

玉軸受用における各種射出成形樹脂保持器の剛性評価と高速回転試験評価

Evaluation of Rigidity and High-Speed Rotation Test of Various Injection Molded Resin Cages for Ball Bearings

富山県立大・院（学）*磯野 冬斗 富山県立大・工（正）宮島 敏郎
 テー・シー・富山（正）齋藤 重正 テー・シー・富山（非）舟戸 保典

Fuyuto Isono*, Toshiro Miyajima*, Shigemasa Saito**, Yasunori Funato**

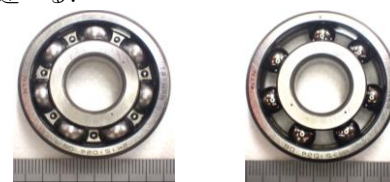
*Toyama Prefectural University, **T・C・Toyama Co., Ltd.

1. はじめに

玉軸受の構成部品である樹脂保持器は、使用時の形状安定性や剛性を必要とされるため、一般的に強化繊維を混合して射出成形される。強化繊維には様々な種類があり、樹脂保持器に使用される繊維としては、ガラス繊維や炭素繊維、チタン酸カリウム繊維などがある。また、近年では、樹脂との複合化によって剛性向上が可能とされている、セルロースナノファイバー（以下、CNF）¹⁾も注目されている。そこで著者の研究室では、各種射出成形樹脂保持器を作製し、様々な評価^{2,3)}をしてきた。本発表では、小型の量産用射出成形機を用いて様々な強化繊維を含有した樹脂保持器を射出成形し、その樹脂保持器を用いて、玉軸受への組込み試験による保持器剛性評価と、その樹脂保持器を組込んだ玉軸受を用いて、高速回転試験による軸受温度測定評価を行った結果を述べる。

2. 試験用玉軸受について

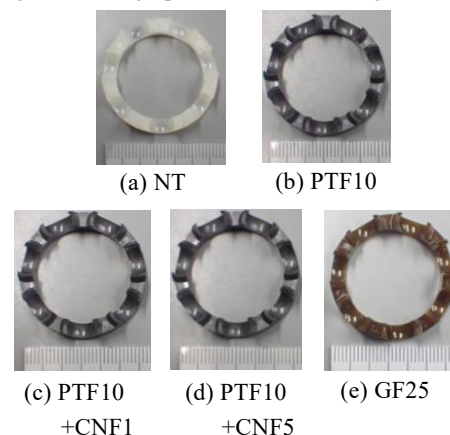
試験には、市販の深溝玉軸受 6302（外径 42 mm，内径 15 mm）を用いた。その外観写真を Fig. 1 (a) に示す。リベット部分を精密卓上ドリルで取り除き、金属保持器を外したもの（Fig. 1 (b) 参照）を用いた。



(a) With metal cage (b) Without metal cage
 Fig. 1 Photographs of the ball bearing 6302

3. 供試材料

樹脂保持器は、小型の量産用射出成形機を用いて研究室で成形した。成形した樹脂保持器（外径 33 mm，内径 25.5 mm）の外観写真を Fig. 2 に示す。樹脂保持器は、冠型形状とし、次の 5 種類を用意した。(a) PA66 系樹脂ペレットから成形した強化繊維を含まない保持器（以下、NT），(b) チタン酸カリウム繊維（繊維直径 0.3~0.6 μm）を重量比 10 % になるように成形した保持器（以下、PTF10），(c) PTF10 に CNF（繊維直径 10~50 nm）を重量比 1 % 混合するように成形した保持器（以下、PTF10+CNF1），(d) PTF10 に CNF を重量比 5 % 混合するように成形した保持器（以下、PTF10+CNF5），(e) ガラス繊維（繊維直径約 7 μm）を重量比 25 % 含有した PA66 系樹脂ペレットから成形した保持器（以下、GF25）である。これらの樹脂保持器に吸湿処理と乾燥処理をして試験に用いた。



(a) NT (b) PTF10 (c) PTF10+CNF1 (d) PTF10+CNF5 (e) GF25
 Fig. 2 Photographs of the specimen

4. 樹脂保持器の軸受組込み試験による剛性評価

4.1 試験機および試験方法

冠型保持器の場合、高速回転時の遠心力に対する剛性が重要になる。一般的に、平板曲げ試験などで剛性を評価されるが、射出成形樹脂の場合、製品の形状、金型・成形条件といった成形状態により、強化繊維の配向性や分散性が異なるため、実製品の剛性と違う点が生じる。そこで、研究室では、実際の樹脂保持器を用いて評価することを検討し、保持器組込み挿入力評価試験機を製作し、玉軸受に樹脂保持器を組込む際の挿入力と変位の測定^{2,3)}を行った。装置の概略図を Fig. 3 に示す。試験方法は以下のとおりである。ハンドプレス機のステージ上に置いた玉軸受の上に樹脂保持器を載せ、その上にアルミ板を載せる。レバーを下すことで樹脂保持器が玉軸受に組込まれる。この時、押し込んだ際の力とレバーの変位量をデータロガー経由で PC に取り込み、押し込みによる変位と力の関係を求めた。

4.2 試験結果および考察

押し込みによる変位と力の関係を Fig. 4 に示す。組込む際に樹脂保持器の爪部分が変形したと考えられる変位位置（①～②）を樹脂保持器ごとに定めた。その直線の傾きを最小二乗法によって求め、荷重／変位をばね定数として評価した。その結果を Fig. 5 に示す。PTF を含む樹脂保持器では、GF25 よりもばね定数が低くなった。一般的に、強化繊維直径が細いと、曲げ剛性が低下するとされる。PTF のチタン酸カリウム繊維は、GF のガラス繊維の数十分の一となる微細なサイズである。そのため、本樹脂保持器においても、繊維の変形能により、低いばね定数になったと考えられる。一方、PTF10 に CNF を充填した、PTF10+CNF1、PTF10+CNF5 では、CNF の充填率の上昇に伴い、ばね定数が

高くなった。CNF は、非常に高い剛性を有すると言われる。そのため、ナノサイズ効果（高比表面積、高アスペクト比）による CNF 自体の剛性や、樹脂や他の繊維との界面接着性の向上が、保持器の剛性向上に寄与したと考えられる。

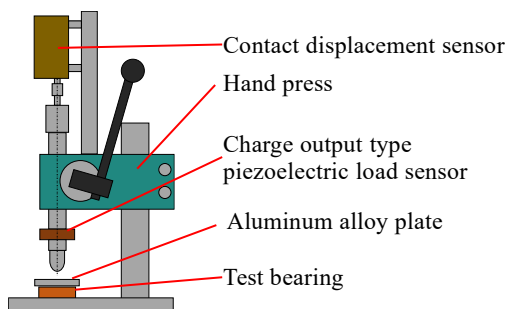


Fig. 3 Schematic view of the testing machine to measure insertion force of cage

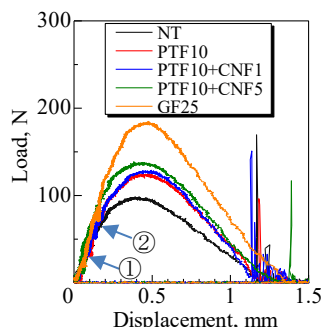


Fig. 4 Relationships between load and displacement

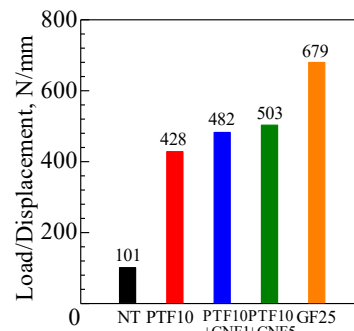


Fig. 5 Variation of load / displacement

5. 樹脂保持器を用いた高速回転試験

5.1 試験機および試験方法

高速回転試験には、研究室で製作した高速玉軸受回転試験機^{2,3)}を用いた。装置の概略図を Fig. 6 に示す。試験方法は次のとおりである。試験前に、樹脂保持器を組込んだ玉軸受を油に一定時間浸した。その玉軸受を熱電対が貼り付けられたセットカラーに取付け、垂直荷重⁵ N を負荷し、回転速度を段階的に上げながら 20000 rpm で回転させた。20000 rpm 到達から 3 時間の間、熱電対から試験時の温度を測定した。なお、サンプリング周期は 200 ms とした。

5.2 試験結果および考察

1 回目の試験時間に対する温度変化を Fig. 7 (a) に、2 回目の試験時間に対する温度変化を Fig. 7 (b) に示す。1 回目の PTF10+CNF5 を除く樹脂保持器では、20000 rpm 到達まで類似した挙動を示したが、20000 rpm 到達以降、変化が大きく異なった。玉と内外輪との摩擦の他に、樹脂保持器の変形による玉との接触状態の変化や外輪との接触等が生じることで摩擦熱が発生し、樹脂保持器温度が樹脂のガラス転移温度に近づいた可能性がある。

次に、回転試験後の樹脂保持器の外観をマイクロスコップで観察した。その一例を Fig. 8 に示す。1 回目の PTF10+CNF5 を除く保持器では側面に擦過痕がみられた。また、一部の樹脂保持器では、外側に花びら状に開く変形がみられ、それに伴い内輪側から外輪側にかけて亀裂や割れが生じていた。これらの損傷状態と温度上昇の関係性については、今後の検討課題である。

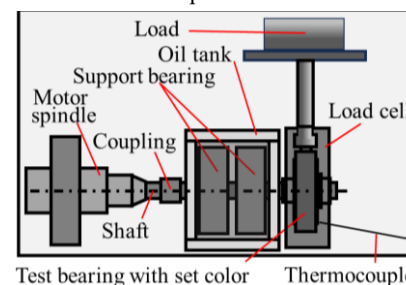


Fig. 6 Schematic view of the high-speed ball bearing rotation tester

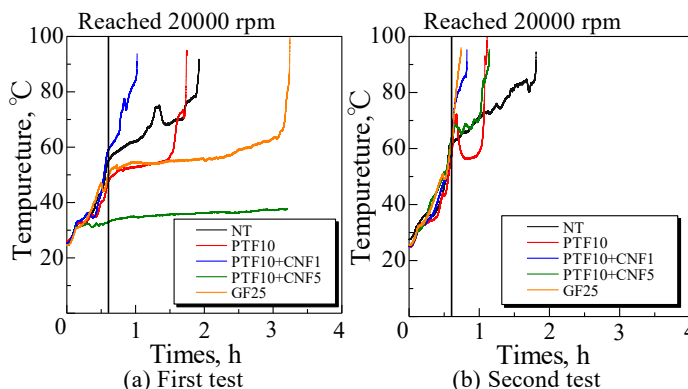


Fig. 7 Relationships between times and various temperature

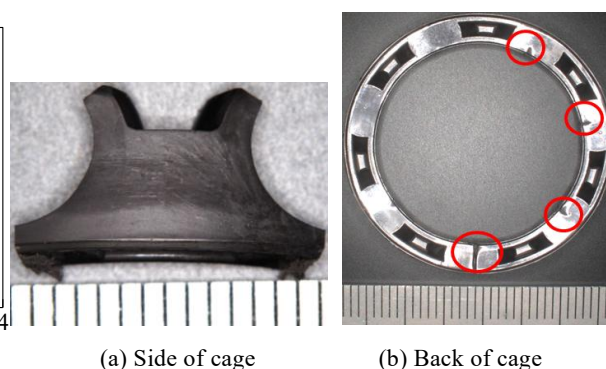


Fig. 8 Microscope images of PTF10+CNF1 after test (1 scale=1 mm)

6. おわりに

本研究では、GF25 が最も高い剛性を示し、また、CNF の充填率が高まるにつれて剛性の向上がみられた。荷重を加えた高速回転試験において、20000 rpm 以降に温度変化や損傷状態（亀裂・擦過痕の有無）に違いが見られた。今後は温度上昇と損傷発生の関係性を詳細に調べていく予定である。

文献

- 1) 榊原：セルロースナノファイバーの基礎と応用，科学と教育，第 70 巻，第 1 号（2022）279-301.
- 2) 宮島，武村ほか：玉軸受用繊維強化 PA66 射出成形樹脂保持器の組込み挿入力評価と軸受回転試験評価，トライボロジー会議 2024 春 東京（2024）A20.
- 3) 小林，宮島ほか：玉軸受用各種繊維充填 PA66 射出成形樹脂保持器の組込み挿入力評価と軸受回転試験評価，トライボロジー会議 2024 秋 名護（2024）A50.