ころがり軸受の騒音とその対策

五十嵐 昭 男*
Teruo IGARASHI

1. ま え が き

ころがり軸受は、すべり軸受と比べると、使いやすく経済的ではあるが、音および振動を発生しやすいという短所をもっている。とくに、ころがり軸受の音は、普通の使用条件では、音の主成分が約 1000 Hz 以上の周波数をもったものが多いので、ここ 20 年余り問題になってきた。これは、人間の聴覚がほぼ 2000 Hz から 5000 Hz 付近の音に対して最も敏感なためである。さらに、最近では、ころがり軸受を使用した機械、機器類が高速化、高出力化、軽量小形化など高性能化するとともにわれわれの生活に入り込むようになっていく。このため、ころがり軸受の音はいまでは軸受の大きな問題の一つになっている。

そこで、本稿では、まず次の 2 章でころがり軸受の音の分類について説明し、つづいて 3 章で分類の順にしたがって個々の音の概要と具体的な防止対策を述べる。

2. ころがり軸受の音の分類

ころがり軸受に関する音は、表 1 のように、二つのグループに大別される。その一つは軸受自身から発生する音すなわち軸受の音である。この音

は軸受単体の場合、軸受を組み込んだ場合のいずれでも同じ性質をもっている。他の一つは軸受を組み込んだ場合にのみ生ずる軸受箱の音であり、軸受単体の音と関係がない音である。この音はモータのうなり音だけである。軸受の音はさらに表 1 のような三つの小グループの音にわけられる。表 1 の括弧の中は音を発生する軸受を表す。以下この分類の順にしたがって説明するが、モータのうなり音は、軸受のばね特性に起因する回転軸のスラスト振動が原因で生ずるので、本稿では省略する。うなり音については文献 (1)~(3) を参照していただきたい。

3. 音の概説と防止対策⁽¹⁾⁽²⁾

3.1 本質的な音 このグループの音は現在のすぐれた軸受加工技術を用いても発生するころがり軸受本来の音である。すなわち、ころがり軸受にとって本質的な音である。

3.1.1 レース音^{(注1)(4)~(17)} レース音はすべての軸受で発生する音であり、ころがり軸受特有の音である。この音は、軸受の転動体が軌道面上をころがるために発生し、なめらかな連続音である。玉軸受の内輪を一つの手で持ち、他の手で外輪を勢よく回すと「シュー」という音がでるが、この音がレース音である。この音の大きいものは実

表 1 ころがり軸受に関する音の分類

ころがり軸受に関する音	軸受の音	{	本 質 的 な 音	{	レース音 (すべての軸受, 単列深みぞ形 ラジアル玉軸受が代表的)
					きしり音 (円筒ころ軸受, ごくまれに玉軸受)
					軸受の製作に関係する音
					保持器音 (玉軸受, 円すいころ軸受)
{	きず音 (すべての軸受)				
		ごみ音 (すべての軸受)			
軸受を組み込んだ場合に生ずる音	{	モータのうなり音 (玉軸受, 玉軸受と 円筒ころ軸受)			

* 正員, 日本精工会社製品技術研究所 (〒251 藤沢市鶴沼神明 1-5-50)。

(注1) レース音のレースは“軌道”の意味である。

際に問題になることがある。スラスト荷重を受けて回転している単列深みぞ玉軸受の音はレース音の代表的なものである。以下、この軸受の音について簡単に説明する。

まず、玉軸受のレース音は次のような主な性質をもっている。(1) 音としてランダムな性質をもつ。(2) 音は約 1000 Hz 以上の周波数をもつ。(3) 音のピークの周波数は、回転数が変わってもほとんど変化せず、音のピークの音圧レベルが回転数の増加によって増える(図 1 参照)。(4) 音の主な周波数は、その周波数が低いものは荷重の増加にしたがって上昇するが、周波数が高いものほど荷重が増加してもほとんど変化しなくなる。そして、荷重の増加による音の主な周波数の変化は、ラジアル荷重の場合よりもスラスト荷重の場合のほうが著しい。全音圧レベルは、ラジアルすきまが正ならば、荷重の増加にしたがって増える。(5) 音の主な周波数および全音圧レベルはラジアルすきまが少なくなると急に上昇する。(6) 油潤滑では油の粘度が高いほど音圧レベルが低くなる傾向がある。(7) ラジアルすきまが多い玉軸受にラジアル荷重が加わる場合には、回転軸の振動が発生しやすい。この振動があると全音圧レベルが増加する。(8) 軸受箱の剛性が高いほど、全音圧レベルが低くなり、回転数の増加に対する全音圧レベルの増え方も少なくなる。

レース音の発生源は玉軸受が荷重を受けた状態における軌道輪に関する固有振動である。すなわち、この振動は軌道輪と玉の弾性接触部のばねで支持された軌道輪に係る固有振動である。この種の振動は、外輪を剛体とみなすグループと軌

道輪(外輪および内輪)を曲げ弾性体とみなすグループに大別できる。外輪を剛体とみなすグループには、外輪慣性モーメント系角(傾き)方向固有振動(f_{MI})と外輪質量系軸方向固有振動(f_{AM})の二つがある。括弧の中の f_{MI} および f_{AM} は記号である。前者は外輪の直径まわりの慣性モーメントと玉軸受の傾き方向ばねで形成される振動系の固有振動、後者は外輪の質量と玉軸受の軸方向ばねで形成される振動系の固有振動である。次に、軌道輪を曲げ弾性体とみなすグループはいずれも軌道輪の曲げ固有振動であり、これには、軌道輪円環面内の曲げ固有振動すなわち半径方向曲げ固有振動と環の面に垂直な変位とねじれとの両方を伴う曲げ固有振動すなわち軸方向曲げ固有振動の 2 種類がある。一般に外輪の固有振動のほうが内輪のものよりはるかに発生しやすい。したがって、一定のスラスト荷重が加わる玉軸受の場合は、玉の質量を省略すれば、図 2 のように、外輪は軌道輪と玉の弾性接触部のばねで支持されるとみることができる。このようなばねで支持された外輪の半径方向および軸方向の曲げ一次固有振動の振動形態を図 3 に示す。括弧の中の f_{R1} および f_{A1} は固有振動の記号を表す。図 1 の音の周波数スペクトルの主なピークはいずれも上に述べた軌道輪に関する固有振動によって発生する。すなわち、三つのピークは f_{AM} , f_{R1} , f_{A1} に相当している(注 2)。並径玉軸受(注 3)のレース音の大部分は軌道輪(主に外輪)の曲げ固有振動の音によって占められているのが普通である。

レース音の発生源である軌道輪に関する固有振

図 1 レース音と回転数 (6304, スラスト荷重 2 kgf)

$k_1 = k_2 = \dots, = k_8 = k_m$
 $k_1, k_2, \dots, k_8, k_m$: ばねのばね定数

図 2 玉の間隔のばねで支持された外輪(玉数 8 個の場合)

(注 2) 寸法の大きい玉軸受では、 f_{AM} の低周波数側に f_{MI} のピークも発生する。

(注 3) 内径番号 00 から 10 までの単列深みぞラジアル玉軸受。

動は軌道面および玉の表面の微小な形状誤差によって生ずることが明らかになっている。玉軸受の軌道面および玉の表面は、現在のすぐれた加工を行っても完全に円形をしているのではなく、形状誤差をもっている。この形状誤差のうち、1円周に対する山数の多いものは山の高さおよび山と山の間隔が不規則になっている（不規則な形状誤差）。軌道輪に関する固有振動は、周波数が高いので、山数の多い不規則な形状誤差によって発生する。すなわち、図4に示すように、玉軸受が回転すると、不規則な形状誤差のために、軌道輪と玉の接触ばねのばね力に微小な交番変化を生ずる。このため、軌道輪に強制振動力が加わって軌道輪に関する固有振動が生じ、この振動が空気に伝わり音になる。

防止対策：(i) 性質(3)～(6)と(8)を参考にして、軸受、使用条件などをうまく選定し、軸受まわりの剛性などについて考慮する。(ii) ラジアルすきまが多い玉軸受では予圧（スラスト荷重）を加える。(iii) レース音の小さい良い品質の軸受を使用する。この対策はレース音が機械全体の騒音を支配している場合にはとくに有効である。

3・1・2 きしり音^{(18)～(20)} きしり音は、ほとんどの場合円筒ころ軸受で発生するが、ごくまれに玉軸受で発生することがある。きしり音は呼び名のとおり「キーキー」という「きしる」ような金属性の音であり、不愉快な音色をもっている。この音はラジアルすきまの多い軸受にラジアル荷重が加わり、軸受が潤滑性能の悪いグリースで潤滑される場合に発生する。冬期にはグリースの潤滑性能が悪くなるので、冬期に発生することが多い。

このようなきしり音は、発生が不安定なため研究がむずかしく、現在でも良くわかっていない。この音は、非負荷圏でグリースの抵抗によって自転速度の減少したところが負荷圏に入り、急に加速

されるときに生ずるところと軌道輪との間の急激なすべりおよび衝撃などのために発生すると推定されている⁽¹⁸⁾。

防止対策：(i) 軸受を組み込んだ後の軸受のラジアルすきま（ラジアル残留すきま）を少なくする。(ii) 潤滑性能の良いグリースまたは油を使用する。(iii) きしり音を防止する特殊加工を施した軸受を使用する⁽²¹⁾。(iv) 玉軸受では予圧を与える。

3・2 軸受の製作誤差に関する音 このグループの音は、いずれもころがり軸受の製作誤差に関係して発生するが、製作誤差以外に軸受および潤滑剤の選定、軸受の取付け条件、軸受まわりの加工精度などが適正でないと発生しやすいことがある。

3・2・1 びびり音 びびり音は、軸受の回転数が一定ならば一定の周波数を持つ耳につく音であり、回転数に比例して周波数が増加する。ちょうど、サイレンのような感じの音である。この音は、軸受部品の仕上面すなわち内輪、外輪の軌道面あるいは転動体面の山の高さの大きい円周方向うねりによって発生する。このようなうねりがあると軸受は振動を生ずるが、この振動がびびり音の原因と考えられている。

仕上面のうねりによる振動は、軌道輪を剛体と考え、軌道輪と転動体の接触部のばねを線形のばねとみる軸受の振動である。このような仮定の下では、一定のスラスト荷重が加わって内輪が回転する玉軸受の場合、外輪の半径方向、角（傾き）方向、軸方向振動に影響を及ぼす正弦波状のうねりの山数と外輪に発生する振動の振動数は表2のようになる^{(注4)(22)(23)}。表2の f_c 、 f_b はそれぞれ

半径方向一次 (f_{R1}) 軸方向一次 (f_{A1})
図3 レース音の発生源（外輪の曲げ一次固有振動）

図4 レース音の発生機構（内輪の不規則な形状誤差の場合）

（注4）内輪の中心は回転中固定され、外輪は半径方向、角方向、軸方向のどの方向にも自由に動くことができるものとする。

次式によって計算される。

$$f_c = \frac{f_r}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right)$$

$$f_b = \frac{f_r}{2} \frac{D}{d} \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \cos^2 \alpha \right)$$

ここに、 d ：玉の直径、 D ：玉軸受のピッチ円直径、 α ：接触角を表す。ラジアルすきまが少ない玉軸受では、 α は 0 として計算してよい。表 2 から明らかなように、特定の山数をもったうねりだけがこの種の振動の発生原因になる。

ここで、この振動の半径方向振動の発生機構について簡単に説明する。図 5 のように、内輪にうねりがある場合を考える。図 5 はすべて記号 1 の玉にうねりの山が接触している場合を示す。図より、 nz 山のうねりは外輪の動きを起こさないが、 $nz-1$ 山と $nz+1$ 山のうねりは外輪を矢印方向に最も大きく動かすことがわかる。同様に、記号 1 の玉にうねりの谷が接触する場合にも、 nz 山のうねりでは外輪の動きがなく、 $nz-1$ 山と $nz+1$ 山のうねりは外輪を矢印と反対の方向に最も大きく動かす。したがって、外輪の半径方向振動を生ずるのは内輪の $nz \pm 1$ 山のうねりであることが理解できる。このような仕上面のうねりによる振動は、ラジアルすきまがない軸受の場合または玉軸受以外の軸受でスラスト荷重が加わっている場合にも発生し、これらの場合でも表 2 の結果を適用することができる。

防止対策：(i) 軸受部品の仕上面の円周方向うねりをなくす。(ii) 軸受を取付ける軸または軸受箱のはめあい面の円周方向のうねりをなくす。(iii) 軸にスプラインが切ってある場合には、スプラインが内輪のはめあい面に入らないようにする。

3.2.2 保持器音 保持器音は、ケージ音またはリテーナ音とも呼ばれ、玉軸受および円すいこ

表 2 振動を生ずるうねりの山数と振動の振動数

うねり	うねりの山数		振動の振動数	
	半径方向 角 方 向	軸方向	半径方向 角 方 向	軸方向
内 輪	$nz \pm 1$	nz	$nzf_i \pm f_r$	nzf_i
外 輪	$nz \pm 1$	nz	nzf_c	nzf_c
玉 (転動体)	$2n$	$2n$	$2nf_b \pm f_c$	$2nf_b$

n ：正の整数、 z ：玉 (転動体) 数、 f_r ：内輪回転数 Hz、 f_c ：保持器回転数 Hz、 $f_i = f_r - f_c$ 、 f_b ：玉 (転動体) 自転数 Hz。

ろ軸受で発生する。この音は軸受の回転中に保持器が振動して転動体と衝突するために発生し、「カシャカシャ……」という周期性がある音である。とくに、軸受の外輪にモーメントを加えたとき、玉軸受ではラジアルすきまが多いときに発生しやすい。

防止対策：(i) 玉軸受の場合はラジアルすきまを少なくするか予圧を加える。(ii) 軸受の取付け誤差を少なくする。(iii) 潤滑性能のよい潤滑剤を使用する。

3.3 軸受の取扱い不良による音

3.3.1 きず音 軸受の軌道面および転動体の面に種々のきず、圧こん(痕)、さびなどがあると軸受はリベット打ちのような周期性がある音を発生する。この音の周期は、軸受の回転数に反比例する。なお、玉軸受できずが玉にあるときは音が発生したり発生しなかったりすることがある。一定のスラスト荷重が加わる玉軸受の軌道面または玉の表面の 1 円周に 1 個の点状のきずがある場合には、表 3 に示すような音圧パルスが発生する。

防止対策：(i) きずがある軸受は新品と交換する。(ii) 組み込みなどの際に軸受に衝撃が加わらないように注意する。(iii) さびなどがある場合はその原因を調べて取り除く。

3.3.2 ごみ音 軸受の洗浄が不十分な場合、潤滑剤中に異物が混入している場合あるいは回転中の軸受にごみが侵入する場合には、軸受内のご

表 3 1 円周に 1 個の点状のきずがある場合の音圧パルスの繰返し数

きずの位置	パルスの繰返し数
内 輪	zf_i
外 輪	zf_c
玉	$2f_b$

記号は表 2 に同じ。

図 5 うねりによる外輪の半径方向振動発生機構 ($n=1, z=8$ の場合)

みによって「カリッ、カリッ」という非周期性の音を生ずる。音は、大きさが一定でなく、回転数にもほとんど関係せず、発生したり発生しなかったりする。

防止対策：(i) 潤滑剤中の異物を取り除く。
(ii) 軸受の洗浄方法および密封方法を改善する。

4. む す び

以上、ころがり軸受の音とその対策について概説したが、問題の音がはっきりしているときは、各項の防止対策をとればよい。しかし、ある機械全体の騒音を少なくしたい場合は、全体の騒音を主として支配している音を見い出して、その音について対策をとらねばならない。騒音対策でとくに注意すべきことは、問題にする音(騒音)をあらかじめはっきり決めておくということである。これは、騒音の問題は主観的、個人的なものなので、たとえばある音をなくすと次に他の音が気になるというように、いつになっても問題が解決しないことになりかねないからである。

(原稿受付 昭和52年6月28日)

文 献

- (1) 五十嵐, 潤滑, 16-4 (昭 46-4), 300.
- (2) 上野・ほか18名, 転がり軸受工学, (昭 50), 130, 養賢堂.
- (3) 五十嵐・飯田, 機論, 25-155 (昭 34-7), 675.
- (4) Lohmann, G., *Konstruktion*, 5-2 (1953-2), 38.
- (5) Lohmann, G., *Konstruktion*, 5-3 (1953-3), 85.
- (6) 大越, *NSK Bearing Journal*, 606 (昭 31-7), 1.
- (7) 大越, *NSK Bearing Journal*, 612 (昭 35-5), 10.
- (8) 田中, 機械の研究, 9-6 (昭 32-6), 683.
- (9) 五十嵐, 機論, 25-158 (昭 34-10), 1027.
- (10) 五十嵐, 機論, 26-166 (昭 35-6), 833.
- (11) 五十嵐, 機論, 27-178 (昭 36-6), 963.
- (12) 五十嵐, 機論, 28-193 (昭 37-9), 1168.
- (13) 五十嵐, 機論, 30-220 (昭 39-12), 1516.
- (14) 五十嵐, 機誌, 66-533 (昭 38-6), 795.
- (15) 五十嵐, 機論, 37-301 (昭 46-9), 1774.
- (16) 五十嵐・神谷, 潤滑, 17-3 (昭 47-3), 154.
- (17) 五十嵐・野田, *NSK Bearing Journal*, 635 (昭 49-9), 8.
- (18) 伊藤, 潤滑, 4-4 (昭 34-4), 178.
- (19) 飯田・石原, 日本機械学会講演会前刷集, No. 21 (昭 35-4), 1.
- (20) 小林・栗田, 潤滑, 17-9 (昭 47-9), 554.
- (21) *NSK Bearing Journal*, 623 (昭 44-1), 62.
- (22) Gustafsson, O., *SKF Report*, AL61L032 (1961).
- (23) Gustafsson, O., *SKF Report*, AL62L005 (1962).

工業技術院・光通信システムの研究推進

通産省工業技術院は大形プロジェクトの新たなテーマとして、光を応用した高品質情報伝送システムの開発に乗り出す方針を固めた。

同システムはエレクトロニクス産業の次代をになう技術とされ、わが国でも電電公社、電力会社、電機メーカーなどで関連技術の開発が進められているが、これら既存の技術をさらに進展させ、民生用、産業用に広く応用していこうというものである。

同省は6, 7年間に100億円を投入、実用化にこぎつけたい考えで、53年度以降、予算要求を行うが、研究開発の二重投資を避けるため超 LSI 開発の場合と同様、電電公社との調整が必要になるとみられる。

ところで、産業、社会の進展に伴い、情報の伝送が重要な役割りを果たしてきているが、今後いっそうの情報化をはかるためには、電磁誘導障害を受けない高品質の情報を大量に伝送できるシステムが必要となる。とくに光応用情報伝送システムは、エレクトロニクス産業における次の技術革新への核となる技術で、わが国では光源として有望な半導体レーザの長寿命化技術、新しい光ファイバの開発と高度なケーブル化製造技術などで世界をリードする成果をあげつつあるという。

同省はこうした背景から官民一体となって、その応用システムの実用化を急ぎたいとしている。

同システムは送信部、伝送部および受信部の三つの基本サブシステムからなり、これらのサブシステムを

開発し、結合することによって、全体システムとしてとりまとめる計画である。

送信部は伝送損失が低く、広帯域伝送に適した光源を開発するとともに、変調できる周波数帯域幅の広い、変調感度のすぐれた変調器の開発をめざす。伝送部は経年変化の少ない耐環境性、機械特性などのすぐれた低価格の光ファイバの開発と信頼性の高い中継器の開発をねらいとし、受信部も伝送速度の向上に対応できる信頼性の高い復調器の開発をめざしている。またこれら各機器を結合する光回路は伝送速度、信頼性の向上、機器の小形化をはかるために不可欠とされるモノリシック集積化の開発を進める。

同省は光応用情報システムについて ① 情報伝送の大容量化に容易に対応でき、② 電磁誘導障害を受けないため、大電流を用い工場・輸送設備内などで信頼性の高い情報伝送ができる、③ 耐火性、耐水性、耐薬品性、無スパーク性などがあり、爆発ふん囲気中あるいは防災対策用の情報システムを安全でしかも高い信頼度が実現できるなどのメリットがあるため、広く民生用、産業用に活用できる——と評価している。

欧米はもちろんわが国でも、国立の試験研究所、電電公社、電力会社、電機、電線メーカーで関連技術の研究開発が進められているが、同省が総合的なシステムの開発に乗り出すことで、光を応用した情報伝送システムが実用化に向け大きく前進するものとみられる。

[服部 敏夫]