

構造物のスマート構造のための 大型 piezo アクチュエータに関する実験的研究

Experimental Study of Large-Scale Piezoelectric Actuator for Smart Structure

嶋崎 守*・藤田 隆史*・畑山 貴善**・有壁 剛生**
村井 信義***・相沢 覚***・遠山 幸太郎***

Mamoru SHIMAZAKI, Takafumi FUJITA, Takayoshi HATAYAMA, Takeo ARIKABE,

Nobuyoshi MURAI, Satoru AIZAWA and Kotaro TOYAMA

1. ま え が き

近年、宇宙構造物などを対象として、スマート構造と呼ばれる新しい構造概念が盛んに研究されている。著者らはこの概念を地上の大規模構造物に適用し、高層建物を制振する研究を行っている^{1), 2)}。この研究では、piezo アクチュエータを用いたスマート構造を検討している。

著者らは、積層型 piezo アクチュエータ $10 \times 10 \times 18 \text{ mm}$ および $25 \times 25 \times 36 \text{ mm}$ のアクチュエータ特性についてすでに報告しているが^{3), 4)}、当然のことながら、これらのアクチュエータは大規模構造物の制振に用いるには容量不足である。そこで、本研究ではアクチュエータの大容量化を目指し、現在の技術で比較的容易に製作可能な大型 piezo アクチュエータを製作した。本報では、その大型 piezo アクチュエータのアクチュエータ特性を実験的に検討した結果を報告する。

2. 大型 piezo アクチュエータ

本研究で製作した大型 piezo アクチュエータ $100 \times 100 \times 150 \text{ mm}$ を図 1 に示す。また、設計上の諸特性を表 1 に示す。この大型 piezo アクチュエータの外寸は $102 \times 102 \times 170 \text{ mm}$ で、 $100 \times 100 \times 5 \text{ mm}$ の圧電セラミック板 30 枚が電極板と交互に積層され、これらは $102 \times 102 \times 10 \text{ mm}$ の上下の鋼製板と側面の 4 本の支柱で固定されている。積層型 piezo アクチュエータを使用する場合には、予圧をかけて力の伝達効率を向上させ、バイアス電界を印加して正負の力を発生させる。積層型は電極間の放電

防止対策が重要であるが、本アクチュエータは積層した圧電板をそのまま締め込んでいるために完全には層間が密着せず、放電や発生力の低下が懸念された。この対策は予圧で対処しなければならないので、予圧については十分に検討する必要があった。

3. 実験装置および計測システム

図 2 に実験装置を示す。また、その構造および計測システムを図 3 に示す。piezo アクチュエータを鋼製ブロックで上下から挟み込み、下側のブロックは最大荷重 980 kN の材料試験機のラムに固定されている。材料試験機のクロ

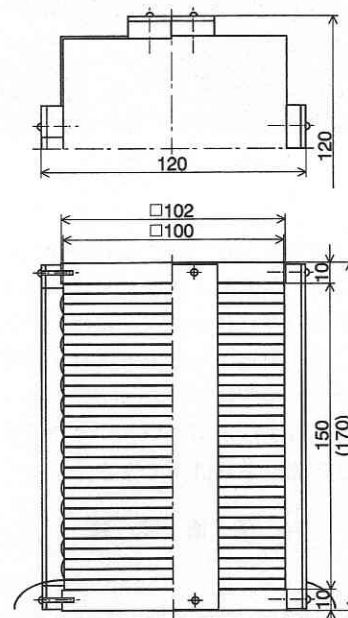


図 1 大型 piezo アクチュエータ $100 \times 100 \times 150 \text{ mm}$

*東京大学生産技術研究所 第 2 部

**住友重機械工業(株) 総合技術研究所

***(株)竹中工務店 技術研究所

表1 大型 Piezoアクチュエータの諸特性

Specifications	
Outer size	102×102×170 ^H mm
Piezoceramic plate	100×100×5 ^H mm
Number of plates	30
Maximum displacement under zero loading condition	29 μm/kV
Maximum force under zero displacement condition	69 kN/kV
Capacitance	2.5 μF

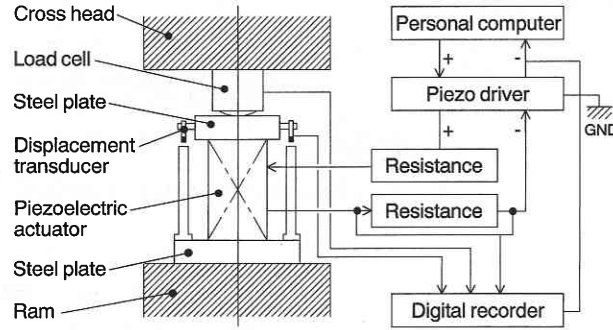


図3 実験装置の構造および計測システム

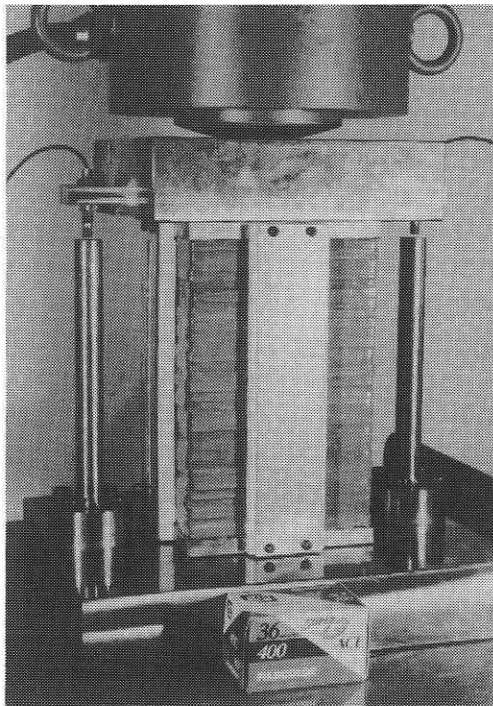


図2 実験装置

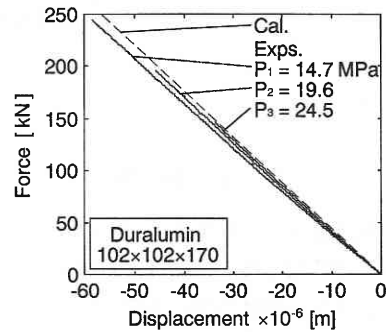


図4 ジュラルミンの剛性測定結果

スヘッドには荷重計が固定され、これを介して Piezoアクチュエータを加圧する構造である。Piezoアクチュエータの変位量は、下側のブロックの左右に固定された2基の非接触型変位計により測定される上下ブロック間の相対変位の平均値によって計測される。Piezoアクチュエータへの印加電圧はドライバからモニタでき、また電流は電気回路中に挿入された抵抗により計測できる。

4. 予備実験

4.1 実験概要

2章で述べたとおり、放電と発生力低下の防止対策として、ここでは駆動する際の予圧を検討する。これは同時に、

計測結果の精度および信頼性を検証する実験でもある。実験は、Piezoアクチュエータと同寸法のジュラルミンを用い、装置により所定の予圧をかけ、その状態から加圧して剛性測定を行う。この結果を検討し、本実験での予圧を決定する。

4.2 実験結果

図4は剛性測定結果で、予圧が14.7、19.6および24.7 MPaの場合の結果である。図中の破線はジュラルミンの縦弾性係数から計算した結果である。測定された各剛性の計算値との誤差は、予圧14.7 MPaのとき約8%、19.6 MPaのとき約4%、また24.7 MPaでは約2%と、予圧が大きいほど正確な測定値となっている。Piezoアクチュエータの放電防止と発生力低下防止には、基本的に予圧は大きいほど良いが、これまでの研究^{3), 4)}の結果では、予圧が19.6 MPaを越えると発生変位が低下することが判明している。したがって本実験での予圧は19.6 MPaに決定した。

5. アクチュエータ特性実験

5.1 実験概要

実験には2基の大型 Piezoアクチュエータ A, B を用い、各々についてアクチュエータ特性を測定する。すなわち、

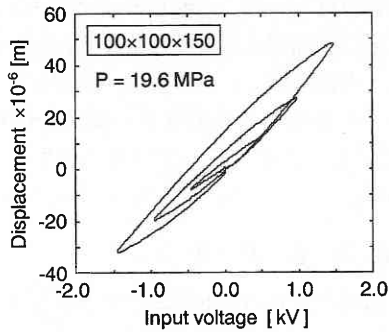


図5 変位ヒステリシス形状

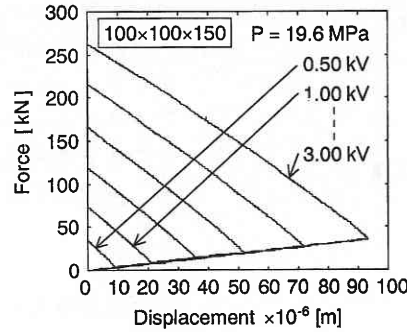


図6 発生力と発生変位の関係

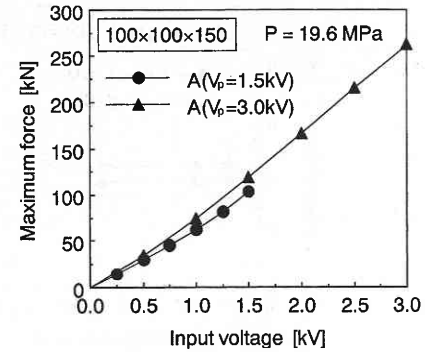


図7 印加電圧に対する最大発生力

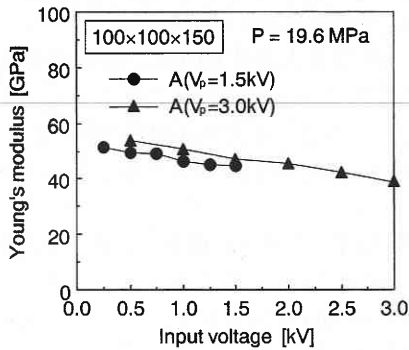


図8 大型ピエゾアクチュエータの縦弾性係数

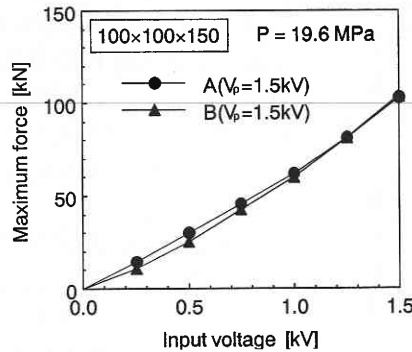


図9 最大発生力の個体差

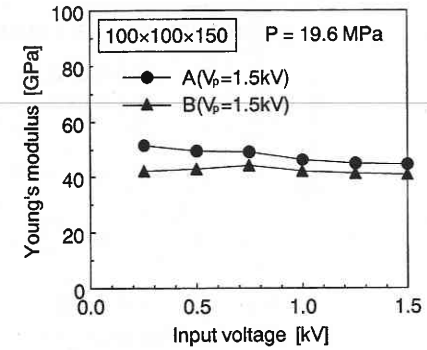


図10 縦弾性係数の個体差

静的特性として発生変位と印加電圧の関係、発生力と発生変位の関係、動的特性として印加電圧に正弦波を用いた場合の、発生変位および電流の周波数との関係を測定する。また、これらの分極電圧による影響についても検討する。

5.2 発生変位と印加電圧の関係

図5は発生変位と印加電圧の関係を示したもので、Aの結果である。この実験の分極電圧は3.0 kVで、あらかじめ1.5 kVのバイアス電圧を印加している。印加電圧に対して発生変位は小型ピエゾアクチュエータ $10 \times 10 \times 18$ mm、および $25 \times 25 \times 36$ mm と同形状のヒステリシスループを描く。またヒステリシスの量は約16%で、これも小型ピエゾアクチュエータと比較して同程度である。

5.3 発生力と発生変位

この実験では、まず予圧をかけ、所定の電圧までピエゾアクチュエータに電圧を印加して変位させ、その後印加電圧を一定に保ったまま元の変位に戻るまで装置で加圧したときの変位と圧縮力を測定する。図6は分極電圧3.0 kVのときのAの結果で、印加電圧が0.5 kVから0.5 kVごとに3.0 kVの場合について示してある。したがって各印加電圧で、変位の最大値が発生変位、また縦軸切片となる圧縮力値が変位拘束下での最大発生力といえる。この大型ピエゾアクチュエータの予圧19.6 MPaでの最大変位は $94 \mu\text{m}$

$/3 \text{ kV}$ 、最大発生力は $270 \text{ kN}/3 \text{ kV}$ であった。表1に示した設計値では、最大変位は $87 \mu\text{m}/3 \text{ kV}$ 、最大発生力は $206 \text{ kN}/3 \text{ kV}$ であり、最大変位についてはほぼ設計値どおり、また最大発生力については設計値を約30%上回った。

図7はAの各印加電圧での最大発生力を示したものである。また、図には分極電圧1.5 kVの場合も示してある。印加電圧3.0 kVまでの範囲で、最大発生力は概ね印加電圧に比例している。また分極電圧1.5 kVの場合、3.0 kVの場合に比べて最大発生力は10%程度低下している。これは3.0 kVの場合と比較して分極が十分でないために、本来の性能を発揮し得ないものである。図8は発生力と発生変位の測定結果から、最小二乗近似によりピエゾアクチュエータの縦弾性係数を計算したものである。縦弾性係数は40~50 GPaの範囲にあり、印加電圧が高いほど低い結果となっている。小型ピエゾアクチュエータでもこの傾向はあるが、本アクチュエータではやや顕著である。また、絶対的には $25 \times 25 \times 36 \text{ mm}$ とほぼ同じであり、大型化による剛性低下はない。

図9、10は各印加電圧における最大発生力および縦弾性係数をAとBで比較したもので、分極電圧1.5 kVの結果である。最大発生力に差はほとんどないが、縦弾性係数は最大20%の個体差がある。これは発生変位の個体差が原

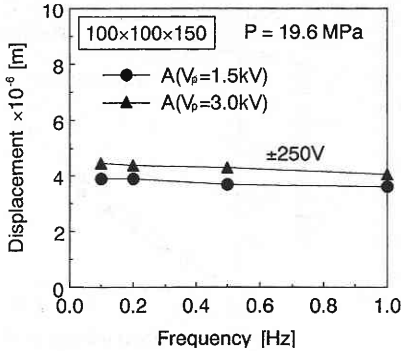


図11 周波数と発生変位の関係

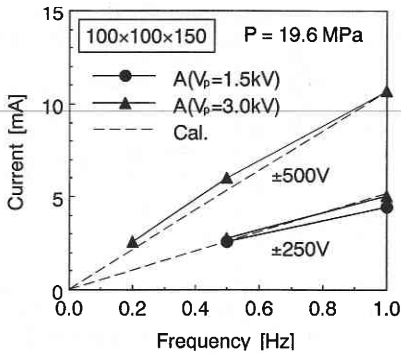


図12 電流と発生変位の関係

因であるが、小型アクチュエータでもこの程度の個体差はあり得るもので、大型アクチュエータ特有のものではない。

5.4 正弦波電圧印加時の発生変位

ここでは動的特性として、印加電圧に正弦波を用いた場合の、発生変位の周波数による影響を測定する。図11はAの結果で、分極電圧3.0kVと1.5kVの場合について示してある。この結果から、小型ピエゾアクチュエータ同様、発生変位には周波数の影響はない。また分極電圧1.5kVの場合、発生変位が約10%程度低下しているのは、前述のように、分極が不十分なためである。

5.5 正弦波電圧印加時の電流

ここでは動的特性として、電流と周波数の関係を測定する。図12はAの結果で、分極電圧3.0kVと1.5kVの場合について示してある。印加電圧の振幅は±250Vと、分極電圧3.0kVについては±500Vの場合についても示してある。これらの結果から、小型ピエゾアクチュエータ同様、電流は周波数に依存する。また、図には大型ピエゾアクチュエータの静電容量を3.5μFと同定した計算結果も示しているが、実験値と良く一致している。また分極電圧の影響はなく、図には示してないが個体差もなかった。静電容量は表1に示した設計値と比較して40%上回った。この程度の設計値との差は小型ピエゾアクチュエータでも見ら

れ、大型化によるものではないが、小型ピエゾアクチュエータの場合、静電容量は印加電圧の振幅に依存したが、大型アクチュエータにその傾向はない。これは、小型ピエゾアクチュエータのように積層した圧電板を一体焼結せず、そのまま締め込んでいることが関係していると思われるが、詳細は不明である。

6. あとがき

構造物のスマート構造のための大型ピエゾアクチュエータのアクチュエータ特性について、大型ピエゾアクチュエータ100×100×150mmを製作し、予圧19.6MPaのもとで各特性実験を行い、その結果以下が判明した。

- (1) 印加電圧3.0kVで最大変位94μm、最大発生力270kNの能力を有する大型ピエゾアクチュエータが製作された。これは、最大変位は設計値どおり、また最大発生力は設計値を約30%上回るものであった。
- (2) 縦弾性係数は印加電圧の増大に依存して低下するが、40～50GPaの範囲にあり、小型ピエゾアクチュエータ25×25×36mmと同程度で、大型化による剛性の低下はなかった。
- (3) 印加電圧に対する変位は、小型ピエゾアクチュエータと同様のヒステリシスループを描き、その量は約16%で、小型ピエゾアクチュエータと同程度であった。
- (4) 変位には印加電圧の周波数による影響はなかった。また電流は周波数に依存し、大型ピエゾアクチュエータの静電容量は3.5μFであった。これらの傾向も小型ピエゾアクチュエータと同様であった。

本研究で製作した大型ピエゾアクチュエータは、大型化による性能低下はなく、概ね設計値どおりの性能を発揮したが、放電のため3.0kV以上の電圧は印加できなかった。今後の課題として、より大出力の大型ピエゾアクチュエータを実現するためには放電対策がますます重要である。

最後に、本研究で述べた実験は本所第2部柳本研究室の980kN材料試験機を使用して行われた。末筆ながら柳本助教ならびに柳本研究室の諸兄に感謝の意を表したい。

(1997年11月10日受理)

参考文献

- 1) 藤田, 宮崎, 村井, 相沢, 山本, 遠山: 日本機械学会論文集C編, 61-584 (1995), 1337-1342.
- 2) 鎌田, 藤田, 畑山, 有壁, 村井, 相沢, 遠山: 日本機械学会論文集C編, 62-599 (1996), 2577-2584.
- 3) 嶋崎, 藤田: 生産研究, 48-6 (1996), 335-338.
- 4) 嶋崎, 藤田: 生産研究, 48-9 (1996), 449-452.