

ロータ保持ならびに駆動力伝達のための伝送路先端構造について*
 -細径パイプ屈曲振動伝送路形モータ(2)-

☆平野 達也, 田村 英樹, 高野 剛浩, 青柳 学†
 (東北工業大学, †室蘭工業大学)

1. まえがき

細径パイプを屈曲振動の伝送路としてその一端に外部振動子から強い振動を加え、他端から回転を得るための構造を前報にて示した^[1]。しかしながら伝送路パイプの先端にロータを自重で乗せただけ、あるいは外部に固定されたロータに接触させて回転させる構造を用いて動作確認は出来たが、実用的な構造ではなかった。従って本続報では、細径伝送路を自由に曲げることの出来るメリットを生かすため、ロータを伝送路の先端構造で保持・予圧が可能となるようにシャフトを有する改良を施した。基礎実験として回転動作が得られたが、さらに性能向上させるための解析を行った。本報では、シャフト取り付けとパイプを伝送してきた振動を回転力に変換する部品の構造について検討した結果を示す。

2. 原理構造と試作モータによる動作検証

基本構造をFig.1に示す。振動源として屈曲一次振動の直交同形縮退モードを有する正方断面のアルミ角柱振動子を用いる。Fig.1(b)(c)に示すようにバイモルフ動作となるように対向面に圧電板を配置して電気端子Aから B_1 モード、端子Bから B_1' モードを励振出来るようにする。端子A,Bを位相差90度で駆動することでモード回転が得られる。これによって直径0.5mmの細径パイプには回転する屈曲モードが伝播して定在波となっている。ここまでは前報とほぼ同じである。

本報ではロータ取付部の構造をFig.2のように改良している。細径パイプの先端には、ロータを駆動すると共にシャフトを取り付ける台となる部品を設けている。この部品を本稿ではコンバータと称する。コンバータ先端のロータとの接触面で振動振幅の腹となる事を期待する。シャフトにも屈曲振動が生じるが、Fig.2(a)に示すようにシャフトのノード点にストップを設置し、ここからスプリングにてロータを予圧することで、伝送路パイプを自由に曲げて使用することが可能となる。

始めに本構造でロータの回転が得られるか実験的に確かめた。Fig.1に示す寸法の振動子と伝送パイプ、およびFig.2(b)のように緩い内径を持つ錘を乗せてベアリングの内輪を押すようにして予圧を与えている。

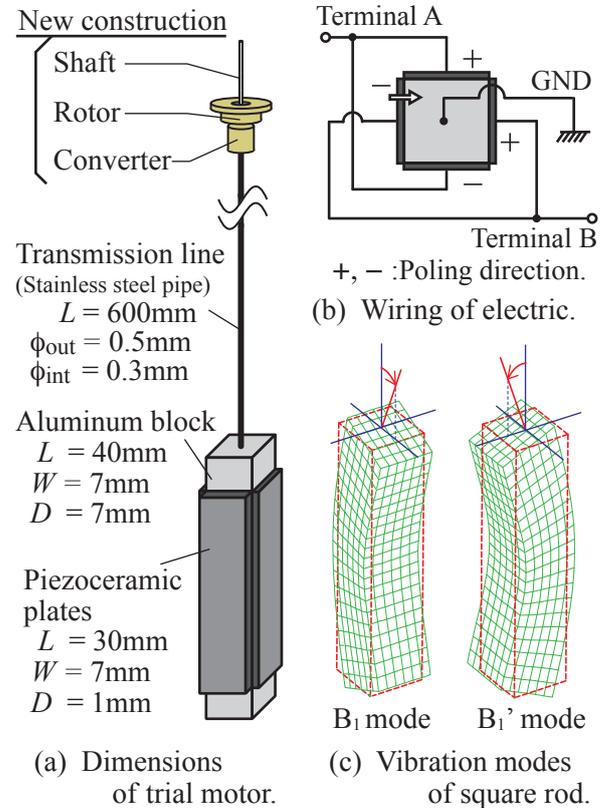


Fig.1 Construction of trial motor.

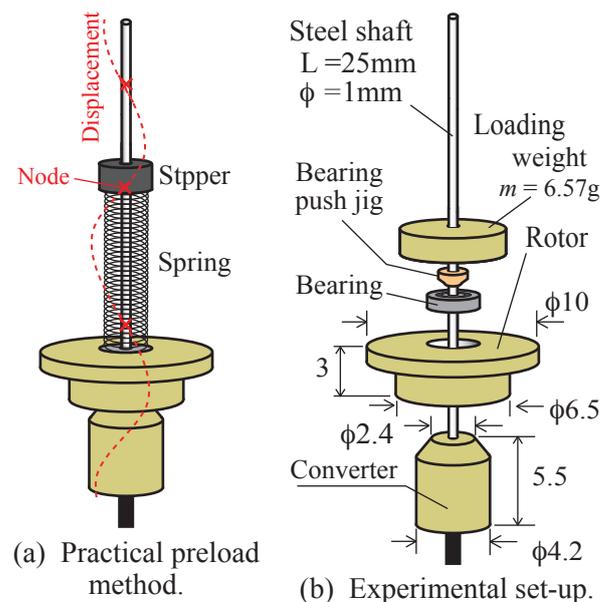


Fig.2 Preload method with shaft and the rotor-driving structure called converter.

*A study on constructions of holding and driving the rotor at the tip of the ultrasonic motor with thin-pipe transmission line, by HIRANO Tatsuya, TAMURA Hideki, TAKANO Takehiro, AOYANAGI Manabu† (Tohoku Institute of Technology, †Muroran Institute of Technology)

試作振動子の入力アドミッタンスの周波数特性をFig.3に示す。角柱振動子部は前報と同じ固定治具で側面のノード点4点をねじで押さえた状態で、またロータは取り外している。A, B相の間に1.5倍程度の差が生じており、これは主に組み立て時の構造対称性のずれ影響と、若干支持の影響も考えられる。なお、細径パイプは長さ600mmと長いため、綿棒の先を用いて柔らかく押さえるとともに途中で緩やかに2カ所を曲げている。伝送路曲げの影響は特段には見られなかったが、詳細は今後検討が必要である。

Fig.5に示す測定系を用いて、駆動周波数 $f=23.46\text{kHz}$ で入力電圧を3Vから9Vまで変えた場合の回転速度の測定結果をFig.4に示す。駆動位相の切り替えで時計回り(CW)、反時計回り(CCW)の反転動作が得られた。コンバータとロータはいずれも真鍮製であり、ロータ自重(0.96g)のみの場合と、6.57gの錘を乗せた場合の比較を示したが、今回の実験ではいずれも違いが見られなかった。加重部の不備も予想されるため、加重量を変えると同時に再評価の予定である。なお、本測定において両相の印加電圧 V_A と V_B の差は0.05V以内に抑えており、各相の駆動電圧9V、無荷重状態にて入力電流は $I_A=11.87\text{mA}$ 、 $I_B=11.62\text{mA}$ 、消費電力 $P_A=29\text{mW}$ 、 $P_B=69\text{mW}$ であった。

3. 振動状態の解析

前記のように先端シャフトを有する構造において反転可能な回転動作が確認された。しかしながらトルクは未計測ながら微弱であり、一般的に特性の向上が必要である。そこで、まず試作構造の振動状態について解析的に確認を行った。COMSOL Multiphysics 4.0aを用いたFEMによる周波数応答解析から得た、Fig.1-2モデルの x 方向振動変位振幅の分布をFig.6に示す。細径パイプ伝送路の内径である $x=0.15\text{mm}$ について変位 u_x を、 z 軸に沿って表示したが、伝送路の途中については省略した。コンバータ部から先は拡大表示としている。

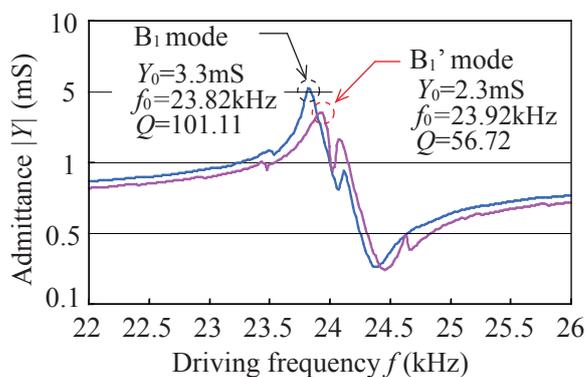


Fig.3 Frequency response of input admittance.

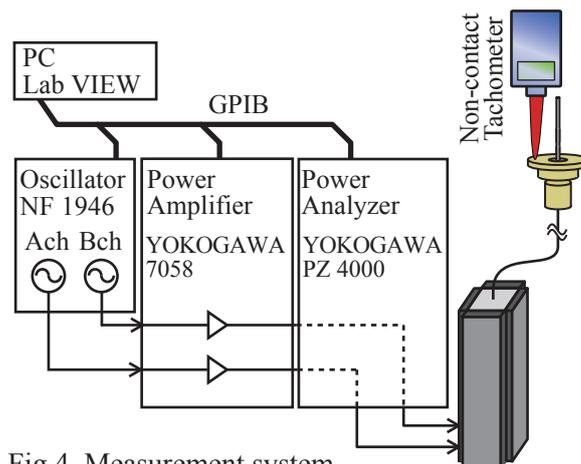


Fig.4 Measurement system for motor characteristics.

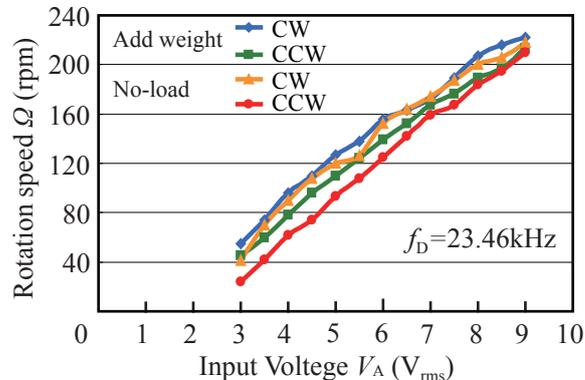


Fig.5 Experimental result of the trial motor.

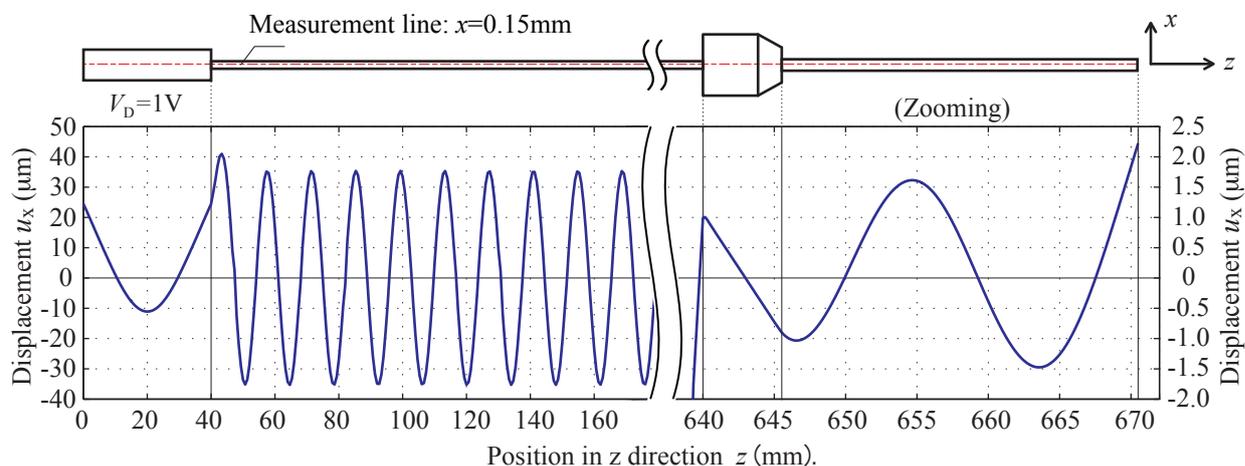


Fig.6 Analyzed result of bending displacement in x direction of the structure with trial dimensions.

Table 1 Material constants for analysis.

	Brass (C2600)	Aluminum (3003-H18)	Steel (AISI-4340)
Density(kg/m ³)	8500	2730	7850
Young's module(GPa)	110	69	205
Poisson's ratio	0.35	0.33	0.28

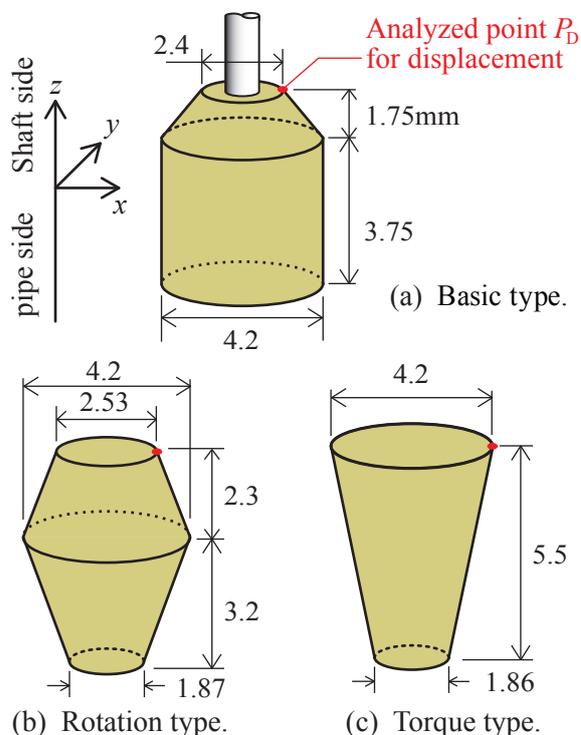


Fig. 7 Dimensions of analyzed converters.

これより、伝送パイプの定在波振幅が $35\mu\text{m}$ 程度であっても、コンバータ部の前後では高々 $1\mu\text{m}$ 程度しか変位していない。また、その割にシャフト先端での変位が大きいのは適当とは考えられない。従って、コンバータ部の形状によってこれらの振動状態が改善できるかどうかを検討した。

4. コンバータ形状

実験で試行的に用いたFig. 7(a)の形状では、コンバータのおおよそ中間部に振動のノードが位置しており、すなわちこのコンバータを x 軸や y 軸周りに回転させている。この変位が小さく、すなわち動かしづらいのであるから、一つにはコンバータの慣性モーメントを小さくするようにしてFig. 7(b)の形状を定めた。あるいは、細線からの振動を受けるにあたって急に線路特性が変わるのは振動エネルギー伝播を考えた場合に好ましくないとして、Fig. 7(c)のように細線側から負荷側になだらかに径が増大する形状も検討した。なお、今回は基本形状の寸法を基に z 方向長さ 5.5mm と最大径 4.2mm を一定とした。従って最適条件を探索する段階ではなく、特徴的な形状に関する傾向を明らかにすることを目的とした。

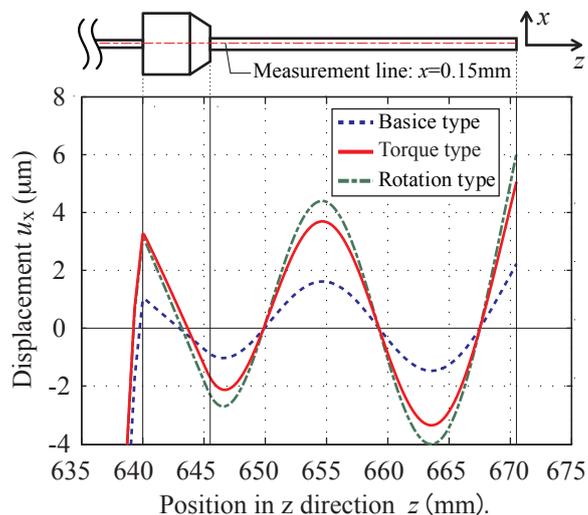


Fig. 8 Analyzed result of bending displacement in x direction using various type converters.

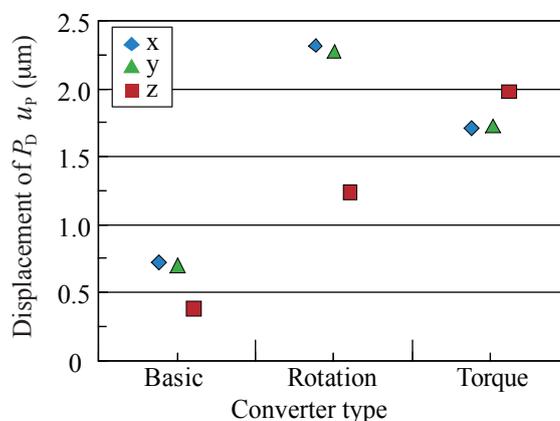


Fig. 9 Analyzed result for comparison of the vibration displacement with the converters.

各コンバータを用いた場合の、中心軸付近の x 方向変位分布の解析結果をFig. 8に示す。改良型コンバータのいずれも、基本形の場合に対して細線側入力部も駆動側出力部も両方の変位が増加している。ここで、Fig. 7に示すロータ駆動点 P_D に注目すると、駆動径が大きくなっていることもありFig. 9に示すように駆動点変位の顕著な拡大が確認される。しかしながら、Fig. 8で明らかかなように、コンバータの出力側変位の増大に伴ってシャフト変位も大きく増加している。これは予圧機構としてノード点を用いるとはいえ、わずかなずれが全体の動作特性にも大きく影響することが懸念されることから、好ましくない特性と考えられる。

従って次には、シャフト変位を減少させるために、Fig. 10に示す構造を提案する。Fig. 7の構造を元に、コンバータの駆動端面が大きく変位しても、シャフトに直接その変位が伝わらないように溝を入れて変位の緩和を試みた。構造としては逃がし穴を明けて、その奥底部にシャフトを固定する。その結果をFigs. 11-12に示す。

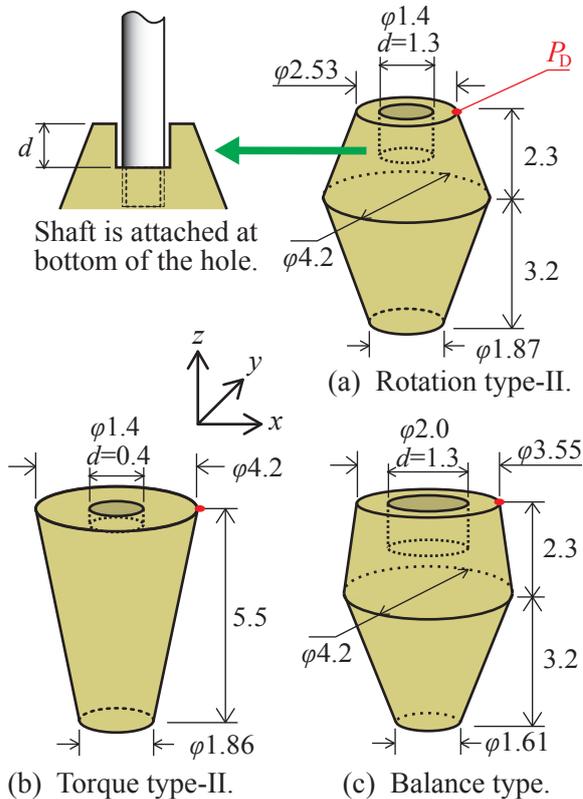


Fig.10 Dimensions of improved converters.

改良型コンバータを用いた場合には、基本型と比べて、入力部の変位が増大しているにもかかわらず、シャフトの変位はいずれの場合も同程度に抑えられていることが認められる。にもかかわらず、モータ駆動部である点 P_D の変位は改良型コンバータにおいて基本型よりも大きな変位が得られている。また、Fig.10(a)と10(b)のタイプでは変位の絶対値だけでなく、 x - y 面内変位に対する垂直 z 変位の比率が異なる。従って、今後の実験では双方の改良型コンバータによる駆動特性の比較を行う予定である。加えて、Fig.10(a)と10(b)の中間としてFig.10(c)のように寸法調整を行うと、駆動点の面内-面垂直変位成分をバランスさせることが出来る。

7. まとめ

直径0.5mmの細線パイプ伝送路を用いて狭部への回転動力導入を目指した構造の改良検討を行った。細線パイプを比較的自由に曲げて使用できるメリットを生かすために、モータ先端部にシャフトと予圧を可能とする構造を設けた。

コンバータと称する伝送路先端構造について、モータ駆動点での変位を大きく、かつシャフトの変位を抑えるための形状をFEM解析によって検討した。

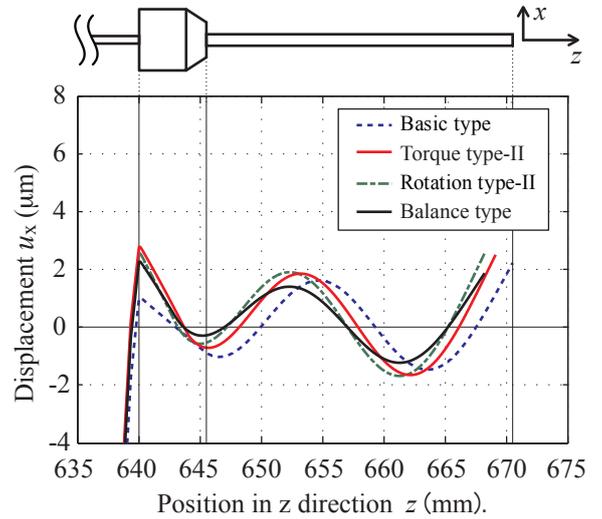


Fig.11 Analyzed result of bending displacement in x direction using improved converters.

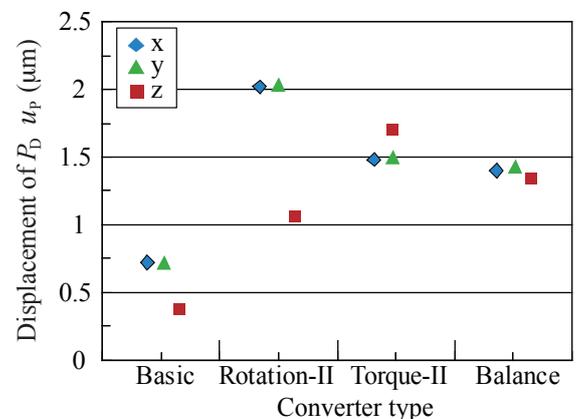


Fig.12 Fig.9 Comparison of the vibration displacement with the improved converters.

コンバータ構造を、(i)慣性モーメントを小さくする設計、(ii)細線パイプ側から負荷側に徐々に径を大きくする構造、によって駆動点変位拡大の効果を得た。加えて、シャフト取り付け部に逃がし穴を設けて、シャフト変位と駆動点変位を分ける事によって、駆動点変位を大きくしつつシャフト変位を抑えられるとの設計指針を得た。

今後は、本解析結果を基に試作を行い、各コンバータ形状によるモータ特性の違いについて実験的に評価する。さらにその結果もフィードバックしつつ、最適構造設計については検討を続けたい。

参考文献

- [1] 平野、田村、高野、青柳:「細径パイプ伝送路の両端に矩形振動子とロータを配置した超音波モータの試作」, 音講論2010年秋, pp.1235-1236.