

『転がり軸受の基礎知識』

1. 転がり軸受とは

軸受には転がり軸受とすべり軸受があり、軸受の選定は一般的には、先ず簡便で保守の手がかからない転がり軸受の使用を検討し、それがだめな場合にすべり軸受の使用を考えることが多い。転がり軸受とすべり軸受の特徴を比較したものを[Table 1]に示す。

転がり軸受は外輪と内輪の間に転動体として玉、あるいはころを用い転がり摩擦で作動する軸受のことで、受けることのできる荷重の種類によりラジアル軸受とスラスト軸受に大別される。

ラジアル軸受は主としてラジアル荷重を受けるが、ほとんどが同時にスラスト荷重も受けることができる。しかし、スラスト軸受は一般にスラスト荷重しか受けることができない。

転がり軸受は高速回転に強い半面、過大荷重や衝撃荷重には弱いので、設計の配慮が必要である。

2. 転がり軸受の種類と選定

転がり軸受の選定に当たり、考慮すべき基本事項は次の2点である。

- 1) 技術的に軸受をどう上手に使うか。
- 2) 経済的に軸受をどう使いこなすか。

この2つの観点から一般的に適しているのは転がり玉軸受けである。なかでも深溝玉軸受けがよく、これを使うことから検討を始めるのがよい。参考として深溝玉軸受けと他の転がり軸受の負荷能力の比較を[Table 2]に示す。

3. 転がり軸受の特性・特徴

1) 深溝玉軸受

(特性・特徴)

転がり軸受の中で最も多く使用される軸受である。軌道輪の溝は溝を転動する玉の半径よりわずかに大きい半径の円弧になっており、玉と軌道輪は点で接触する。深溝玉軸受はラジアル荷重、アキシヤル荷重及びこれらの合成荷重を受けることができる。

構造が簡単であるため、容易に精度の高いものが得られ、高速回転にも適している。

軸受外径が9mm以上で軸受内径が10mm未満を小径玉軸受け、軸受外径が9mm未満のものをミニチュア玉軸受けと呼んでいる。

玉の間隔を一定に保つための保持器は、鋼板をプレス成形したものを標準としている。高速回転で使用する場合は寸法が大きすぎてプレス成形が困難なものでは、削り加工をしたのみ抜き保持器を使用している。

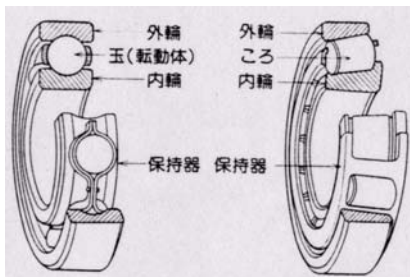
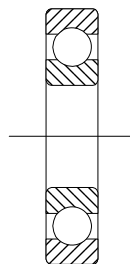


Fig. 1 深溝玉軸受



2) マグネット玉軸受

(特性・特徴)

小型発電機用として開発された軸受である。内径3mmから20mmまで1mmとびに揃えてあり、軸寸法に制限がある場合に便利である。内輪と外輪及び玉つき保持器に分離できるので取り付け、取り外しが容易であるが、外輪は片側に肩が無く、内輪、外輪の溝もあまり深くないので大きなアキシヤル荷重は受けられない。

軸方向の位置決めには2個相対して使用しなければならない。保持器は黄銅板を打ち抜いてプレス成形した、一体型の玉付き保持器である。

Table 1 すべり軸受と転がり軸受の特性比較表

特性項目	すべり軸受	転がり軸受
荷重	重荷重、特に衝撃荷重に適する 単位投影面積当たりの許容荷重は転がり軸受より大	衝撃荷重には劣るが、周期的荷重、振れまわり荷重や起動 深溝玉軸受、アンギュラ玉軸受、円錐ころ軸受などは1個の軸受でラジアル、スラスト両方向荷重を受けられる
摩擦	静止摩擦係数大(10 ⁻² ~10 ⁻¹) 回転中の動摩擦係数はいずれも10 ⁻³ 程度で両者ほぼ同じ	静止摩擦係数大(10 ⁻³ ~10 ⁻²) 低速：特に問題なし
速度特性	低速：一般的な流体潤滑は静圧軸受を除き低速は不可 高速：流体潤滑は高速に適するが温度上昇と油膜の乱流、オイルホップが高速の限界	高速：温度上昇を支配するdn値を一般的な目安とする。転動体の遠心力と保持器の潤滑が高速の限界
軸受の容積	半径方向：小 軸方向：軸径の1/4~2倍	半径方向：大 軸方向：軸径の1/5~1/2倍
振動と減衰	極低速のスティックスリップと高速のオイルホップ 減衰は大	転動体の弾性支持のため弾性振動減衰は小
耐衝撃性	有利	不利
耐食性	種類によるが一般的に有利	不利
耐水性	種類によるが一般的に有利	不利
揺動運動	非常に有利	不利
往復運動	有利	リニアプッシュング、ストロークボールベアリング以外不可
音響	比較的小	比較的大
潤滑剤	潤滑油、潤滑グリース、作動油、水、固体潤滑剤、空気な	主として潤滑グリースまたは潤滑油
潤滑法	主として油潤滑で複雑、油量も大	主としてグリース潤滑で簡単、油潤滑の時も油量小
剛性	中心軸の移動は比較的小	転動体の弾性支持のため予圧によって剛性を高めても中心軸の移動量は比較的大
寿命と破損	流体力学的に寿命は無限。破損は焼き付き摩擦が主で、高荷重の時は剥離もある	材料疲労による寿命の計算式あり、高速の時は焼き付きによる破損もある。特に運転中の事故が起こると被害大
取り付け誤差	比較的精確	比較的精確
ゴミの影響	軸受合金の埋込などにより、塵埃など固形異物に強い	固形異物に弱い。寿命、摩擦、特に音響に敏感
保守	主として油潤滑で、給油漏れ防止のための努力大	主としてグリース潤滑で保守簡単。油潤滑の時も比較的簡単
経済性	自家製し易く一般に安価	標準化と量産化により精密部品としては一般に安価
規格化量産性	規格品もあるが自由設計がなされ非量産品も多い	機械部品の中で標準化と量産が進んでいる
交換性	軸受交換時に軸の修理、交換を要することが多い	軸受のみ交換すれば良いことが多い
高温	特別を除き軸受材料と潤滑剤の限度は300℃まで	耐熱軸受鋼と潤滑剤の温度限界まで可。一般工業用は500℃まで
低温	潤滑油の粘度増加や凝固のため低温特性不良	低温用油の限度まで可
雰囲気	軸受材料と潤滑剤で対処可(プラスチック、セラミックなど)	軸受合金が限定されるのでシールが重要
真空	固体潤滑で対処	自己潤滑性材料の保持器。金、銀などのスパッタ膜などを利用し特殊設計する

Table 2 転がり軸受形式と負荷能力の比較

軸受の形式	呼び番号	ラジアル動定格荷重(C)の比率	アキシヤル動定格荷重(Ca)の比率
深溝玉軸受	6310	1.00	1.00
アンギュラ軸受(α=15°)	7310C	1.21	1.49
アンギュラ軸受(α=30°)	7310A	1.20	2.34
アンギュラ軸受(α=40°)	7310B	1.10	2.88
自動調心玉軸受	1310	0.70	0.25
円筒ころ軸受	NU310	1.39	0.00
円錐ころ軸受	30310	1.80	1.55
円錐ころ軸受(急勾配型)	30310D	1.62	3.26
自動調心ころ軸受(狭幅型)	21310	1.88	0.70
スラスト玉軸受	51310	0.00	2.21



3) アンギュラ玉軸受

(特性・特徴)

玉と内輪、外輪の軌道がラジアル方向に対して、ある角度をもって接触している。軸受は非分離形であるが、外輪のカウンタポア側から玉を入れるので深溝玉軸受より玉数が多くになっている。

保持器の材質には鋼板、高力黄銅、合成樹脂があり、軸受の形式や使用条件により使い分けている。アキシャル荷重は一方方向に限られるが、アキシャル荷重とラジアル荷重との合成荷重を受けるのに適している。

この軸受は接触角をもっているため、ラジアル荷重が作用するとアキシャル分力が生じるので2個対向させたり、2個組み合わせる使用するのが一般的である。

組み合わせ軸受には、背面合わせ（DB）、正面合わせ（DF）、並列合わせ（DT）がある。

4) 複列アンギュラ玉軸受

(特性・特徴)

単列アンギュラ玉軸受を背面合わせにしたもので内輪、外輪がそれぞれ一体になっている。一列に入っている玉の数は単列アンギュラ玉軸受より少ないので組み合わせアンギュラ玉軸受けより負荷能力が小さいが、1個の軸受で両方向のアキシャル荷重、ラジアル荷重及びモーメント荷重を同時に受けることができる。

5) 自動調心玉軸受

(特性・特徴)

外輪の軌道を球面にして、内輪と玉の組み合わせ（玉つき内輪）が外輪に対して自由に傾くことができる構造になっている。このため、ある程度の取り付け誤差や軸のたわみがあっても、軸受中心と軸心が自動的に調整されるので軸受をこじることが無い。

したがって、軸受箱の工作、取り付け精度の出しにくい長い軸、構造が簡単な伝動装置の軸受として適している。プランマブロックやアダプタの併用により、きわめて容易に軸受装置を作ることができる。

外輪の軌道が浅く、接触角も小さいのでアキシャル負荷能力が小さくなるため、アキシャル荷重の大きいところには不向きである。保持器は鋼板の打ち抜き形である。

6) 円筒ころ軸受

(特性・特徴)

ころ軸受のうちで最も単純な構造の軸受で、内輪、外輪ところが線接触しているため、ラジアル負荷能力が大きく、高速回転にも適している。N形、NU形が基本でその他、つばの有無によってNF形、NJ形、つば輪をつけたNP形、NH形がある。さらに複列のNN形、NNU形がある。

N、NU形はアキシャル荷重を受けられないが、温度変化による軸の伸縮や、取り付け誤差による軸と軸受箱の軸方向位置ずれなどによる無理な荷重の発生を避けることができる。

内輪、外輪の両方につば又はつば輪がある軸受は、アキシャル荷重も受けることができるが、ころの端面とつばの面の間で、すべりながら荷重を受けるので、あまり大きなアキシャル荷重は受けられない。

複列の円筒ころ軸受はラジアル負荷能力が大きく、高精度高速回転にも適しているため旋盤、フライス盤、及びマシニングセンタなどの工作機械主軸に多く使われている。また、内径をテーパにした軸受は内輪をテーパ軸に押し込むことにより、ある程度の隙間調整ができる。保持器は鋼板の打ち抜き形が標準で、寸法の大きいもの、高速回転で使用するものには高力黄銅のみ抜き保持器を採用している。

7) 円すいころ軸受

(特性・特徴)

内輪、外輪の軌道ところは頭を切った円すい形で、それぞれの円すいの頂点が軸線上の1点に集まるように設計されている。ころは内輪の大つばに案内されて転がる。

単列の円すいころ軸受はラジアル荷重とアキシャル荷重の合成荷重を受けることができるが、純ラジアル荷重あるいは両方向のアキシャル荷重を受ける場合には、2個対向して使用するか、複列または四列の円すいころ軸受を用いなければならない。

外輪とつば付き内輪に分離できるので取り付けが容易で、隙間を容易に調整することができ、予圧をかけて使用することもできる。

複列円すいころ軸受には外向きアンギュラコンタクト形と、内向きアンギ

Fig. 2 アンギュラ玉軸受

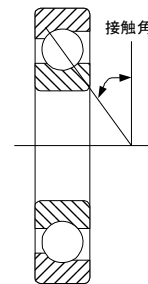


Fig. 3 複列アンギュラ玉軸受

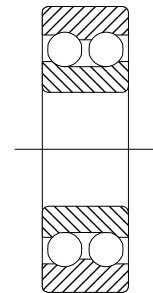


Fig. 4 自動調心玉軸受

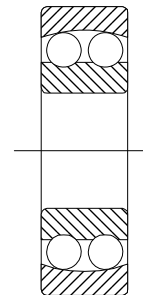


Fig. 5 円筒ころ軸受



Fig. 6 複列円筒ころ軸受

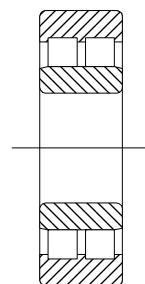
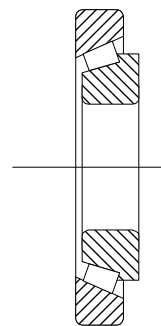


Fig. 7 円すいころ軸受



ユロコンタクト形があり両方向のアキシャル荷重またはラジアル荷重、あるいはアキシャル荷重とラジアル荷重の合成荷重を受けることができる。

四列円すいころ軸受は幅を大きくしてラジアル負荷能力を大きくした軸受で、圧延機のロールネックなどの重荷重、衝撃荷重がかかる場所に使用される。

複列、四列円すいころ軸受は隙間調整のため軸受に組番号と組合せ記号を表示しており、この番号と記号に基づいて組み立てなければならない。

保持器は寸法の小さいものには鋼板の打ち抜き形を、大きいものには高力黄銅あるいは軟鋼のもみ抜き形を採用している。なお、重荷重用としてピンタイプ保持器を採用した特殊なものもある。

8) 自動調心ころ軸受

(特性・特徴)

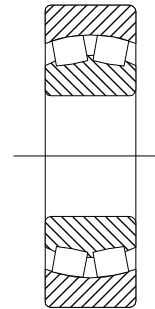
外輪の軌道は軸受中心と一致する点を中心とした球面に設計され、ころは樽型で、保持器と共に内輪に取り付けられている。

内径をテーパにした軸受は、アダプタや取り外しスリーブを使用することにより、取り付け、取り外しが容易にでき、プランマブロックの併用で、きわめて簡単に軸受装置を作ることができる。また、スリーブの圧入によりある程度の隙間調整が可能である。

この軸受はラジアル負荷能力が大きく、重荷重や衝撃荷重にも耐えられ、しかもある程度の両方向のアキシャル荷重も受けられるうえ自動調心性のあることから、軸たわみや取り付け誤差が避けられない大型の機械設備に適している。製紙機械、圧延機、鉄道車両や一般産業機械等に広く使用されている。

寸法の小さいものは鋼板の打ち抜き保持器を、大きいものには高力黄銅か軟鋼のもみ抜き保持器を使用している。

Fig. 8 自動調心ころ軸受



9) スラスト玉軸受

(特性・特徴)

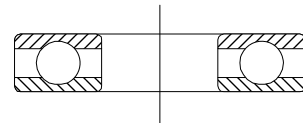
軸に取り付ける軌道輪を内輪、軸受箱に取り付ける軌道輪を外輪と呼び、内輪と外輪には玉が転がる円弧状の溝がある。

この軸受は一方方向のアキシャル荷重だけを支持できる単式と、両方向のアキシャル荷重を支持できる複式とがある。複式スラスト玉軸受の内輪は、軸に付けた肩とスリーブ、ナットなどで軸方向に固定して使用する。

スラスト玉軸受けはラジアル荷重を受けることができず、潤滑剤が遠心力によって飛び出すので高速回転には適さない。また、水平軸に使用する場合は内輪と外輪の間の隙間によって玉付き保持器が溝から外れることが無いように注意しなければならない。

保持器は鋼板の打ち抜き形または高力黄銅か軟鋼のもみ抜き形で、軌道輪と分離するので取り扱い中に変形させないように注意しなければならない。

Fig. 9 スラスト軸受



10) スラスト自動調心ころ軸受

(特性・特徴)

外輪の軌道は軸線上に中心を持つ球面になっており、自動調心性をもたせている。接触角 α は約 4.5° でアキシャル荷重とある程度のラジアル荷重を受けることができる。

負荷能力が大きく、自動調心性があるので一般に射出成形機、クレーンのフックなど大型機械に使用される。

保持器は高力黄銅のもみ抜き形である。

4. 軸受使用上の注意点

1) はめあい

軸受の場合、はめあいとは軸と内輪、軸受箱と外輪がはめ合わされる時の硬さの度合いをいう言葉である。はめあいは軸受の命であるとも言われ、設計では大切な項目の一つである。軸受のはめあい設計で注意すべき事項が二つある。

① クリープを防ぐ

クリープとは軸の外径と転がり軸受の内径が少しずつずれていく現象であり、下記のようなトラブルの原因になる。

- ・ 軸あるいは軸受箱を摩耗させる。
- ・ 摩耗粉が軸受内部に入り込んで軸受を損傷させる。
- ・ 局所的なヘアークラックを生じ、内外輪を破損させる。
- ・ 発熱により潤滑剤を老化させる。

② 適正なはめあい

常識的なはめあいを下記に述べる。

- ・ 内輪回転荷重の時、内輪と軸はしまりバメ、外輪と軸受箱はすきまバメ。
 - ・ 外輪回転荷重の時、内輪と軸はすきまバメ、外輪と軸受箱はしまりバメ。
 - ・ 軌道輪に常に静止のラジアル荷重及びスラスト荷重の時、すきまバメ。
 - ・ 軌道輪にある範囲で変動する荷重が加わった時、中間バメ。
 - ・ 軌道輪に相対的に荷重が回転して作用する時、しまりバメ。
- ラジアル軸受と軸受箱の穴のはめあいを[Table 3]に示す。

Table 3 ラジアル軸受と軸受箱のはめあい

条件		穴の種類と等級	適用例	備考	
一体ハウジング	外輪回転荷重	重荷重が薄肉軸受箱に働く場合及び衝撃荷重	P7	ころ軸受を装着した車輪ボス連結棒の大端軸受部	外輪は原則として移動できない
		普通及び重荷重	N7	玉軸受けを装着した車輪ボス	
	方向不定荷重	軽及び変動荷重	M7	コンベアローラ、索道、滑車、モンジョンプール、トラクションモータ	
		衝撃荷重	K7	電動機、ポンプ、クランク軸の主軸受	
一体あるいは二つ割ハウジング	内輪回転荷重	普通及び軽荷重：外輪の軸方向移動が望ましい場合	J7	電動機、ポンプ、クランク軸の主軸受	外輪は原則として移動できる
		衝撃荷重：一時的に無負荷状態になる場合	H7	鉄道車両軸受箱	
	特別に精度を要する軸受装置	すべての種類の荷重	H7	一般の軸受装置、鉄道車両軸受	
一体ハウジング	特別に精度を要する軸受装置	普通及び軽荷重	H8	伝動装置	
		軸を通して熱伝導のある場合	G7	乾燥シリンダ	
		変動荷重の場合で極めて正確な運転を要する場合	N6	工作機械主軸用ころ軸受（軸受外径125mmを超えるもの）	外輪は移動できない
方向不定の軽荷重の場合で極めて正確な運転を要する場合	M6	工作機械主軸用ころ軸受（軸受外径125mm以下）			
		極めて正確な運転：外輪の軸方向移動が望ましい場合	K6	研削盤主軸の碇石側の玉輪受 高速速度心圧縮機の固定側軸受	外輪は原則として移動できない
			J6	研削盤主軸の駆動側の玉輪受 高速速度心圧縮機の自由側軸受	外輪は移動できる

2) 予圧の使い分け

予圧とは、軸受の転動輪と内輪、外輪のすきまを負荷の作用しない状態においてマイナスにすることである。アンギュラ玉軸受、円すいころ軸受、スラスト専用軸受を機械に取り付けるとき、あらかじめスラスト荷重を加え、軸受のすきまをマイナスにして軸の動きを制限したり軸の剛性を増したりする。

予圧は次のような時、上記以外の軸受でも行うことがある。

- ・ 負荷による軸受の弾性変形を極力少なくしたい時。
- 〔例〕 工作機械の主軸のたわみを小さくするため。
- ・ 軸の振動を少なくして回転精度を高めたい時。
- 〔例〕 研削盤の主軸受、歯車減速機の軸受、特殊モータの軸受。
- ・ 軸の振動に起因する騒音、外部振動に起因する微動摩耗を防止したい時。
- 〔例〕 組立済みの機械を長距離運搬する時、軸受の振動による微動摩耗を防止するため、運搬前に軸受に予圧を与え現地到着後再調整する。
- ・ スラスト軸受の玉及びころの軌道と保持器の中心を一致させるため玉、ころが回転によって生じる遠心力、ジャイロモーメントの影響を制限するため予圧を加えて組み立てる。

軸受の寿命は、運転状態においてすきま0の時が最長とされている。予圧は軸受に予圧分だけ大きい荷重を与えたことになるので、前記の理由の無い限り、予圧を与えてはいけない。



3) 剛性

転がり軸受の剛性は基本静定格荷重 C_0 と関係する。基本静定格荷重 C_0 は荷重を受けている軸受の転動体と内外輪の接触部で生じる総永久変形量が転動体直径の 1 万分の 1 になる荷重を言う。これは一般的に円滑、静粛な回転をするために許し得る最大の荷重であると経験的にいわれている。

軸受の剛性を考える場合、荷重が加えられた時、永久変形の何倍もの弾性変形が生じていることを忘れてはならない。

転がり軸受けには転動体通過振動、レース音、保持器音、ゴミ傷音などがあり、振動・騒音はすべり軸受に比べてかなり大きい。工作機械、精密機械、情報機器などは振動の少ないことが要求され、自動車や電動機は騒音の小さいことが求められる。

振動・騒音は音圧レベルでは判断できない。必ず使用環境下で判断することが必要である。例えば、オーディオ機器に転がり軸受は不向きである。また、デンタルドリルは昔はミニチュア玉軸受が使用されていたが、現在は静圧空気軸受を使用するものが多くなり、音による心理的恐怖感を減らすのに一役買っている。

【参考文献】

- 1) NACHI 総合カタログ
- 2) I KO カタログ
- 3) メイテック設計ノウハウデータベース委員会、デザインAtoZ、日経メカニカル (1988年10月17日号)

