G030054

フレキシブルシャフトの非線形ねじり特性に関する研究

田宮 高信^{*1}, 浅野 瑞^{*2}, 田中 英一郎^{*3}, 池原 忠明^{*1}, 宮川睦巳^{*1}, 鈴木拓雄^{*1}, 杉本聖一^{*1}

Study on Non-Linear Twisting Properties of Flexible Shaft

Takanobu TAMIYA^{*1}, Mizuki ASANO^{*2}, Eiichirou TANAKA^{*3}, Tadaaki IKEHARA^{*1},
Mutsumi MIYAGAWA^{*1}, Takuo SUZUKI^{*1}, and Seiichi SUGIMOTO^{*1}^{*1} Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology
Minamisenju 8-17-1, Arakawa-ku, Tokyo, 116-0003 Japan

Flexible shaft is bent elastically, and then it is possible to change the direction of power transmission freely. It consists of some layers of wires those are rolled alternately around the core. Due to the construction, twisting properties are strongly depending on the direction in which the wires of external layer rolled. In this study, we measure the twisting properties of flexible shafts for both directions; one is the direction of the external layer rolled and one is opposite. Experimental results show the twisting property is independent of the length of the shaft and bending-radius. The second rigidities are completely different depending on the twisting direction. In the case of shafts those have use history, the second rigidity is got smaller and width of the first rigidity is got larger.

Key Words : Flexible shaft, Torsional rigidity, Twisting property, Two-way revoution

1. 緒 言

フレキシブルシャフトは可撓軸、たわみ軸とも呼ばれ、コイル状の鋼線を複数層にわたって交互に巻き付けた構造をしている(図1). その構造上、フレキシブルシャフトは回転方向によってねじり特性が大きく異なるため、一般には芝刈り機などのような単一方向に連続運転される機器で用いられてきた. しかしながら、両方向回転に対応するフレキシブルシャフトも市販されており、そのような応用も見られる. 図2に示すように、報告者らは歩行補助機の開発においてフレキシブルシャフトを用い小型・密着型を実現している⁽¹⁾. 図の歩行補助機は、アクチュエータ、電源および制御システムをバックパックに集約し、動力伝達にフレキシブルシャフトを用いることにより小型化を可能とした. 小型化により着衣の下に装着することもできる. このようにフレキシブルシャフトの応用可能性は広範であり、機械的性質を明らかにすることは有効と考えられるが、両方向のねじりを対象と

Fig. 1 Construction of a flexible shaft

Fig. 2 Walking assistance device applied flexible shafts⁽¹⁾

^{*1} 正員, 都立産業技術高等専門学校 (〒116-0003 東京都荒川区南千住 8-17-1)

^{*2} 山形大学 大学院

^{*3} 正員, 芝浦工業大学, システム理工学部

E-mail: t-tamiya@acp.metro-cit.ac.jp

Fig. 3 Test set up

した研究は限定的である⁽²⁾。そこで本報では、両方向ねじりを対象に実験を実施した結果を報告する。

2. 実験方法および装置

実験は図3に示す装置を定盤の上に据え付けて行った。ねじりモーメントは図中のトルク入力装置によりおこなう。本装置ではねじれ角表示板がプーリになっており、プーリへおもりを垂下することによりねじりモーメントが入力される。また負荷されるねじりモーメントの測定はひずみゲージ式の静トルク計を製作し行った。トルク計の精度は測定により誤差率が1%未満であることを確認している。トルク入力装置およびトルク計は軸受の役割を兼ねており、定盤への固定はマグネットベースによりおこなわれる。マグネットベースを用いることにより固定位置は可変であり、シャフトの長さや曲げ半径を変化させた実験が容易である。固定時は曲げ半径を制御するためゲージを作成して用いた。測定では負荷したねじりモーメントと発生したねじれ角の関係を読み取った。実験には昌和発條製作所製CS-06F（両回転用）を用いた。本シャフトの構造はコアに対して側線が3層巻き付けられており、剛性に大きな影響を及ぼす最外層の巻方向はシャフトに向かって右向きである。

実験は、最外層の巻方向に一致する右方向および逆方向である左方向の両方向を対象とした。シャフト長は0.65m, 1mの2種類とし、曲げ半径は無限大（直線配置）、0.3mの2通りとした。また、使用履歴の影響を検討するため、使用履歴のないシャフトのみでなく、歩行補助機で用いたシャフトを取り外して実験に供した。なお本報では、実験結果としてねじりモーメントの負荷入力時のみの結果を示す。

3. 実験結果および考察

3・1 使用履歴のないシャフトの比較

図4に実験結果を示す。図中、縦軸はねじりモーメント、横軸はねじれ角である。また、正のねじれ角は右方向（最外層線が縮まる方向）のねじり、負のねじれ角は左方向（最外層線がゆるむ方向）のねじりである。

図よりフレキシブルシャフトのねじり特性には大きな非線形性が確認できる。ねじり剛性を示すグラフの傾きは、ねじりモーメントの小さい領域では小さく、大きくなるにしたがって大きくなった。これはフレキシブルシャフトに巻かれた側線間の接触状態に依存することが知られており、それぞれ第一種剛性、第二種剛性と区別して扱われる⁽³⁾。

また、長さと曲げ半径がそれぞれ異なる結果であるが、図は概ね一致しており長さと曲げ半径はねじり特性に大きな影響を及ぼさず、ほぼ同等になることが確認できる。

第二種剛性はねじりの方向によって大きく異なることが確認できた。フレキシブルシャフトの剛性は最外層線の巻き方向の影響大きいことが知られており、図では右方向にねじると最外層線が絞まり内側の層と接触することにより剛性を増すためと考えられる。

以上のことから、第二種剛性を定量的に評価するため、実験結果から第二種のねじり剛性を算出した。算出した結果を表1に示す。

第二種剛性を比較すると、右方向ねじりで $1.7 \text{ Nm}^2/\text{rad}$ 程度、左方向ねじりで $0.61 \text{ Nm}^2/\text{rad}$ 程度となり、比較的

Fig. 4 Twisting properties of the flexible shaft (Experimental results for un-used shafts)

Table 1 Torsional rigidities of flexible shafts obtained from experiments

Direction of Rotation	Left				Right			
Length of Shaft [mm]	650		1000		650		1000	
Bending Radius [mm]	∞	300	∞	300	∞	300	∞	300
Torsional rigidity [Nm^2/rad] (The second rigidity)	0.614	0.612	0.602	0.605	1.70	1.74	1.68	1.71

Fig. 5 Twisting properties of the flexible shaft (Experimental results for used shafts)

ばらつきの小さい結果が得られた。第二種剛性の範囲は側線間の接触が十分に密になった状態であり、第一種剛性範囲に比べて接触条件の影響によるばらつきは小さくなると考えられる。また、第二種剛性はねじりの方向によって3倍程度の変化があることが分かった。

以上の結果は実験により得られたものであるが、会田らはフレキシブルシャフトのねじり剛性を算出する理論

Table 2 Comparisons of torsional rigidities between Use/Un-used shaft

Length [m]	0.65				1.00			
Status	Un-Used		Used		Un-Used		Used	
Direction of Rotation	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right
Torsional rigidity [Nm ² /rad] (The second rigidity)	0.614	1.70	0.599	1.40	0.602	1.68	0.518	1.39

を明らかにしている⁽⁹⁾。会田らの研究は最外層線の巻方向のみを対象としていることから、本報のような両回転ねじりを対象とした理論解析が重要な課題である。

3・2 使用履歴の影響

図5は使用履歴のあるシャフトに対してねじり特性を測定した結果である。実験は長さの異なるシャフトについて曲げ半径を無限大（直線配置）としておこなった。なお、図5(b)については横軸の大きさが他と異なっているので注意を要する。

図5(b)で特に顕著に表れているように、使用履歴のあるシャフトでは傾き（ねじり剛性）の小さい第一種剛性範囲が大きく延長される傾向が観察された。これは側線が摩耗により、3層に巻かれた側線間にわずかながら間隙を生じ、第一種剛性から第二種剛性へ遷移するまでに要するねじり角が変化したことによると考えられる。図5(a)ではこの傾向が明瞭ではないが、実験結果を比較するとこのような傾向があるようである。

表2は、第二種剛性を実験結果から算出した結果である。表には比較のため、同じ条件で実験をおこなった使用履歴のないシャフトの結果を再掲してある。

表より、右ねじり・左ねじりとも使用履歴のあるシャフトにおいて、使用履歴のないシャフトに比べて第二種剛性が低下していることがわかる。この原因として側線の摩耗が挙げられ、二通りの影響を及ぼすものと考えられる。第1の影響は、摩耗による側線断面積の減少による各側線の剛性の低下である。また第2の影響は、ねじりモーメントを受けてシャフト全体が締まった状態におけるシャフト全体の径、すなわち最外層線のピッチ径が減少することによる剛性の低下である。これらの影響について具体的に検討するのは今後の課題となるが、その場合、側線のそれぞれの摩耗量を定量的に評価すること、また前節で述べた理論解析を進めることが具体的に検討すべき課題としてあげられる。

なお、本研究で用いた使用履歴のあるシャフトは具体的な使用履歴が不明であり、定量的な評価についても課題が残っている。使用履歴の影響についての定量的な評価を今後の課題とする。

4. 結 言

著者らが歩行補助機に応用しているフレキシブルシャフトを対象に両方向ねじり試験を実施し、ねじり特性、特にねじり剛性について検討した。結果として以下の知見が得られた。

1. シャフトが未使用の場合、ねじり特性は長さや曲げ半径に関わらず、同等である。
2. 第二種剛性はねじり方向によって大きく異なる。実験対象としたシャフトでは約3倍となった。
3. シャフトに使用履歴の影響は、第二種剛性の低下および第一種剛性範囲の延長に現れる可能性を指摘できる。
4. 使用履歴の影響についての定量的な検討は今後の課題である。

文 献

- (1) 池原忠明, 田中英一郎, 永村和照, 田宮高信, 深谷直樹, "脚部密着型歩行補助機の開発", 日本設計工学会誌, Vol. 44, No.8, (2009), pp.458-464.
- (2) 浅野瑞, 田宮高信, 田中英一郎, 池原忠明, "フレキシブルシャフトの両回転ねじり特性の測定", 日本機械学会年次大会講演論文集, Vol.2011, S111053, (2011), CD-ROM
- (3) 会田俊夫, 佐藤進, 中井幹雄, 中石侃宏, "たわみ軸のねじり特性について", 材料, Vol.15, No.153, (1966), pp.410-417