

構造物のスマート構造のための ピエゾアクチュエータに関する実験的研究

—第2報, 積層型ピエゾアクチュエータ25×25×36のアクチュエータ特性—

Experimental Study of Piezoelectric Actuator for Large-Scale Smart Structure

—2nd Report, Actuator Characteristics of 25×25×36 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, 積層型ピエゾ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.

本研究では, すでに積層型ピエゾアクチュエータ10×10×18を用いて特性実験を行い, そのアクチュエータ特性について第1報で報告している⁶⁾. 本報では, 積層型ピエゾアクチュエータ25×25×36を用いて, アクチュエータ特性の比較のために, 前報と同様の特性実験を行った結果について報告する.

2. 積層型ピエゾアクチュエータ

実験に用いた積層型ピエゾアクチュエータ25×25×36を図1に示す. 前報で用いた10×10×18と構造は基本的に同じで, 薄板状の圧電セラミックスが電極層と交互に積層されている. 10×10×18と比較して, 定格印加電圧は100 Vと同じであるが, 積層数は2倍の288層, 外寸は25×25×36^Hmmで, 高さは2倍, 断面積は6.25倍である. 前報でも述べたように, 積層型ピエゾ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が, 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使用する場合には, 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でのみ使用することで, 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

図2に実験装置を示す. ピエゾアクチュエータの両端は

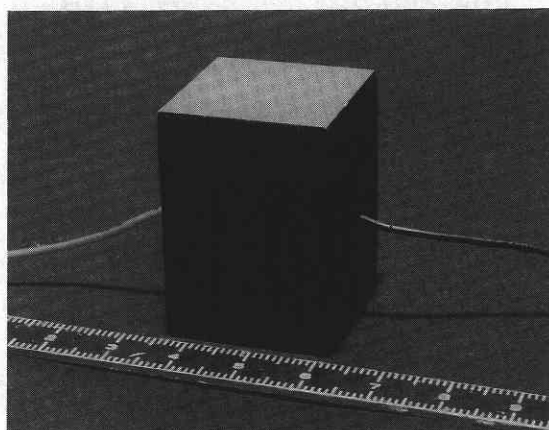


図1 積層型ピエゾアクチュエータ25×25×36

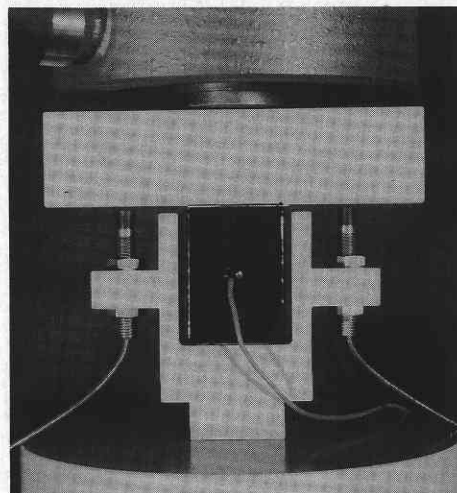


図2 実験装置

*東京大学生産技術研究所 第2部

研 究 速 報

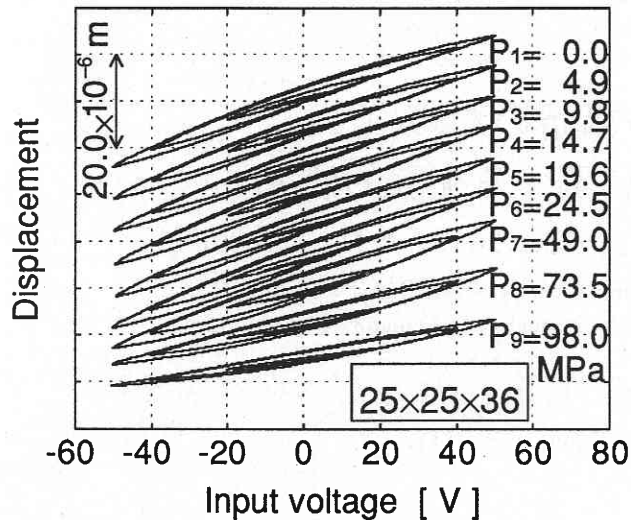


図3 変位ヒステリシスの予圧による影響

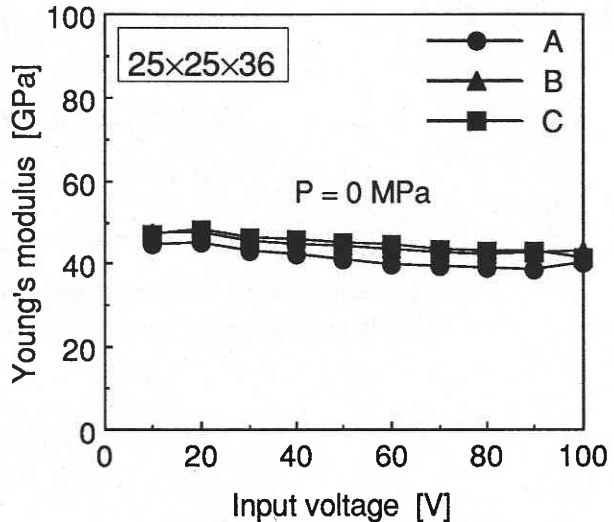


図5 縦弾性係数と入力印加電圧の関係

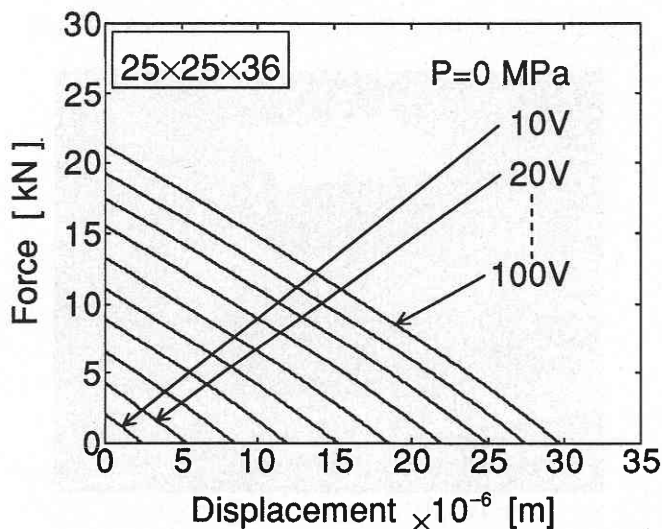


図4 発生力と変位の関係

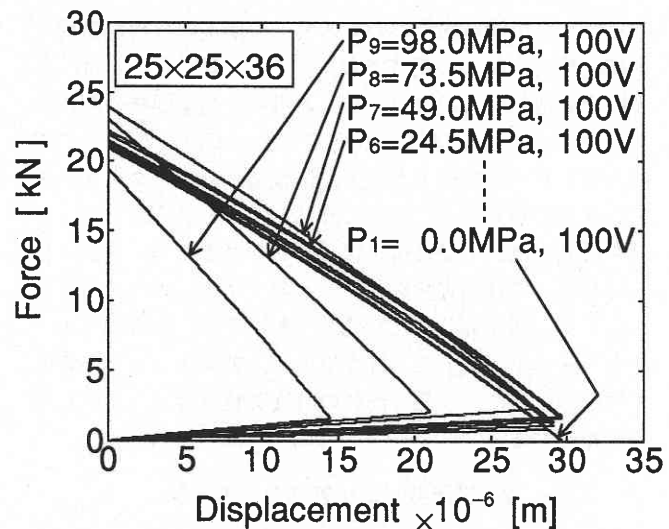


図6 発生力と変位の関係の予圧による影響

それぞれ超硬合金（鋼の2倍以上の縦弾性係数を有す）製ブロックに接着され、下端のブロックは最大秤量30 tの材料試験機のラムに固定されている。また、材料試験機のクロスヘッドには荷重計が固定されており、荷重計を介してピエゾアクチュエータをはさみ込み、加圧することが可能である。アクチュエータの変位量は、下端のブロックの左右に固定された2台の非接触型変位計により計測される上下ブロック間の変位の平均値によって計測される。また電気回路中には電圧計および電流計が挿入されており、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、ピエゾアクチュエータと同寸法の黄銅およびジュラルミンを用いた剛性測定により確認している。

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、各々について前報の10×10×18と同一の測定、すなわち、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。ただし、予圧は10×10×18では、24.5 MPaの場合から24.5 MPaごとに98.0 MPaの場合について測定したが、本報ではより実用域を考慮して、24.5 MPa以下の領域をさらに4.9 MPaごとに予圧の値を変えて詳細に測定した。

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

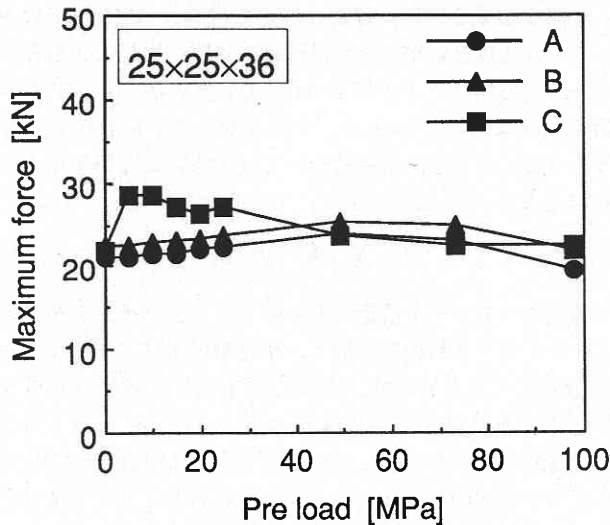


図7 最大発生力の予圧による影響

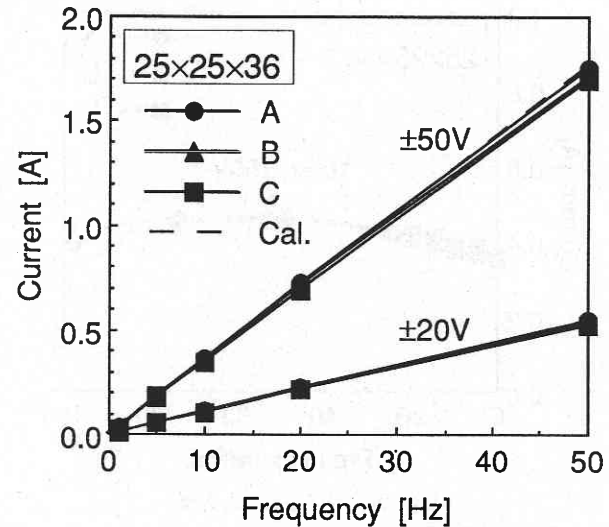


図9 電流と入力印加電圧の周波数の関係

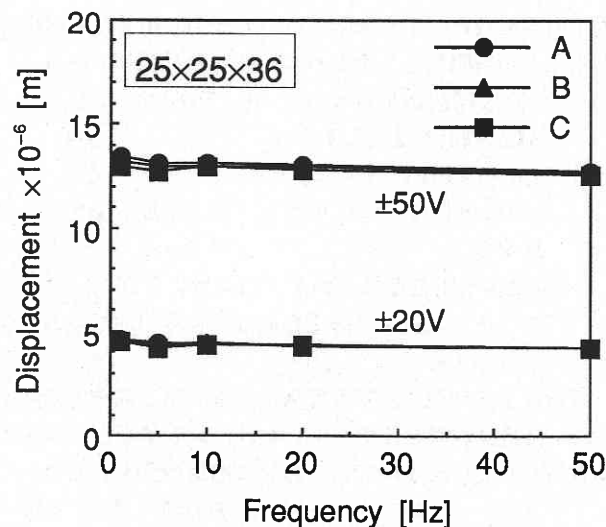


図8 変位と入力印加電圧の周波数の関係

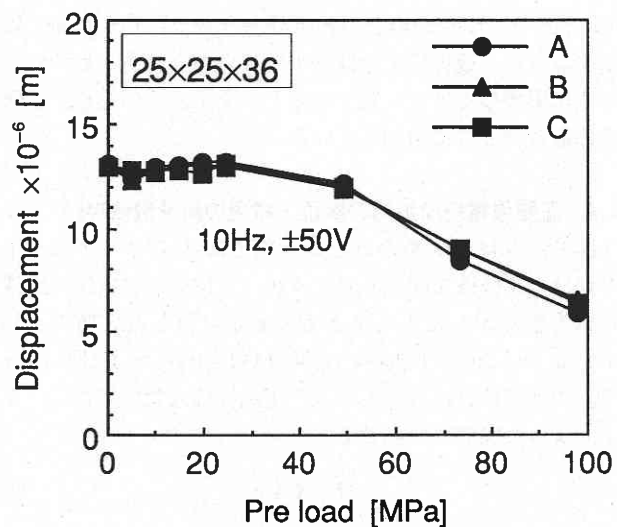


図10 変位の予圧による影響

の予圧による影響を示したもので、印加電圧には50 Vのバイアス電圧をかけている。変位ヒステリシスは予圧の増大とともに大きくなり、49.0 MPaのとき最大となる。しかしそれ以降はまた小さくなる傾向にある。一方、変位は24.5 MPa以下の予圧では変化はないが、それ以降は予圧の増大とともに減少する傾向にある。

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での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は、サンプルAの結果で、印加電圧が10 Vの場合から10 Vごとに100

Vの場合について示してある。定格電圧の100 V印加時の結果から、このアクチュエータの最大変位は29.7 μm 、また最大発生力は21.2 kNであることが判明した。10×10×18と比較して最大変位は約2倍、また最大発生力は約4.4倍である。図5は最小二乗近似により、ピエゾアクチュエータ25×25×36の縦弾性係数を求めたもので、印加電圧に依存なく概ね45 GPaで、10×10×18と比較すると25%程度小さい。

4.3 変位および発生力の予圧による影響

図6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

研究速報

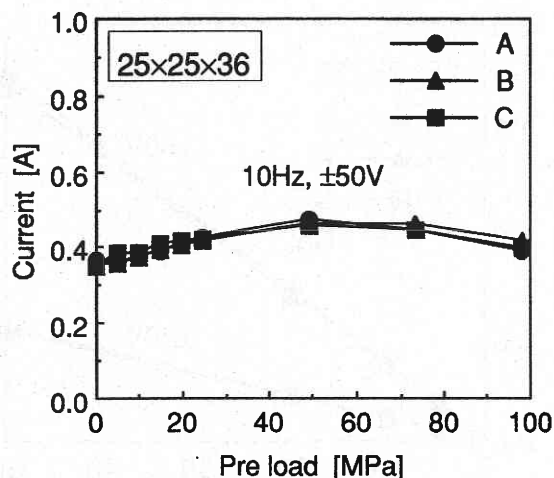


図11 電流の予圧による影響

予圧では減少し、予圧98.0 MPaのときの最大変位は14.5 μm と、予圧がない場合の約半分となった。しかし図7に示すように、最大発生力は多少のばらつきはあるものの、予圧に影響なくほぼ一定であるといえる。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8, 9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±50 Vおよび±20 V印加時の変位は約13.0 μm および4.4 μm 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。

$$I = C\dot{V} \quad (1)$$

ここで、 I は電流、 C はピエゾアクチュエータの静電容量、 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。

$$C = kV_a + C_0 \quad (2)$$

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。これら(1)、(2)式は10×10×18の場合の実験式をそのまま適用でき、本測定結果から(1)式を用いてピエゾアクチュエータの静電容量を同定すると、±50 V印加時は112.0 μF 、また±20 V印加時は86.8 μF であり、(2)式から $k = 0.94 \mu\text{F}/\text{V}$ 、 $C_0 = 70.0 \mu\text{F}$ 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10, 11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±50 V, 10 Hzの場合の結果である。4.3節

の静的な結果と同様、変位については24.5 MPa以下の予圧では変化はないが、それ以降は、予圧の増加にともなって減少してゆき、予圧98.0 MPaのときの測定に供した3個の変位は概ね6.2 μm 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25×25×36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、最大変位は29.7 μm 、最大発生力は21.2 kN、また予圧なしでの縦弾性係数は概ね45 GPaであることが判明し、10×10×18と比較して、最大変位は約2倍、最大発生力は約4.4倍、また縦弾性係数は約0.75倍であった。しかし、変位、発生力および電流の予圧や印加電圧の周波数に対する影響については10×10×18と同様であることが判明した。すなわち、以下のとおりである。

- (1) 変位に周波数依存はないが、予圧に依存し、24.5 MPa以上では減少する。
- (2) 発生力は予圧に依存しない。
- (3) 縦弾性係数は予圧に依存し、24.5 MPa以上では増加する。
- (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。

最後に本報で述べた特性実験は、本所第2部柳本研究室の30 t材料試験機を使用して行われた。末筆ながら、柳本助教教授ならびに柳本研究室の諸兄に感謝の意を表したい。

(1996年6月20日受理)

参考文献

- 1) Wada, B. K., AIAA, The 30th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, (1989).
- 2) 藤田・宮崎・村井・相沢・山本・遠山, 日本機械学会論文集中編, 61-584 (1995), 1337-1342.
- 3) 鎌田・藤田・村井・相沢・遠山, 日本機械学会第72期通常総会講演会講演論文集(Ⅱ), No. 95-1 (1995), 484-485.
- 4) 鎌田・藤田・畑山・有壁・相沢・遠山, 日本機械学会機械力学・計測制御講演会講演論文集 (Vol. A), No. 95-8 (1995), 410-413.
- 5) 鎌田・藤田・畑山・有壁・相沢・遠山, 日本機械学会第73期全国大会講演会講演論文集 (Vol. V), No. 95-10 (1995), 87-88.
- 6) 嶋崎・藤田, 生産研究, 48-6 (1996), 335-338.