米*RBTS* 総代理店
NIKI
株式会社 二樹エレクトロニクス　青葉事務所
〒225-0024　横浜市 青葉区 市ヶ尾町 1068－54
電話：045-973-7451　　FAX：045-973-5604
e-mail：rbtsniki@246.ne.jp　　homepage：www.rbts.com

平成１３年２月

ARMD テクニカルニュース　　Ｎｏ．１

（創刊号）

付　録

ARMD プログラムアラカルト

杉村回転機械研究所　杉村 章二郎

706-8651 岡山市山崎 335-41

e-mail：sugiplan@mb.infoweb.ne.jp

＊　著者紹介

今回、弊社が ARMD を取り扱う前のフランクリン研究所（FIRL）の時代からプログラムを導入され、長く振動解析プログラムを利用され、現在も愛用されており、RBTS も訪問され、また日頃メールを通じてプログラムについて RBTS の担当者とも連絡を取り合っておられる三井造船機械工場技師長の杉村様に特別にお願いしてプログラム使用上のポイントを語ってもらいました。杉村様は、技術士としてまた米国の PE として杉村回転機械研究所を開いておられ、回転機械の振動解析、トラブルシューティングには、30 年以上の経験をお持ちで、弊社としても技術的協力をお願いしています。

＊　本文

フランクリン研究所の時代から、長年にわたって ARMD プログラムを使ってきて、私自身が ARMD のプログラムを大変気に入っております。今では FIRL 時代のものに比べて格段に使用し易くなっておりますし、かつ高速化されており、ますます愛用しています。日頃使用していて気の付いた点や、RBTS とのやりとりの中で、これまでに得た知見を紹介して、少しでも皆様ユーザーの参考になればと思い、僭越ながら執筆致しました。振動計算をする人々の間で ARMD が標準の共通語となれば幸いと思っています。

さて、皆様には、使用しておられる間に、計算できなかったり、あり得ない結果になったりされた経験が、何回かはおありだと思います。そういうことを避けるために、以下にご紹介する点は、ご参考になるものと思います。よく使いこなせたとき、思わぬよい結果も生まれて、更なる愛着が出てくるものと心得ています。

１．　軸受け関係プログラム

1-1. 間隙の考え方基本

主として JURNBR での軸受計算は、基本的には、軸受理論で使用するゾンマーフェルト数を使用した無次元特性計算と、ユーザーの使用する仕様に合わせた有次元計算に分かれていますことは、皆様承知の通りです。このプログラムでは正確にはゾンマーフェルト数の 24π(L／D)倍を使用しています。（L：軸受幅、D：軸受直径）

ただしここで、軸受間隙については、無次元計算は、全て、machined clearance、つまり軸受側の内面曲率を軸 journal と同心にしたときの隙間（加工隙間）が基準になっています。これは軸受無次元計算が、軸受けの single　pad で計算され、それがいくつか組合わされて一体の軸受になっていますが、組み立てる前の single pad での無次元の計算は、machined clearance しか使えませんのでやむを得ないことです。

一方有次元のユーザーが使用する間隙は、軸受を組み立てて、軸受内を実際に軸がどれだけ動くかで決まる間隙、

つまり組み立て間隙 assembled clearance です。プログラムの基礎として使用する間隙と使用者が知りたい間隙が違います。初めは多少トラブリますが慣れてしまうしかないでしょう。いずれにしても注意点です。

1-2. 偏芯率の考え方

軸受は偏芯率が計算のベースになりますが、この偏芯率も基本的には上で述べた加工間隙が基準になっています。また計算では、その点で誤解がないように偏芯率ではなく偏芯量で記述しているところもあります。

この偏芯量と偏芯率を混同してしまうこともあって結構やっかいです。偏芯量は同じでも、組立間隙の中を幾ら偏芯したかと、加工間隙を基準に幾ら偏芯したかでは、偏芯率は当然違ってきます。

1-3. 流量設定

計算には軸受給油量が当然必要です。しかし軸受パッドの中を流れる油量は、給油量には関係なくパッド内油膜厚さと油膜の周速で決まってしまいます。場合によっては給油量よりはるかに大きな量になることがあります。

また、軸受パッドからは周速と直角方向に油膜内の油圧に基づく漏れ量があります。Side leak ですがこの量が給油量より多い場合が出てきます。つまり入る量より出る量が多いと言った矛盾が起こります。

しかし軸受計算を始める前は、これらの油量については一切分かりませんので、適当な給油量で計算を始めざるを得ません。計算してみて初めて side leak 量が給油量より多かったことが分かります。
このとき軸受は starving（潤滑油の枯渇）を起こした状態となって物理的には成り立ちません。ここでプログラムでは、給油量が side leak 量より少ない場合は、default として給油量を side leak 量で置き換えると言う措置を取ります。軸受計算の POST で multiple case を行われると、supply flow が途中から side leak と同じ量になっていることに気づかれるでしょう。このときは給油量を side leak 量より若干多めの量にして再計算してください。normal な計算になるはずです。

このときの給油量の決定の仕方に JURNBR では二通りがあります。一つは、給油圧力を指定する方法です。軸受は基本的には軸受上流にオリフィスを持っていることを前提としています。給油圧力はオリフィス上流の圧力ですからオリフィス径が決まっていれば給油圧力を変更することにより給油量を指定出来ます。従って給油圧力とオリフィス径を指定すればいいわけです。オリフィス径を指定しないと default で 4.762mm (3／16inch) が自動的に取られます（なぜこの径にしたかは、RBTS にはまだ聞いたことはありません)。給油圧力の大小は軸受け特性には関係ありませんので、そのことを承知で希望油量になるまで給油圧力を上げてみることも良いでしょう。

もう一つは、給油圧力は 0、オリフィス径も 0 にしておいて、給油量を Input する事です。給油圧力と給油量の両方を指定すると給油圧力が優先的に採用されますのでご注意ください。Tilting pad 軸受けの場合は、給油量を指定する方法しかありません。

1-4.　out of range の処理の仕方

有次元の POST 処理をされると、時としては out of range の alarm が出て計算が出来ないことがあるのを経験された事がおありだと思います。

理由は有次元で計算したい範囲が無次元計算の DATA 範囲を超えてしまっている事です。無次元計算での偏芯率指定範囲を増やして再計算する必要があります。このときの偏芯率の指定法は auto24、auto50、user specified（max49 まで）の３種類がありますが、auto24 でも auto50 でも計算できなくて、user specified でも出来なかった時が問題になると思います。このときはなかなか微妙な調整が必要となります。特に偏芯率の大きくなる条件の軸受の場合は苦労するところです。低速高荷重の軸受、レモン型軸受では問題です。

軸受荷重と偏芯率の曲線が荷重に対して偏芯率が飽和する様な感じになりますので、軸受荷重の range を増やすためには計算偏芯率をわずかづつ増やして行く必要があります。このときは、偏芯率と軸受荷重をグラフ表示させて見ることをお薦めします。増やすべき偏芯率の値をグラフ上から見当をつけて置かれることが良いと思います。２円弧

軸受ではレモン比（上下隙間に対する左右隙間の比率）により、最大偏芯率は決まります。レモン比２であれば最大偏芯率は 0.5、レモン比４であれば最大偏芯率 0.25 となりますので最大偏芯率付近を細かい刻みで指定する必要があります。またこの最大偏芯率以上は指定する必要はありません。指定しても無視されます。

1-5.　0°Ｆ　output

軸受け計算は、給油温度を指定して計算が行われますが、プログラムでの計算は、まず油膜平均温度を仮定して行われます。計算自体は、油膜内の温度は入り口から出口まで一定で計算されます。つまり給油温度、油膜平均温度、油膜出口温度はそれぞれ一定で計算されます。これらの温度はヒートバランスを取りながら収束計算されて収束したところで確定されます。

この計算手法で計算するときに最初に１次近似として採用される油膜平均温度は、給油温度の 1.5 倍が取られます。40℃が給油温度であれば、第１次近似の油膜平均温度は 60℃が採用されることとなります。ところがこの 60℃という温度で計算すると、油膜粘度が小さく偏芯率が大きくなって、やはり無次元計算で行った偏芯率と軸受荷重の関係が計算したレンジを越えてしまうことが起こります。この場合に計算は、0°Ｆ＝－17.77℃で油膜温度は置き換えられてしまいます。つまりこの場合は正常に計算されない事になります。－17.77℃で出力される場合を経験された方は多いと思いますが、…。

この場合の対策として、給油温度を０で Input して油膜温度を仮定して Input する方法が取られます。例えば上記の例では油膜温度を 50℃等で計算すると、平均油膜温度の第１次近似は 50℃となり、無次元 DATA の range に入る可能性が出てきます。つまり計算は実行されます。ただしこの場合は、ヒートバランスから給油温度が逆に計算されて出力されます。従って例えばこの例で給油温度が 43℃と出力されたら、平均油膜温度を 43－40＝3℃分下げて 50－3 ＝47℃で Input し直すと給油温度は 40℃に近い温度で計算されます。何回か修正すれば、精度は上げられます。これらの計算は、周速が小さくて荷重の大きい軸受や給油温度が高い軸受、潤滑油の粘度が低い軸受などで問題になることが出てきます。

扁平度の高い２円弧軸受け（レモン型軸受け）の場合も良くこの条件にひっかかります。その際には多少のテクニックが必要になってきます。

1-6.　ヒートバランス

軸受のヒートバランスの考え方は、マニュアルの付録に記載されていますが、軸受給油温度よりも低い温度が軸受内に出来てしまうことがあります。

例えば、groove temperature が給油温度より低い値になってしまう場合があります。本来は給油温度と pad 内を通過してきた carry over flow との混合温度になるところですが、計算の条件によっては、carry over flow が negative になってしまい、groove temperature が給油温度より低くなってしまうことが起こります。注意が必要です。この件については、別途機会があったら説明します。プログラムの誤りではないのですが、計算条件の与え方が悪いと起こるようです。

1-7.　pad 面形状の決め方

軸受 pad 面の形状は grid を決めて与えることが出来ますのでほとんど好きな形状の軸受が計算できます。このときの注意として grid 位置の周方向角度での与え方に各 pad の初まりから角度を与える local angle と、global angle つまり軸受全体の位置で角度を与えるものとがあります。間違わないように注意が必要です。pad 内の recess を与えるときは、local angle で任意の位置に溝を付けたい場合などは、global angle が必要です。マニュアルの参考図をよく見て間違わないようにする注意が必要です。

軸受形状はかなり自由に計算できますので、レモン軸受でオイルダム付き、かつ食い違い型軸受 Canted Bearing

を計算してみたことがあります。

慣れないと苦労しますが、見事に計算出来ました。おかげで実際には計算が難しい事もあって使ったことはありませんでしたが、計算が出来て、効果も振動解析で比較出来ましたので実際に使ってみる事が出来ました。実際に振動設計における選択肢が増えたことを喜んでいます。ARMD のおかげです。

２． 横振動解析プログラム

2-1. stability の考え方

回転軸の自然振動応答を対数減衰率の大小で判定するのが主な用途ですが、自然撓み曲線が計算できたり、自然振動から強制振動への過渡状態での振動波形や軸芯軌跡（オービット）が解析できて非常に使い勝手の良いプログラムになっています。

気を付けなければならなことがいくつかあります。

stability で計算できるのは、deflection と Mode Shape ですが、deflection は、回転に関係ない静荷重に基づく自然撓みが各軸部で計算できます。

梁としての剪断力、モーメント、傾き等が計算できます。ここで減速機等の様に自重に基づかない荷重による撓みは、Element、Disc menu では入力できませんので計算できないことになります。しかし external force として入力すると計算可能です。

Mode Shape は､特定の１つの回転数で運転しているときの各固有値の安定性を求めるものですが､この固有値は、回転軸を昇速中に問題となる危険速度とは違うものなのでご注意ください。

2-2. stability map

これは､上記の stability 計算が特定の一つの回転数で行なわれるのに対してそれを多くの回転数きざみで計算させて、マップに書いてしまったもので、回転数毎に固有値の変化状況、対数減衰率の変わり方を見ることが出来ます。このマップ上で初めて回転昇速中の固有値を見ることが出来ます。昇速中に固有値に一致する回転数とそのときの固有値の対数減衰率が分かります。ただしここで注意しなければならないのが、この map を計算するときには、軸受 pedestal のバネ剛性、減衰が無視されることです。計算処理上あまりプログラムを重たくしないためと、多くの場合 pedestal の影響は少ないことによるものです。

2-3. critical map

これは、非減衰の固有値を軸受剛性を変えて map で表現したもので、減衰は考慮されていないことと、軸受剛性は、pedestal、軸受油膜全て含んで支持剛性として計算していますので、当然上記の stability での固有値とも違った値となります。単純な軸剛性と支持剛性の影響による固有値が計算されています。付加マスの慣性モーメント、慣性極モーメントも無視されています。

この map は飽くまでも、設計指針として利用するものであり、実際の振動の状況を知るためのものではありません。用途を考えて使うべきでしょう。

2-4. unbalance response

特定の部位に予想されるアンバランスを付着して、強制減衰振動を計算するものであり実際の振動状況を一番良く表しているものと考えれらます。従ってこの計算で出てきたピーク振幅の中で危険と判断されるものを危険速度と定義されます。

2-5. 振動解析での軸受特性の扱い方

ARMD の良いところは、軸受計算が済んでいて、無次元計算 DATA の FILE があればそれを自動的に読み込んできて、軸受特性まで計算してくれることです。軸受バネ常数と減衰係数です。これを全て手で入力していたのでは大

変なことになります。例えば6軸受けのローター軸系で5種類の回転数 DATA を入力する場合は、6×5×8＝240 点の入力を手でしなければなりません。考えただけでも大変なことです。これを自動で計算してくれるところが嬉しいところです。おかげで非常に短時間で回転軸の振動解析が出来るようになっています。

ここで一つ注意したいことがあります。それは、よく調べないと、軸受計算で計算した特性と似ても似つかない軸受特性で知らぬ間に計算が行われている事です。

軸受計算の時にできれば output を出しておいて、振動計算が終わった時に Text output で使われた軸受特性が見られますので比較して見ることです。

Input file や File menu の Report でも使われた軸受特性の値を知ることが出来ますが、これらの File は計算終了後 save しないと更新されませんので、違う値が残っていることがありますので注意が必要です。

この軸受計算で求めた特性値と振動計算で使われた特性値が違ってくる理由は、基本的には Input miss によるものですが、丁寧に Input していかないと間違うことがあります。私も何回か経験があります。

まず軸受特性の無次元計算 DATA の FILE のみが軸受計算から振動計算に呼び込まれてきますので、有次元 DATA にするには、改めて諸条件を Input してやる必要があります。

潤滑油特性、supply temperature、supply flow、chamfer dimension、clearance、等 Input しなければならない項目は少なくありません。

特に軸受の項目で述べました様な計算のし難い軸受の場合は、注意しなければなりません。場合によって手で入力する必要が出てきます。

2-6. 過渡応答 Time-transient analysis

この解析は、回転軸の自然振動と強制振動の両方を正直に解いていったもので、自然振動が発生している段階から、それが減衰して強制振動のみが残った状態まで時間刻みで振動振幅波形が解析できます。

この解析は、利用に仕方によっては非常に奥深く面白いものです。

この解析で軸芯軌跡オービットを書かせることが出来ます。定常回転でのオービットは上記の強制振動に完全になった状態でのオービットですから、時間刻みを充分長い時間取ってみることです。例えば時間刻みを 0.0001 秒刻みの 20000 step 位取ってみることです。勿論計算は定常回転から start します。次に output control で continuation run をチェックして、1回転分のステップ数を書かせます。例えば 12000rpm の機械であれば、200Hz ですから 1 秒間に 200 回転しますので、1回転は 5 ms になり、今の計算は、1 step が 0.1 ms ですから 50 step で 1 回転描くことになります。こうすると 1 回転分のオービットが描けて見やすくなります。

またさらに、再度 output control で continuation run にチェックを入れて、1回転以下の step で、例えば 10 step で計算させると、1回転描かせたオービットの次の 10 step 分のみが描かれます。こうすると、オービットの回転方向を知ることが出来ます。こういった利用方法もあります。

このほか回転軸が静止部に接触を起こしたときのオービットの歪む状況や外力を受けたときの軸の挙動など様々な事が解析可能です。

振動計算の入力上の注意点等細かい点は省略しましたが、また機会があったらご説明したと思います。また以上の説明で間違っているところ、思い違いしているところなどご指摘いただければ幸いです。

以上