考えられる。

### 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，2016.9.
- 2) 片山拓朗：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，平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，I-117，土木学会西部支部，2014 年 3 月。