

タイミングチェーン用テンショナへのテクスチャリング効果

Effects of surface texturing on reliability of timing chain tensioner system

大同工業(株) (正) *関 秀明 (非) 山口 真平 (非) 大坂 悠馬 名城大(正) 宇佐美 初彦

Hideaki Seki*, Shinpei Yamaguchi*, Yuma Osaka* and Hatsuhiko Usami **

*Daido Kogyo, Co., Ltd., **Meijo University

1. はじめに

自動車のエンジンに使用されるタイミングチェーン用テンショナは、テンショナアームを介してタイミングチェーンに張力を付与することでチェーンの振動抑制の役割を担う。これにより、クランクシャフトとカムシャフトの位相変化を抑制し正常な燃焼を維持する。現在、テンショナ機構は油圧減衰が主流であるが、温度による油剤粘性の変化、すなわち減衰特性の変化が問題となる。さらに、油剤の汚損や油剤への気泡の混入（エアレーション）等の異物混入による作動不良が発生し、異音やチェーンの歯飛び、破断等によりエンジン性能の低下や喪失する場合がある¹⁾。

一方、ゼンマイばね板間の摩擦による振動減衰を応用し、油剤の粘性減衰を利用しない機械式テンショナ（ゼンマイばねテンショナ）も開発されている²⁾。油剤特性が性能に直接関与しないため、前述の油剤の特性変化に起因する不具合は回避でき、温度環境や回転数の変化の影響を抑制することで特性を維持できる。さらに、油剤を使用しないのでオイルポンプの駆動負荷も軽減できる。しかし、ゼンマイばねテンショナの場合、エンジン回転数等の稼働条件変化や経年劣化に対して摩擦抵抗変化の抑制がその性能を維持する上で重要である。

摩擦特性を安定させる手法として表面形状の制御、すなわち、テクスチャリングが挙げられる。ディンプル形状のテクスチャリングによる摩擦改善効果が多数報告されているが³⁾、微細溝の付与による凸型テクスチャに関する効果も解析されており、シミュレーションによって摩擦係数が低減されることが示唆されている⁴⁾。さらに凸形状による摺度面のなじみ性の向上や油の流入による冷却効果、動圧発生部の分散による摺接面の荷重の均衡効果も報告されている^{5, 6)}。摩耗粉の捕集排出と凸部への油剤染み出し効果、および凝着部の成長抑制の観点からは凸型テクスチャのほうがゼンマイばねテンショナの特性改善に有効である可能性は高い。

本報告では、ゼンマイばねテンショナの摺動部に電解研磨による凸型テクスチャを付与し、その性能について、実機を模擬した耐久試験を実施し検討した結果を報告する。

2. ゼンマイばねテンショナの構造

図1は自動車エンジン内部のテンショナの装着位置の模式図である。図示のごとく、テンショナアーム及びテンショナは、エンジン運転時のカムシャフト駆動トルクの変動に起因する張力変動によるチェーン振動を抑制するため、クランクスプロケットの噛み離れ側に位置する。テンショナはチェーンが張った際にはその力を吸収し、チェーンが緩んだ際には微張力を付与することで弛みを抑制し、チェーンがスプロケットに正常に噛み合うようにする役割を担う。ゼンマイばねテンショナの模式図が図2である。ゼンマイばねテンショナは、長手方向に往復運動可能なプランジャが挿入されたシリンダボディと、外端がプランジャに固定され、内端がシリンダボディに固定された拡張方向力を発生する密着巻きされたゼンマイばねと、ゼンマイばねに内装され一方の端点がシリンダボディに固定された拡張方向を担う板バネ（バックアップスプリング）から構成される。



図1 テンショナの装着位置

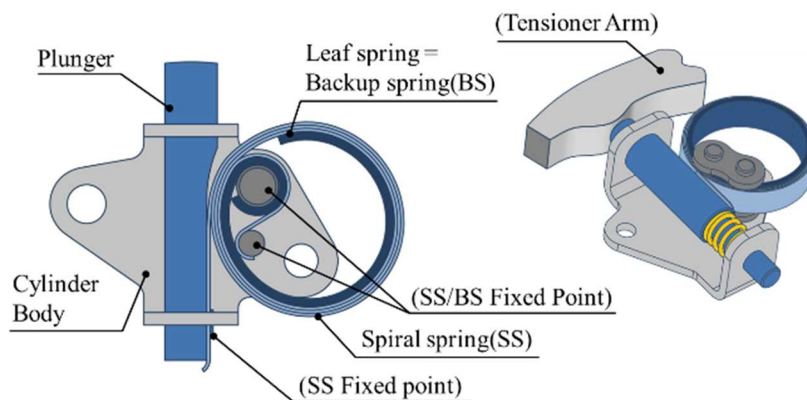


図2 テンショナの構造と名称

チェーンが張り、テンショナアームを介してプランジャを押し込む方向に力が発生した際には、ゼンマイばねの外端がプランジャの押し込みに合わせて引き込まれることでゼンマイばねは縮径する。この時バックアップスプリングがゼンマイばねの内側から縮径抑制方向の抵抗が生じ、プランジャの押し込み抗力を発生する。一方でチェーンが緩んだ際には、バックアップスプリングはゼンマイばねの板間の摩擦力によって拡張抵抗は抑制され、ゼンマイばねは外側から巻き解かれるように拡張する。このため、プランジャはゼンマイばねの拡張力で突出しチェーンの弛みを抑制するように微張力を与える構造である。

3. 試験サンプルと実験方法

試験サンプルは、プランジャと板厚 2 mm×幅 15 mm のバックアップスプリング、板厚 0.5 mm×幅 10 mm のゼンマイばね（材種 SK85-CSP、硬さ 420 HV、板幅方向表面粗さ 0.12 μmRa ）とこれらを保持しエンジンと固定するシリンダボディから成り、その外観は図 3 に示す。テンショナはプランジャを押し込んだ際に最大反力が 300 N となるように特性を設定した。このとき、ゼンマイばねの巻き数は 2 巻き、バックアップスプリングの平均外径は $\phi 35$ mm である。ゼンマイばねの板間面圧は圧力測定フィルムを用いて測定した結果、最大は A 点で約 22 MPa、B 点で 10 MPa であった。ゼンマイばねの一表面に、電解研磨によって凸部直径が $\phi 1$ mm、高さ 14 μm 、突起面積率 65 % のテクスチャを付与した。テクスチャの、模式図と突起の光学顕微鏡像および表面形状が図 4 である。突起は千鳥状に配列されている。テクスチャを付与しない未処理面との比較によって、その性能を検討した。

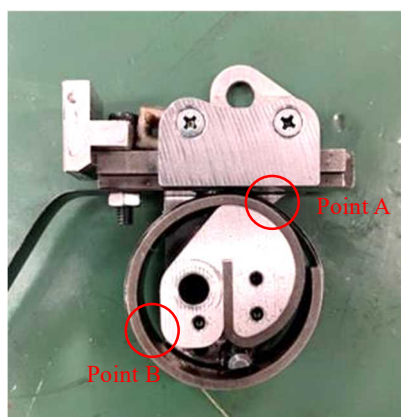


図 3 ゼンマイばねテンショナの外観

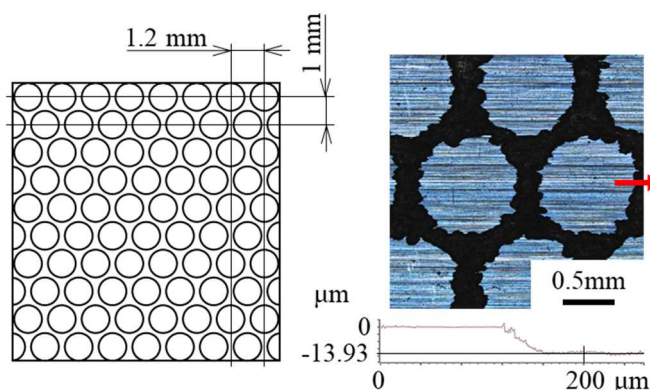


図 4 ゼンマイばねのテクスチャのパターンと断面形状

図 5 はテンショナ耐久試験機の外観である。カムによって加振ロッドを直動に加振させる機構であり、試験サンプルは試験機の加振ロッドによるプランジャの押し込み時の最大荷重が 300 N となる位置に治具を介して取り付けられた。プランジャの反力は加振ロッドとプランジャの間に設置したひずみゲージ式のロードセルを用い、プランジャの加振方向の位相は、プランジャの後方部を測定点として渦電流式変位センサ（ギャップセンサ）を用いて測定した。

試験は、加振ロッドでプランジャを振幅 0.5 mm、周波数 100 Hz で 10^8 回強制加振させた。その際、潤滑油は実機の油の汚損を想定し摩擦調整を含む自動車用エンジン油（粘度指数 0W-8、動粘度 45 cSt@25℃）に擬似劣化オイル/ダイヤコンタミネント SD-R を 0.2 wt% 混合し、テンショナの上部から油温 80 °C で 120 ml/min 給油した。ぜんまいバネ部にはテンショナボディーを伝わり給油される。

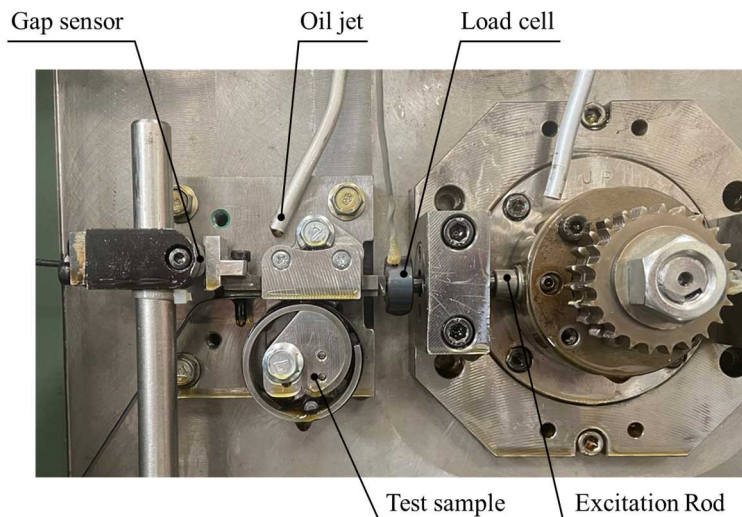


図 5 テンショナの耐久試験機の外観

4. 実験結果と考察

図6は、プランジャの位相と反力によるヒステリシスループの経時変化である。プランジャが0 mmの位置は試験サイクルの中でプランジャが最も押し込まれた状態で、1 mmの位置は最も突出した状態に対応し、ヒステリシスループの進行は反時計回である。各工程に対する反力の変曲点で①～④の境域に区分される。領域①はプランジャの押し込みによりゼンマイばねを通してバックアップスプリングに曲げ荷重が発生し反力が急増する。同②はゼンマイばねが縮径するため一定の反力維持される。同③はバックアップスプリングに付与された曲げ荷重が除荷され反力が減少する。同④ではゼンマイの拡張し小さい反力が維持される。同図には試験時間0（開始直後：繰返し数 $n=1$ ）、30（ $n=10^7$ 回）、140（ $n=5 \times 10^7$ 回）、277（ $n=10^8$ 回）時間の結果を示した。

実験初期($n=1$)の結果は、テクスチャ付与の効果は明確ではないが、プランジャが突出する領域④では未テクスチャ面では反力低下の傾きは僅かに大きい。繰返し数の増加により、未テクスチャ面のヒステリシスループの形状は大きく変化する。特に領域①での反力上昇勾配は一様ではなく、領域②での反力も初期に比して低下する。テクスチャ面の場合、実験初期からのヒステリシスループの形状に変化は見られない。

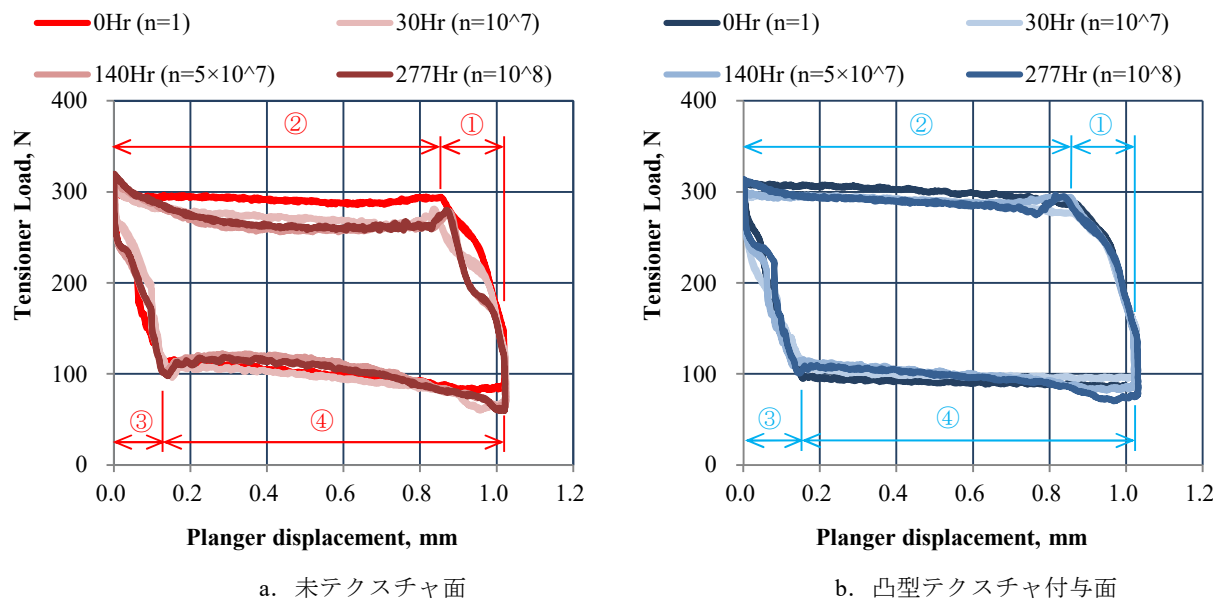


図6 テンショナの特性特性変化（リサージュ曲線）

図7は試験終了後のゼンマイばね表面の光学顕微鏡像である。白色部分が摩耗領域に対応し、摩耗量深さの最大値は未テクスチャ面で約 $20 \mu\text{m}$ 、テクスチャ面では $2 \mu\text{m}$ であり、大幅に減少した。未テクスチャ面では、テクスチャ中央部に幅 $0.01 \sim 0.1 \text{ mm}$ 程度の条痕が形成され、その内部には摩耗粉が圧入されている。このような摩耗粉の圧入や条痕の形成はテクスチャ面では確認されない、また、テクスチャ形状が残存している。

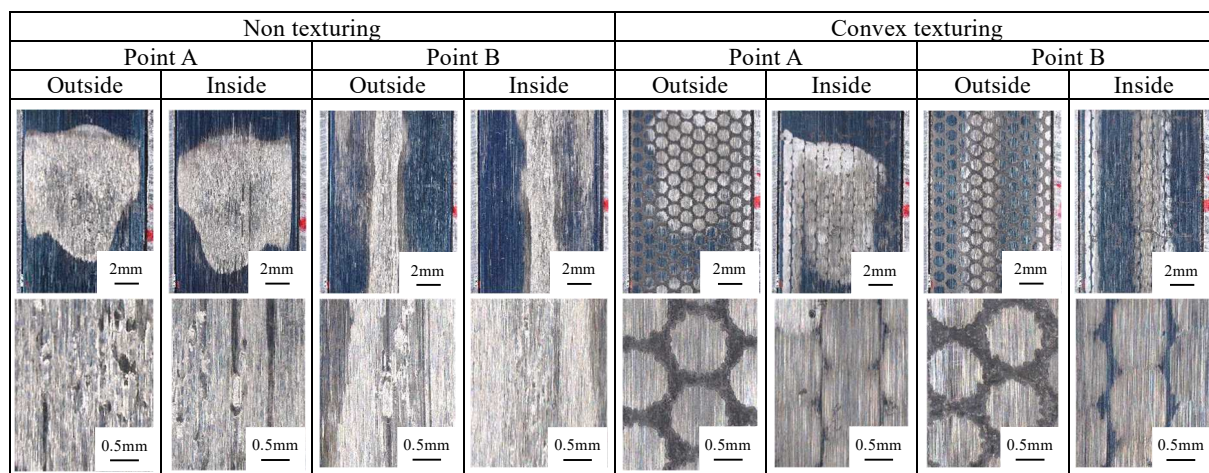


図7 試験後のゼンマイばねの摺動面の摩耗状態

テクスチャが無い仕様では、凸型テクスチャを付与した仕様と比較し摩耗量が大きく、ゼンマイばねの中央部には摺動方向に深い条痕が形成されたことから、摩耗粉が介在し往復摺動する中で摩耗粉が成長したことが考えられる。

そして摩耗粉が介在したことでゼンマイばねの板間の摩擦力が変化したことで反力特性にも影響が出たと推測される。一方で凸型テクスチャを付与した仕様では、摩耗は大幅に改善されており、条痕や摩耗粉の圧入もないことから、凸型テクスチャの摺接面で発生した摩耗粉は往復摺動する際に摩耗粉が成長する前にテクスチャの溝部に落ち、オイルの流入と共に外に排出されたと考えられる。さらにゼンマイの巻き解きの発生する②と④の工程においても反力特性の変化は少なく安定したことから、テクスチャの溝部からゼンマイばね全体に油剤が供給されることで凝着が抑制され摩擦力が安定したと考えられる。

5. まとめ

摩擦減衰機構を応用した自動車エンジン用チェーンテンショナに関して、摺動面への凸型テクスチャを付与した場合の性能評価を実施した。得られた結果を要約すれば以下のようである。

- 1) 凸型テクスチャ付与により、板バネ材の摩耗は大幅に抑制された。摩耗低減の要因としては、摩耗粉の排出と凝着部の成長抑制に起因すると推定される。
- 2) テンショナの反力特性に関して、テクスチャ付与による低下はなく、むしろ摩耗が抑制されるので、安定した特性が長期間維持されることも確認された。

文献

- 1) 関 雅夫：ダブルアームチェーンテンショナシステムの開発，Honda R&D Technical Review, Vol25 No.1, 4 (2013).
- 2) 関 秀明：テンショナー，特許第 6600105 号, (2018-08-09).
- 3) 佐々木 信也：表面テクスチャリングによるトライボロジー特性の向上，表面技術, 65, 12 (2014) 568-572.
- 4) 坪井 涼：Tribological properties of oval shaped convex texture for sliding surface of internal combustion engine, COMODIA 2022 予稿集, 7 (2022) 83-84.
- 5) 熊田 喜生：円周方向にマイクログロブをもつすべり軸受け，トライボロジスト，43, 6 (1998) 456-461.
- 6) 河鱈 実昌：スクロールコンプレッサにおけるテクスチャリング，トライボロジスト，60, 4 (2015) 268-273.