

構造物のスマート構造のための piezoアクチュエータに関する実験的研究

——第1報, 積層型 piezoアクチュエータ $10 \times 10 \times 18$ のアクチュエータ特性——

Experimental Study of Piezoelectric Actuator for Large-Scale Smart Structure

——1st Report, Actuator Characteristics of $10 \times 10 \times 18$ Piezoelectric Actuator of Stack Type——

嶋崎 守*・藤田 隆史*

Mamoru SHIMAZAKI and Takafumi FUJITA

1. ま え が き

近年, 宇宙構造物におい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¹⁾. 著者の一人は, この概念を地上の大規模構造物に適用し, 高層建物の制振などに新しい方法を提供する研究を行っている^{2)~5)}. この場合のアクチュエータとして, 積層型 piezoアクチュエータは発生力が大きく, 非常に有効と考えられる. 積層型 piezoアクチュエータの特性についてはいくつかの研究がなされている^{6), 7)}が, 構造物のスマート構造のためのアクチュエータとしての特性はまだ未知な点が多い. 本研究は, piezo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, 積層型 piezoアクチュエータ $10 \times 10 \times 18$ を用いて行った特性実験結果について報告する.

2. 積層型 piezoアクチュエータ

積層型 piezoアクチュエータは, 薄板状の圧電セラミックスが電極層と交互に積層され, 電界を印加することによって同方向にひずみを生ずる, いわゆる縦効果を利用したものである. 図1に実験に用いた積層型 piezoアクチュエータを示す. このアクチュエータは外寸 $10 \times 10 \times 18$ mm^H, 積層数は144層, 定格印加電圧は100Vである. ところで, 積層型 piezoアクチュエータは印加電界によって生ずるひずみを拘束することで力を発生する. また, セラミックスゆえ圧縮力には強いが, 引張力には非常に弱い. そこで, 通常アクチュエータとして用いる場合には, 予圧をかけて拘束し, バイアス電界を印加して正の印加電界のみ使用することで, 力の伝達効率を向上させ, 引張力を

*東京大学生産技術研究所 第2部

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

実験装置および計測システムを図2に示す. piezoアクチュエータの両端はそれぞれ鋼製板に接着され, その一方は鋼製ブロックを介して装置に固定されている. 装置には可動部があり, これにより piezoアクチュエータを荷重計を介してはさみ込み, 加圧することが可能な構造となっている. アクチュエータの変位量は, 一方の鋼製板に固定された2台の非接触型変位計により計測される板間変位の平均値によって, 発生力は荷重計によって計測される. また電気回路に挿入された電圧計および電流計によって印加電圧および電流量を計測できる. この装置による計測結果の精度および信頼性は, piezoアクチュエータと同寸法の S45C, 黄銅, ジュラルミンを用いた剛性測定により確認している.

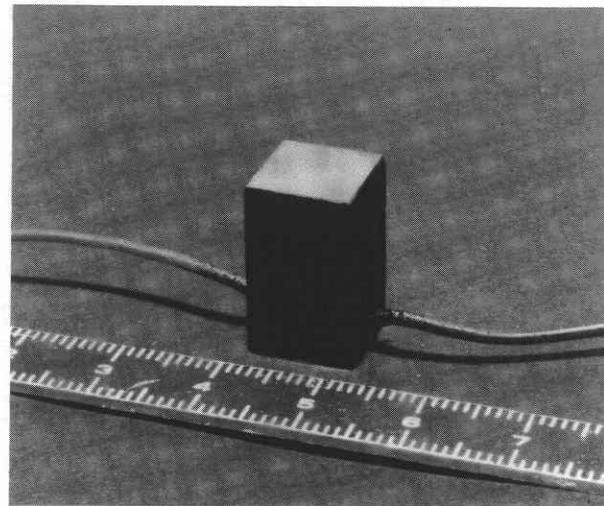


図1 積層型 piezoアクチュエータ $10 \times 10 \times 18$

研究速報

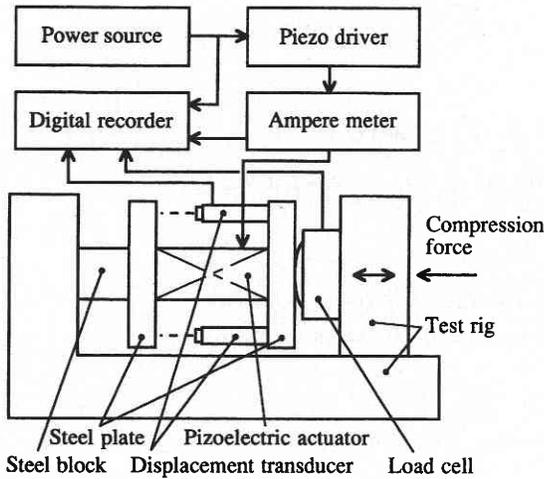


図2 実験装置および計測システム

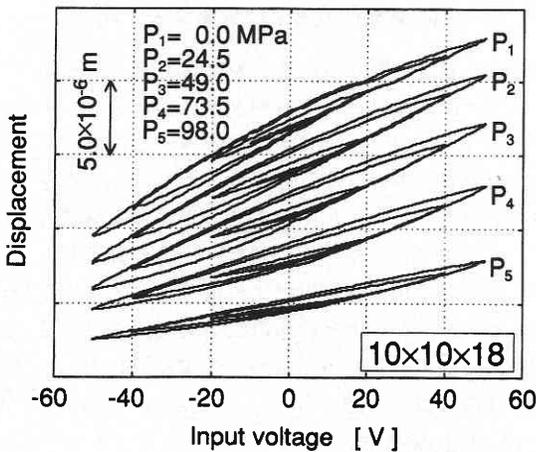


図3 変位ヒステリシスと予圧の関係

4. 実験および結果

実験には3個のピエゾアクチュエータを使用し、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、これらの予圧による影響について測定した。

4.1 変位ヒステリシスの予圧による影響

図3はサンプルAの印加電圧に対する変位ヒステリシスの予圧による影響を示したもので、印加電圧には50Vのバイアス電圧をかけている。変位ヒステリシスは予圧が49.0MPaまでは予圧の増大とともに大きくなるが、それ以降は小さくなる傾向にある。また、変位は予圧の増大とともに減少する傾向にあり、圧電定数が予圧の増大とともに小さくなると考えられる。

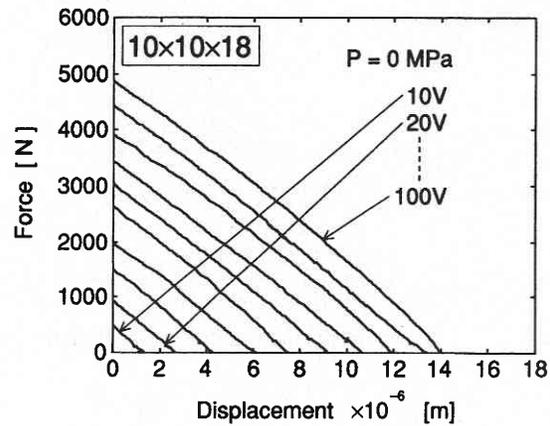


図4(a) 変位と発生力の関係

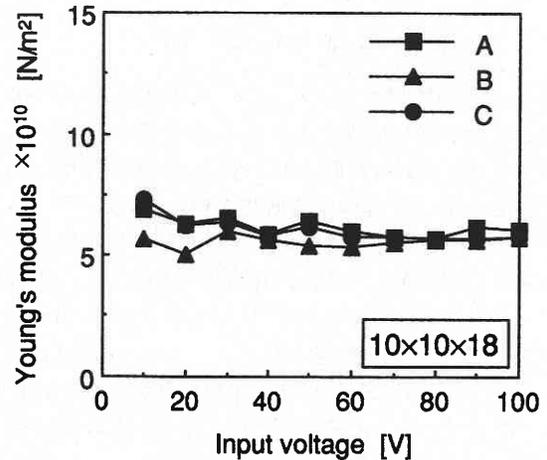


図4(b) 印加電圧と縦弾性係数の関係

4.2 変位および発生力

ここでは、予圧をかけない無負荷の状態、所定の電圧をピエゾアクチュエータに印加して変位させ、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加圧力を測定した結果を示す。図4(a)は、サンプルAの結果で、印加電圧が10Vの場合から10Vごとに100Vの場合について示してある。定格電圧の100V印加時には14.0 μ m変位し、この変位を元に戻すのに4.8kNの加圧力を要した。これがこのアクチュエータの最大変位および最大発生力となるわけである。また、図4(b)はこ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求めたもので、印加電圧に依存なく概ね60GPaで、アルミニウムよりやや柔らかいことが判明した。

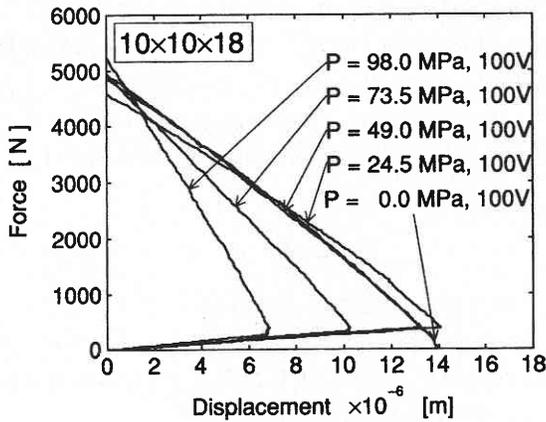


図 5 (a) 変位と発生力の予圧との関係

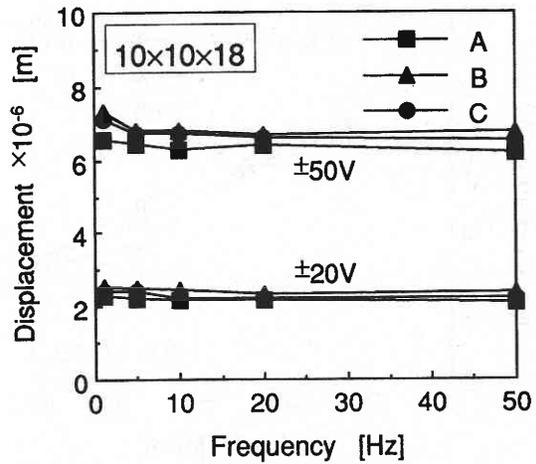


図 6 (a) 変位と周波数の関係

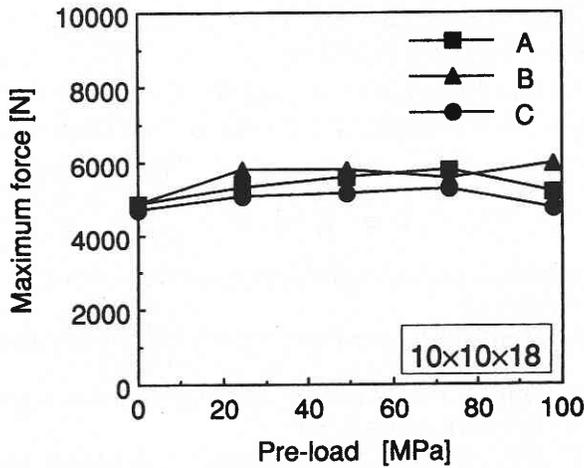


図 5 (b) 最大発生力と予圧の関係

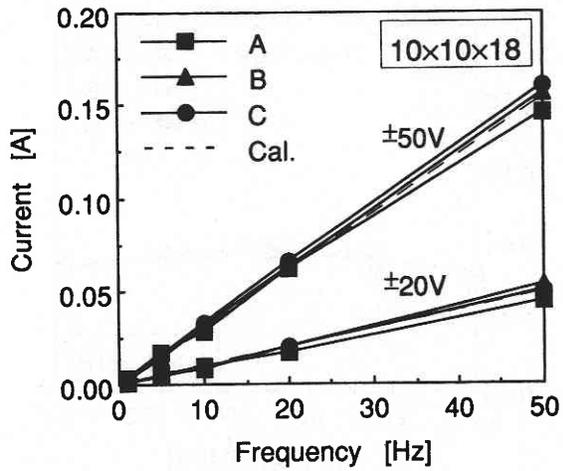


図 6 (b) 電流と周波数の関係

4.3 変位および発生力の予圧による影響

図 5 (a) はサンプル A の印加電圧 100 V での最大変位と最大発生力の関係の予圧による影響を示したものである。予圧が 24.5 MPa までは最大変位に変化はないが、それ以上の予圧では減少し、予圧 98.0 MPa のときの最大変位は $6.9 \mu\text{m}$ と、予圧がない場合の約半分となった。しかし、図 5 (b) に示すように最大発生力はほぼ一定で、予圧による影響はない。そのため、縦弾性係数は約 2 倍に増加している。

4.4 正弦波電圧印加時の変位、電流の周波数依存性

図 6 (a), (b) は予圧をかけない状態で 50 V のバイアス電圧をかけた正弦波を印加したときの、変位および電流の周波数依存性を示したものである。測定に供した 3 個の土

50 V および ± 20 V 印加時の変位は約 $6.8 \mu\text{m}$ および $2.3 \mu\text{m}$ で、周波数依存はない。また、電流は周波数に依存し、以下のような実験式で表せる。

$$I = C\dot{V} \tag{1}$$

ここで、 I は電流、 C は piezo-actuator の静電容量、 V は印加電圧である。ただし、静電容量は正弦波印加電圧の振幅に依存し、以下のように表せる。

$$C = kV_a + C_0 \tag{2}$$

ここで、 V_a は正弦波印加電圧の振幅、 k および C_0 は定数である。本測定結果から、(1) 式を用いて piezo-actuator の静電容量を同定すると、 ± 50 V 印加時は $9.53 \mu\text{F}$ 、また ± 20 V 印加時は $7.16 \mu\text{F}$ であり、(2) 式から $k =$

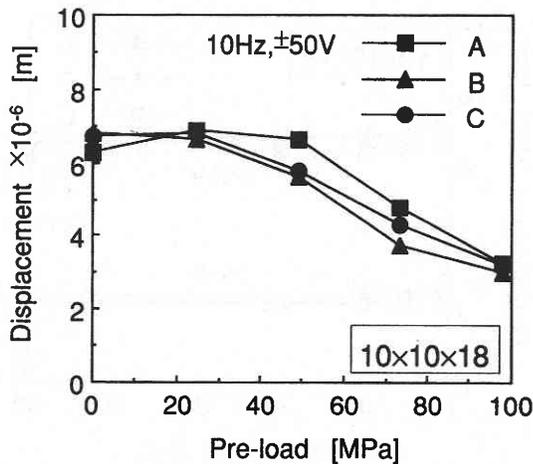


図7 (a) 変位と予圧の関係

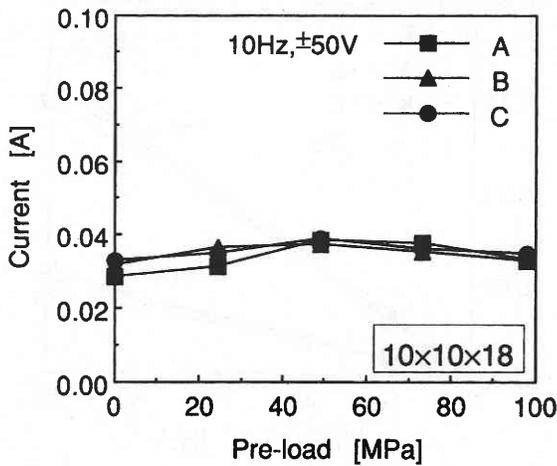


図7 (b) 電流と予圧の関係

0.079 $\mu F/V$, $C_0=5.58\mu F$ であった。

4.5 正弦波電圧印加時の変位, 電流の予圧による影響

図7 (a), (b) は4.4節の結果の予圧による影響を示し

たもので, 印加電圧 $\pm 50V$, $10Hz$ の場合の結果である。4.3節の静的な結果と同様, 変位は予圧が $24.5MPa$ 以上では減少し, 予圧 $98.0MPa$ のときの測定に供した3個の変位は概ね $3.2\mu m$ で, 予圧をかけない場合の約半分であった。しかし, 電流については予圧による影響はないといえる。

5. あとがき

構造物のスマート構造のためのピエゾアクチュエータのアクチュエータ特性について, 積層型ピエゾアクチュエータ $10\times 10\times 18$ を用いて, 実験装置を試作し各特性実験を行った。その結果以下が判明した。

- (1) 変位に周波数依存はないが, 予圧に依存し, $24.5MPa$ 以上では減少する。
- (2) 発生力は予圧に依存しない。
- (3) 縦弾性係数は予圧をかけない場合, 概ね $60GPa$ であるが, 予圧に依存して増加する。
- (4) 電流は予圧依存はないが, 周波数に依存し, ピエゾアクチュエータの静電容量は正弦波印加電圧の振幅に依存する。

(1996年3月15日受理)

参考文献

- 1) Wada, B.K., AIAA/ASCE/AHS/ASC 30th SDM Conf., 1989. 4.
- 2) 藤田ほか5名, 日本機械学会論文集C編, 61-584, 1995, 1337.
- 3) 鎌田ほか4名, 日本機械学会第72期通常総会講演会講演論文集(II), 1995. 3, 484.
- 4) 鎌田ほか5名, 日本機械学会機械力学・計測制御講演論文集, 1995. 8, 410.
- 5) 鎌田ほか5名, 日本機械学会第73期全国大会講演論文集(V), 1995. 9, 86.
- 6) 布田ほか3名, 第24回日本機械学会機械力学シンポジウム講演論文集 No. 870-3, 1987, 115.
- 7) 矢野ほか2名, 昭和59年度電子通信学会総合全国大会講演論文集, 1984, 1-158.