

# 構造物のスマート構造のための 超磁わいアクチュエータに関する実験的研究

Experimental Study of Magnetostrictive Actuator for Large-Scale Smart Structure

嶋 崎 守\*・藤 田 隆 史\*・松 井 康 浩\*\*・達 正 義\*\*

Mamoru SHIMAZAKI, Takafumi FUJITA, Yasuhiro MATSUI and Masayoshi TATSU

## 1. ま え が き

著者の一人は、スマート構造の概念を地上の構造物に適用し、高層建物や精密生産施設をアクティブ制振する研究を行っている<sup>1)~6)</sup>。地上の構造物にスマート構造を適用する場合、大出力の固体アクチュエータが必要であり、これらの研究ではピエゾアクチュエータや超磁わいアクチュエータを用いている。超磁わいアクチュエータは、セラミックス特有の脆弱性を持ったピエゾアクチュエータに比べて、はるかに頑強であるという特長がある。しかし、スマート構造用のアクチュエータとしての特性は未知な点が多い。本研究は、超磁わいアクチュエータを構造物のスマート構造のためのアクチュエータとして用いることを念頭においた、アクチュエータ特性の解明が目的であり、本報では、アクチュエータ特性実験結果について報告する。

## 2. 超磁わいアクチュエータ

実験に用いた超磁わいアクチュエータを図1に、また、その構造を図2に示す。アクチュエータは外寸が $\phi 38 \times 102^H$ mmで、 $\phi 12 \times 75^H$ mmの超磁わい合金を磁界印加用のソレノイドコイルおよびバイアス磁界印加用の永久磁石が囲む構造である。バイアス磁界によって、あらかじめ超磁わい合金にはひずみが生じているので、ソレノイドコイルへの印加電流の正負のみでアクチュエータの伸縮が可能である。ところで、超磁わいアクチュエータは印加電流によって生ずる変位を拘束することで力を発生する。そこで、通常、アクチュエータとして用いる場合には、予圧縮力をかけて拘束し、力の伝達効率を向上させ、引張力を生じさせることなく、正負の力を発生させる。

## 3. 実験装置および計測システム

実験装置の構造および計測システムを図3に示す。超磁わいアクチュエータの両端はそれぞれステンレス製板に接着され、その一端は材料試験機に固定され、もう一端から荷重計を介して加圧する構造である。アクチュエータの変位量は、一方のステンレス製板に固定された2基の非接触

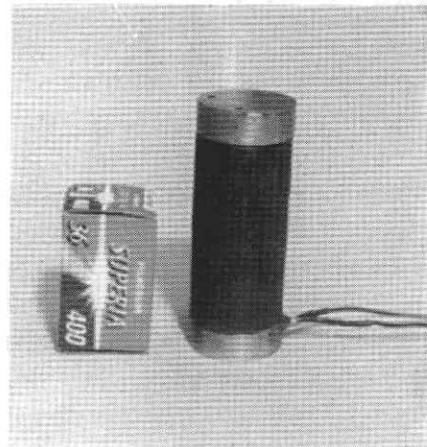


図1 超磁わいアクチュエータ

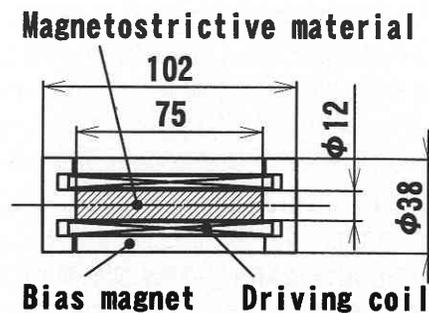


図2 超磁わいアクチュエータの構造

\*東京大学生産技術研究所 情報・システム大部門

\*\*(株)モリテックス

研究速報

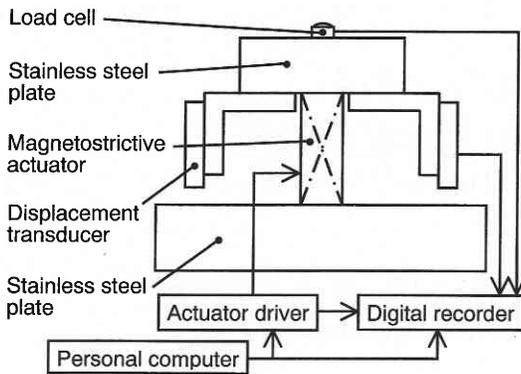


図3 実験装置の構造および計測システム

型変位計により計測される板間変位の平均値によって、また、発生力は荷重計によって計測される。この装置による計測結果の精度および信頼性は、アクチュエータと同寸法のジュラルミンによる剛性測定を行なって確認している。

4. 実験および結果

実験には2基の超磁わいアクチュエータ A, B を供した。このアクチュエータは、2章でのべたとおり、予めバイアス磁界が印加されているため、負の電流を駆動コイルに印加すれば縮む方向に変位するが、バイアス磁界以上に相当する負の電流を印加すれば伸びる方向に変位する。したがって、アクチュエータへの最大印加電流はバイアス磁界で決まることになる。特性試験に先立って行なった予備実験では、A と B では実際に超磁わい合金に作用しているバイアス磁界の大きさが異なっていることが判明し、最大印加電流は A と B で異なり、A は ±2.10 A, B は ±1.75 A であった。アクチュエータ特性実験は A, B 各々について、静的特性、印加電圧に正弦波を用いた動的特性、また、これらの特性の予圧縮力による影響について測定した。

4.1 発生変位および発生力

材料試験機によってアクチュエータに一定の予圧縮力をかけた状態で、所定の電流をアクチュエータに印加して変位させ、その後、印加電流を一定に保ったまま元の変位に戻るまで材料試験機で加圧（印加電流が負の場合は減圧）したときの変位と力の関係を測定した。図4は予圧縮力 12 MPa での A の結果である。最大印加電流の 2.10 A 印加時には 37.5 μm 変位し、この変位を元に戻すのに 1.21 kN の力を要し、また -2.10 A 印加時には -16.6 μm 変位し、元に戻すのに -0.83 kN の力を要した。これらがこのアクチュエータの予圧縮力 12 MPa での最大変位および最大発生力となるが、正負で大きく異なり、負側は正側に対して、最大変位は 44%，最大発生力は 69% であった。これは、

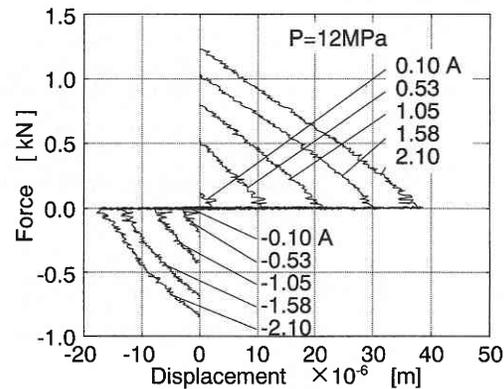


図4 発生変位と発生力の関係

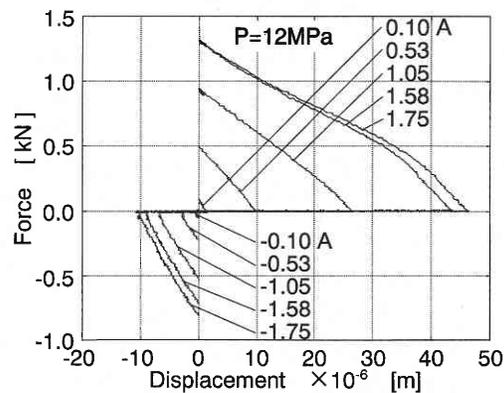


図5 発生変位と発生力の関係

超磁わい合金が正負均等にひずむような強さのバイアス磁界が印加されていないためである。図5はBの結果であるが、これもバイアス磁界の影響で最大変位および最大発生力とも、正負の差はAよりも大きい。しかし、正負間振幅については、A と B の差は最大変位および最大発生力とも 5% 程度である。

4.2 最大発生変位および最大発生力への予圧縮力の影響

図6は最大発生変位と最大発生力の関係に及ぼす予圧縮力の影響を示したもので、Aの結果である。また、図7, 8は最大発生変位および最大発生力それぞれについて予圧縮力の影響を示したものである。予圧縮力が大きくなると正側の最大発生変位は増え、10 MPa で最大となり、これ以上の予圧縮力では逆に減少する。負側は予圧縮力が大きくなると減少する。また最大発生力も同様、予圧縮力が大きくなると正側は増え、A の場合 8 MPa, B の場合 10 MPa で最大となり、これ以上の予圧縮力では逆に減少する。負側は予圧縮力が大きくなると減少する。正負間振幅では予圧縮力が大きくなると減少する。

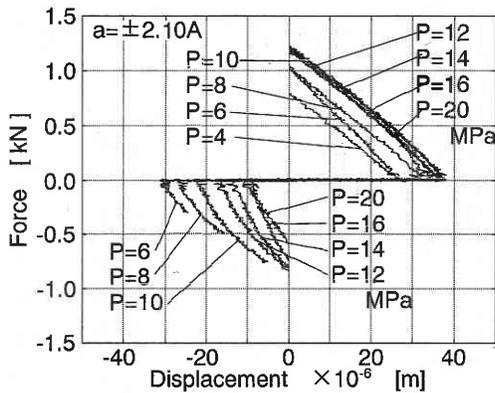


図6 最大発生変位と最大発生力の関係に及ぼす予圧縮力の影響

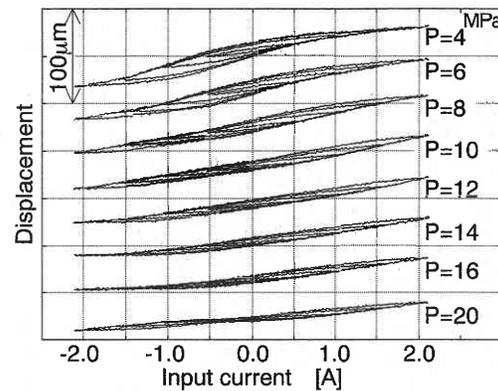


図9 変位のヒステリシスへの予圧縮力の影響

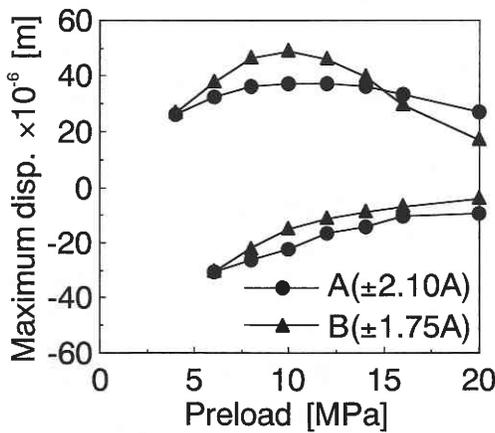


図7 最大発生変位への予圧縮力の影響

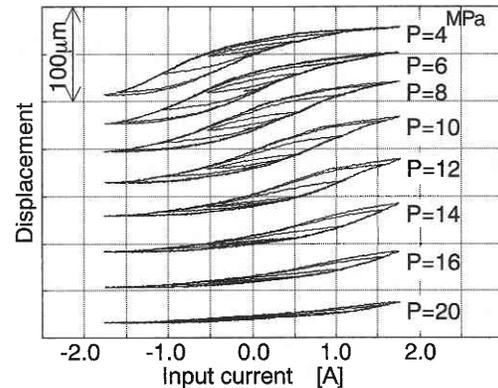


図10 変位のヒステリシスへの予圧縮力の影響

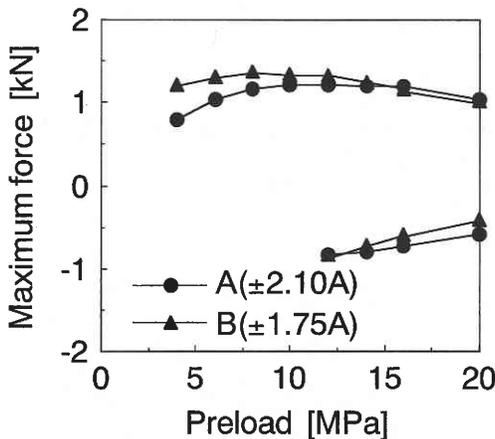


図8 最大発生力への予圧縮力の影響

### 4.3 発生変位ヒステリシスへの予圧縮力の影響

図9は印加電流に対する発生変位のヒステリシスループ

への予圧縮力の影響を示したもので、Aの結果である。ヒステリシスの量は予圧縮力4 MPaのとき30.6%で予圧縮力が大きくなると減少する傾向にあり、20 MPaのときは20.8%であった。また、図10はBの結果であるが、これも予圧縮力が大きくなると減少する傾向にあり、4 MPaのとき33.3%でAと同程度であるが、16 MPaでも28.8%あり、減少する度合いがAよりも小さい。しかし20 MPaでは22.7%で、Aとほぼ同じになる。

### 4.4 正弦波電流印加時の発生変位

図11は予圧縮力12.0 MPaでの印加電流に正弦波を用いたときの発生変位の周波数特性を示したもので、Aの結果である。各印加電流での発生変位は20 Hzまでの範囲では周波数に依存しないと言える。またBの発生変位についても、静的な特性と同様、定量的にはAと個体差があるものの、周波数に依存しなかった。

### 4.5 正弦波電流印加時の発生変位への予圧縮力の影響

図12は4.4節の結果の予圧縮力による影響を示したもので、印加電流は±2.10 A、10 Hzで、Aの結果である。

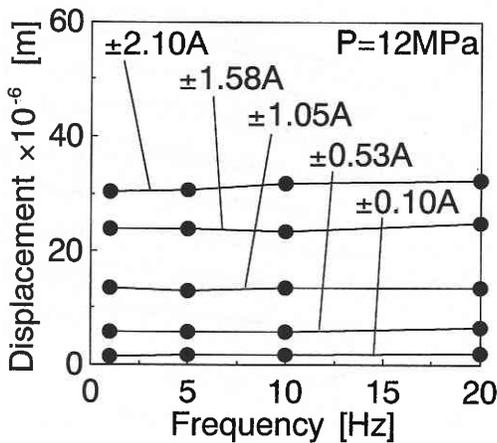


図 11 発生変位の周波数特性

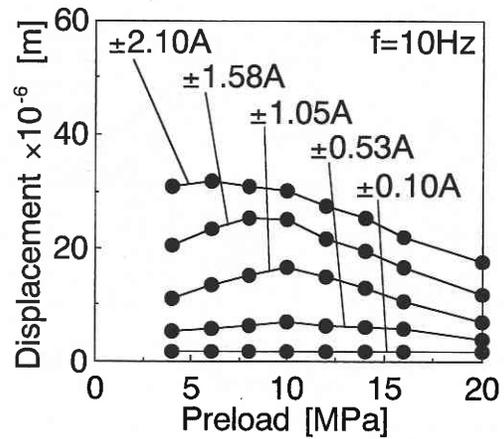


図 12 発生変位への予圧縮力の影響

静的な結果と同様、最大電流±2.10 A印加時の発生変位、すなわち、最大発生変位は予圧縮力6 MPaのとき最大で、それ以上の予圧縮力では減少する。しかし、最大印加電流以外の電流振幅では10 MPaのとき最大であった。またBについては、最大発生変位は予圧縮力6 MPaのとき最大で、それ以上の予圧縮力では減少する。しかし、最大印加電流以外の電流振幅では、発生変位が最大となる予圧縮力は6～8 MPaの範囲で振幅によって違った。

5. あ と が き

構造物のスマート構造のための超磁わいアクチュエータのアクチュエータ特性について、2基のアクチュエータについて各特性実験を行った。その結果以下が判明した。

- (1) 予圧縮力12 MPaでの最大発生変位および最大発生力は、正負間振幅で、Aが50.2 μm, 2.00 kN, Bが57.4 μm, 2.14 kNで、個体差は約5%程度であった。しかし、バイアス磁界の影響で正負では大きな差がある。
- (2) 最大発生変位および最大発生力とも、正負間振幅では、予圧縮力が大きくなると減少する。

- (3) 発生変位ヒステリシスは4 MPaのとき、A, Bとも約30%程度であった。予圧縮力が大きくなるとヒステリシスは減少するが、その度合いはAとBでは個体差がある。
- (4) 発生変位に周波数依存はない。
- (5) 動的特性においても、発生変位は予圧縮力に影響し、印加電流の振幅によって6～10 MPaで最大となる。

(2000年6月9日受理)

参 考 文 献

- 1) 藤田・ほか5名, 日本機械学会論文集C編, 61巻584号(1995), 1337-1342.
- 2) 鎌田・ほか6名, 日本機械学会論文集C編, 62巻599号(1996), 2577-2584.
- 3) 鎌田・ほか6名, 日本機械学会論文集C編, 63巻615号(1997), 3743-3750.
- 4) 藤田・ほか5名, 日本機械学会論文集C編, 66巻647号(2000)に掲載予定.
- 5) 藤田・ほか5名, 日本機械学会論文集C編, 64巻626号(1998), 3774-3781.
- 6) 藤田・ほか7名, 日本機械学会論文集C編に投稿中.