

アイドラ軸受の低温下における異音発生メカニズムと対策

上田 満

Mechanisms and Countermeasures for Abnormal Noise of Bearings for Idler Pulley under Low Temperature

M. UEDA

Idler bearings are used for automobile engine accessories. This bearing sometimes causes a noise when engine starts at low temperature. We found that this noise was caused by the resonance between axially elastic spring characteristics due to reduction of bearing internal clearance and passing frequency of rolling elements. In order to avoid the noise, it is necessary to specify the bearing clearance considering raceway expansion when mounted. Besides the bearing clearance, belt rolling angle, belt tension, and grease are other important factors.

Key Words: idler bearing, noise, clearance

1. はじめに

アイドラ軸受は、自動車のエンジン補機に使われている軸受の一種である。この軸受は、冬場のエンジン始動時など低温条件下にて異音が発生することがある。本報では、アイドラ軸受の低温条件下における異音を解析し、その発生メカニズムと対策について述べる。

2. アイドラ軸受の特徴

アイドラ軸受の代表的な例を図1に示す。

アイドラ軸受とはタイミングベルトや補機駆動用ベルトのベルト系にてベルトの張力調整用や、経路変更に使われている軸受である。一般的に前者をテンショナ軸受、後者をアイドラ軸受と呼んでいるが、ここでは総称してアイドラ軸受とする。図2に代表的な使用例を示す。

アイドラ軸受は外径面にベルトが接触して使用され、外輪とプーリが一体のもの(図1 - a)や、金属製のプーリを圧入したもの、樹脂製のプーリを射出成形したもの(図1 - b)がある。また、エンジンブロックにボルトで直接固定されることが多く、内輪はスリーブが一体化になった構造のものなどがある。

アイドラ軸受はアキシャル振れが大きくなるとベルトミスアライメントが大きくなり、ベルトがせり出すという問題がある。そのため軸受のアキシャル振れをできるだけ小さくする必要があり、ラジアルすきま(以下軸受すきまと称す)は小さく

設計されている。

アイドラ軸受の潤滑は、軸受内に密封されたグリースでおこなっているが、その使用環境は高温雰囲気中で高速回転のため、高温まで潤滑油膜を保持できるグリースが使用されることが多い。

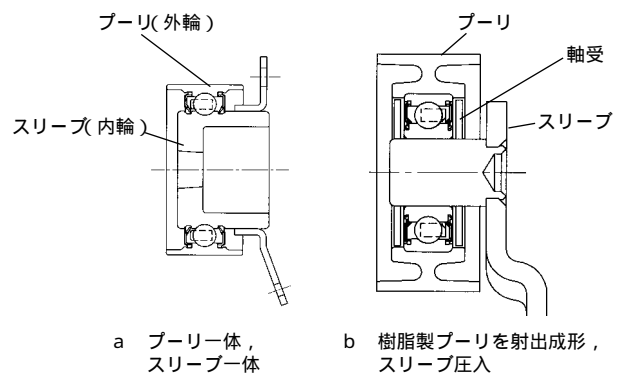


図1 アイドラ軸受の例

Examples of bearings for idler pulleys

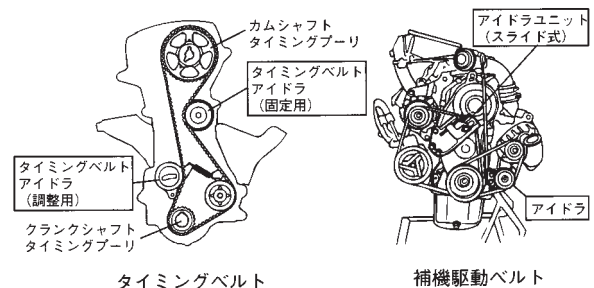


図2 アイドラ軸受使用例

Typical application of bearings for idler pulleys

3. 低温下における異音について

前章で述べたようにアイドラ軸受は、軸受すきまをできるだけ小さくし、高温用グリスを使用している。

このため低温ではグリス基油粘度が高くなることから、エンジンを始動させた時に異音の発生が問題になることがある。

すなわち低温下でエンジンを始動させた時、軸受周辺からエンジン回転速度に関係なくほぼ一定のフォーツやポーツという笛を吹いたような音が連続的に聞こえ、1分ほどすると聞こえなくなることがある(以下これを低温時異音と称す)。

ここでは、アイドラ軸受の低温時の異音発生メカニズムについて、解析した結果を述べる。

3.1 異音の再現試験

低温時異音の原因を確認するため、実際に異音が発生したアイドラ軸受を用いて異音の再現試験を実施した。

表1 異音再現試験条件

Bench test conditions for abnormal noise

項目	内容
エンジン回転速度, min^{-1} (軸受回転速度)	0 ~ 2 000(スweep) (0 ~ 3 500)
ベルト張力, N	200
ベルト巻き角, °	40
雰囲気温度,	-20(試験開始時)

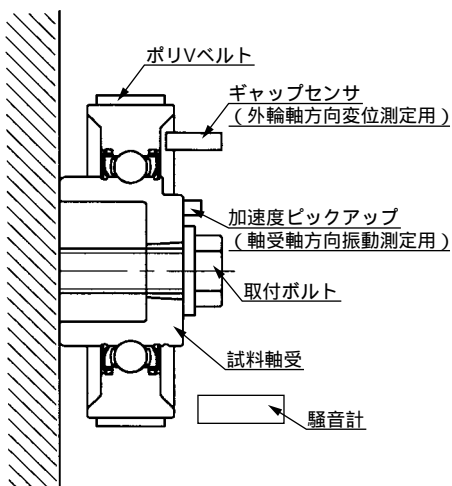


図3 測定方法概略

Outline of measurement set-up

表1に条件(実際の車両諸元参考), 図3に測定方法を示す。ここで異音と軸受軸方向振動, 外輪軸方向変位を測定した結果を周波数分析すると, 異音の周波数と軸受軸方向振動数, 外輪軸方向変位の

周波数は一致しており, またこれらの周波数は転動体の外輪通過振動数(n 次成分)とも一致していることがわかる。このことから低温時異音は, 外輪の軸方向固有振動数と転動体の外輪通過振動が共振して発生していると推定される(図4, 図5)。

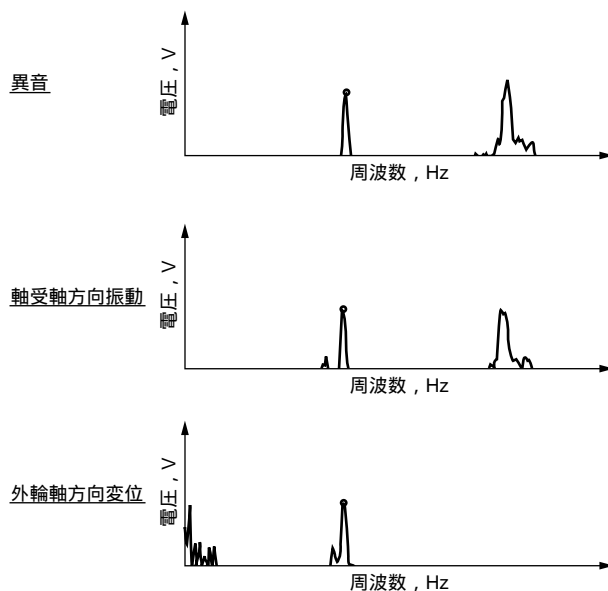


図4 パワースペクトル
Power spectra

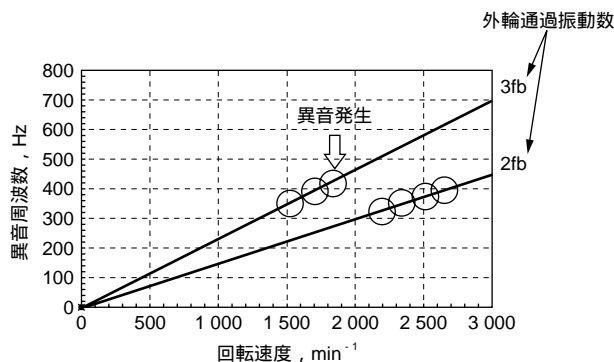


図5 異音の発生状況

Occurrence of abnormal noise

3.2 外輪軸方向固有振動数と転動体の外輪通過振動数

図6に振動系モデルを示す。

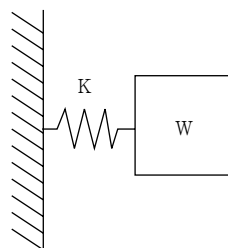


図6 振動系モデル

Model of vibration system

図6のようにWを外輪質量とすると軌道輪と転動体の接触による軸方向の弾性ばねの固有振動数 f_a は、

$$f_a = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{K \cdot g}{W}}$$

ここで、W：外輪質量
 K：軸方向のばね定数
 g：重力加速度

で表せる。

また、外輪回転の場合に転動体が外輪の一箇所を通過する振動数 f_b は、

$$f_b = \frac{Z}{2} \left\{ N \left(1 - \frac{D_w}{d_m} \right) \cos \right\}$$

ここで、 D_w ：玉径
 Z：玉数
 d_m ：軸受P.C.D.
 : 軸受接触角
 N：外輪回転速度

で表せる。

外輪軸方向弾性ばねの固有振動数 f_a と、外輪を転動体が通過する振動数 f_b のn次成分が一致するとき、すなわち $f_a = n \cdot f_b$ になると、これらが共振し異音が発生していると考えられる。

3.3 冷間時異音発生要因

3.1, 3.2で説明したように、低温時異音の要因としては、

要因A 軌道輪と転動体の接触部で、軸方向に弾性ばねが成立している。すなわち、軸受すきまが詰まっていること。

要因B 転動振動を増加させるもの(以下、転動振動強制力と称す)

が挙げられる。これらをさらに細部要因に分解すると、図7になる。

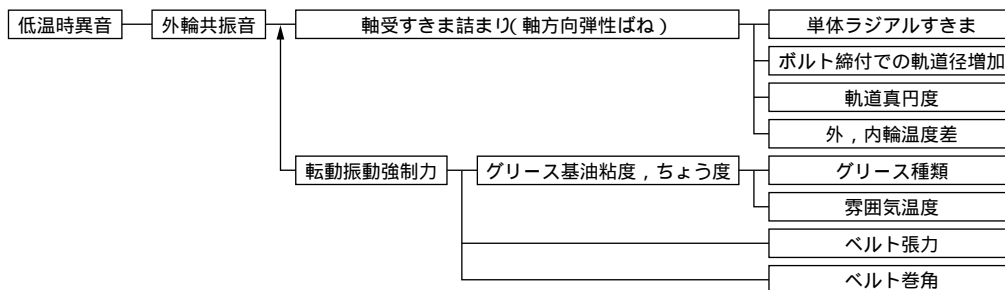


図7 低温時異音発生要因

Factors of abnormal noise at low temperature

4. 各要因の影響確認試験

次に図7で推定した要因について、その影響を確認する。

4.1 運転時の軸受すきま詰まりについて

通常、軸受の内輪、外輪はそれぞれ軸、軸箱に圧入されることが多く、圧入による軌道輪の膨張、収縮を考慮して軸受すきまを設定している。しかしながらアイドラ軸受は、内輪をエンジンブロックに直接ボルトで取り付けることが多く、運転時の軸受すきまがどうなっているかの検討が難しい。

ここでは単体の軸受すきまに対して、運転時の軸受すきまの状態を検討した。まず、内輪をボルトで締結した時の内輪軌道径の変化について確認した。

ボルトの締付けによって内輪軌道径は図8のように増加し、この分だけ軸受すきまは小さくなる。

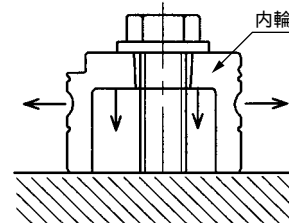
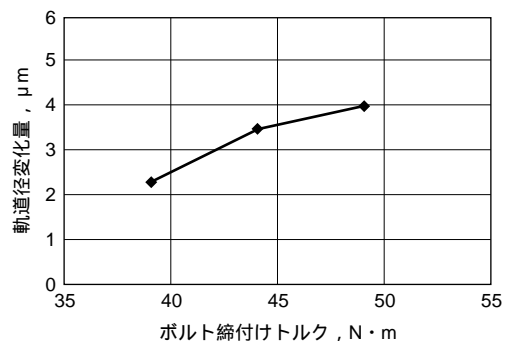


図8 ボルトの締付けによる軌道径の変化

Race diameter increase caused by bolt clamping

次に、運転時の軸受温度の変化によって、軸受すきまがどのようになっているかを検討した。

エンジン始動後は、エンジンからの熱、回転による内部発熱、ベルトの摺動熱によって軸受は一定温度まで上昇する。ここで、エンジン始動直後にエンジンからの熱が内輪に伝わり、軸受内輪と外輪に温度差が生じた場合、熱膨張量の差で生じる軸受すきまの変化を検討した。

計算検討の結果、外輪に対して内輪の温度が高くなると軸受すきまが減少することが予想される。初期すきま 2 μm の軸受で内輪、外輪の温度差を確認して低温時異音の再現試験を実施したところ、計算上軸受すきまが詰まる温度差になると異音が発生した(図9)。

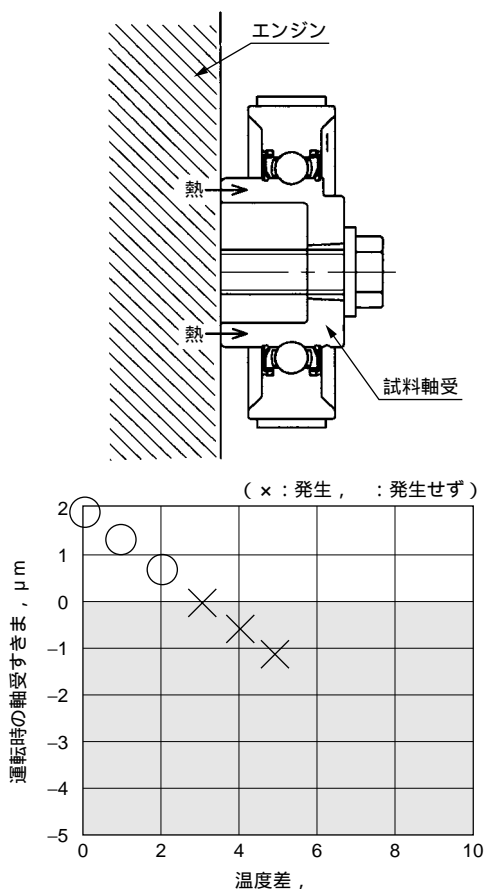


図9 内輪、外輪温度差と冷間時異音発生状況

The relation between difference in inner ring-outer ring temperature and abnormal noise under low temperature

ただし、実際は内部発熱、ベルト摺動熱など短時間で軸受全体の温度が上昇するので、このような状態は長くは続かない。(注1：低温時異音は、温度が上昇しグリースが柔らかくなると発生しない。)

以上のように、アイドラ軸受の運転時すきまは、単体でのすきまより小さくなることが検証できた。

つまり3.3で述べた要因A(軸受すきま詰まり)を防ぐためには、あらかじめこれを考慮して単体の軸受すきまを設定する必要がある。

4.2 転動振動強制力について

次に転動振動強制力に関係する項目の影響を確認するために、冷間時異音の再現試験を実施した。

3.1で実施した異音再現試験の時の条件(表1)をもとに、各要因を変更した場合に、低温時異音の発生がどうなるかを確認した。試験には表2のグリースを使用した。また、軸受すきまの影響も確認するため、ボルトで取付けた後、負すきまの軸受A、正すきまの軸受B(手回して回転調子良好)を使用した。表3に試験結果を示す。

試験の結果、低温時異音は、軸受すきまが詰まっている場合に発生すると推定できた。

ただし、軸受すきまが詰まっても、

低温時に柔らかい(基油粘度小)グリースほど発生し難くなる。

ベルト巻角が大きいほど、発生し難くなる。

ベルト張力が大きいほど、発生し難くなる。

は、グリースが柔らかいほど、転動振動の強制力が小さくなり、
についてはベルト巻角が大きいほど、ベルト張力が大きいほど軸受にかかる荷重が大きく外輪の拘束力も大きくなるので、軌道と転動体との間の弾性ばねが形成され難くなるため、それぞれ低温時異音は発生し難くなる。

表2 グリース性状
Properties of greases

項目	グリースA	グリースB
基油	エーテル系合成油	ポリ オレフィン
基油動粘度 (cSt)	40	89
	100	11.4
混和ちょう度25, 60W	227	261
滴点()	270以上	260以上
低温トルク (-30)	起動	0.4974
	回転	0.784
		0.1442
		0.245

表3 試験結果

Test results

(× : 異音発生 , : 異音発生せず)

No.	要 因				結 果 (× : 異音発生)
	軸受	グリース種類(表2)	ベルト巻角(°)	ベルト張力(N)	
1	軸受 A (負すきま)	グリース A	40	200	×(注)
2				400	×(注)
3			140	200	
4				400	
5		グリース B	40	200	
6				400	
7			140	200	
8				400	
9	軸受 B (正すきま)	グリース A	40	200	
10				400	
11			140	200	
12				400	
13		グリース B	40	200	
14				400	
15			140	200	
16				400	

注) No. 1の方が, No. 2よりも異音が大きい

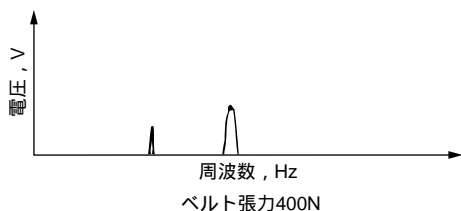
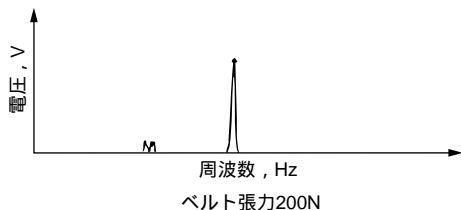


図10 パワースペクトル

Power spectra

とベルトの摺動熱によって軸受全体の温度が短時間で上昇するのでこのような状態で低温時異音が発生する可能性は低い。

ベルト巻角, ベルト張力, グリースによって異音の発生状況が変わってくる。ベルト巻角やベルト張力が小さいほどあるいは低温時に硬いグリース使用の場合など低温時異音が発生しやすくなるので, このような条件でアイドラ軸受をしようする場合のすきまの設定は特に重要である。

5. おわりに

再現試験の結果, アイドラ軸受の低温時異音は運転時に軸受すきまが詰まることで, 軸方向に弾性ばねが形成され, 外輪が転動体の外輪通過振動と共振して発生していることがわかった。

したがって, 低温時異音の発生を防止するには, 下記の点に注意する必要がある。

ナット締付けによる軌道膨張を考慮して, 運転時の軸受すきまが詰まらないように軸受すきまを設定する。

エンジンの熱が内輪に伝わり内輪が膨張するとすきまが詰まるが, 実際は軸受の内部発熱

筆 者



上田 満*
M. UEDA

* 軸受事業本部 軸受技術センター
自動車技術実験部