

退官記念講演

機械力学の思い出

Memory of Study on Machine Dynamics

巨 理 厚*

Atsushi WATARI

停年退官講演の要旨を記述したものです



このたび停年退官するに当たり、生産技術研究所における最後の講義の機会を与えられましたことに感謝いたします。難しい話はすでに大学院の最後の講義で済ましたので、今日は私の歩いてきました道を振り返りながら、機械力学についてお話したいと思えます。

機械力学と申しますのは、日本語では良く表現できるのですが、外国語に適当な訳がありませんので、はじめは mechanical dynamics と訳しましても外国人にはあまり通用しないのですが、機械振動を mechanical vibration というのは非常によく理解されるようです。とにかく機械力学とは機械の運動とか振動、あるいは広い意味では自動制御とか最近話題になっている耐震の問題などというものすべて、つまり簡単に言いますと機械に関するダイナミクスであります。今日は特にその中の振動関係についてお話ししたいと思います。

我国において、どういふふう振動が研究されてきたかと言いますと、一番最初は船と地震とを中心に、振動の研究が展開されてきて、それからたしか東京大学では大正11年か12年頃に、当時の付置研究所である航空研究所で、振動の研究が開始されています。その時にとり上げました問題は、飛行機の翼のいわゆるフラッターという自励振動の現象ですが、これらの問題を中心に特に昭和7年から8年頃にかけて、航空機の振動についての研究が急速に進展しております。また昭和17年すでに戦争がはじまっておりますが、その頃は飛行機の振動に関して日本中にわたる広範囲な共同研究が行われております。これは飛行機が振動のために、よく落ちたということが、一番の理由だったと思えます。戦後になりまして、昭和24年にはじめて日本機械学会に機械力学部門委員会が設立されてきて、その委員会がまず取り上げました問題は、機械の振動について実際問題を調査して、それを解決しようということでした。その後の進歩については、もう皆様ご存知と思いますが、機械振動というのが、いわばそろそろクラシックになりかけているという現状です。確かに理論面ではそうかも知れませんが、

実際の機械の振動問題につきましては、未解決の問題がたくさんありますし、これからも出てくるだろうということが予想されます。

つぎに別な見方で、振動についての書籍なり教科書というものが、どんなふう出版されてきたかということを経史的にたどってみますと、いわゆる線型振動という問題につきましては、ほぼ1890年から1900年という、今から80年ないし90年前にほとんどの教科書といえますか、有名な著書が出揃っております。またその後に出て出てきましたのは、ご承知の非線型振動についての書物あるいは教科書ですが、これらはほぼ1920年から1940年頃に出尽しております。ご承知のように、非線型振動というのは非常に難しい問題でして、たいいてい場合には厳密には解けないということで、皆さんが試みされたのは、つまり近似解を求めることでした。その近似解が、ポアンカレとかハンデルポールなど多くの有名な方々によって、別々に求められまして、それが確か1929年にアンドロノウという人によって、それらの解が一次近似解では全て一致するということが示されてきて、それ以後非線型振動の解析的近似解が確立しました。ですからその直後に非線型の本が一斉に出てきたということだと思います。その後につづいて、いわゆる不規則振動と申しますか、振動を統計的に処理するという方法の基礎的な理論を書いた著書というのが、1960年頃にだいた出版されております。機械振動に関して理論めいたことはほとんど出尽した感じですが、先ほど申し上げましたように、応用面ではまだまだ問題がありますことを重ねて申し上げておきます。

先ほどご紹介いただきましたように、私が大学を出まして最初に手がけましたことは航空発動機的设计でありました。ちょうど戦時中華やかであった97式重爆、たぶんご存知ないと思いますが、それを改良しまして18シリンダW型水冷発動機を載せました97式重爆改というのがありました。そのプロペラの減速装置、ファルマンギヤといいますがベベルギヤを使った減速装置ですが、その設計をしてやっとなんと喜んでという頃が、ちょうど私が第二工学部に移ってきた頃であります。その

*東京大学名誉教授

ようなわけで、はじめのうちはエンジンのダイナミックスということ調べておりました。当時の航空発動機にはいわゆる水冷のV型とかW型などという型式のものが多く、たとえばV型といいますのは、現在の自動車のエンジンにもあり得るわけですが、日本の飛行機のほとんどは空冷の星型発動機を使っておりました。後者は1個のクランク軸に、7個とか9個のシリンダを放射状に配列してあり、必要によりそれを二重にして14とか18というシリンダ配置にして使っていました。たとえば7シリンダ星型発動機の場合は、1個のクランク軸によって7個のピストンが動かされるわけですから、1個の主のコンロッド (connecting rod) に対して、副のコンロッドが6本ついて一緒に運動しますので、一番困ったことはピストンの上死点が同じ円の上にこないで不揃いになるということです。飛行機の場合はとくに空気抵抗を減少するという意味で、エンジンの外径ができるだけ小さくそのため円形になること、つまり上死点を揃えることが必要になります。そのようなことで、ピストンやコンロッドなどのリンクメカニズムなどを研究しましたが、私の研究のスタートであります。

その次に私の恩師中西先生からいただきました問題が摩擦吸振器であります。ちょうどその頃ミシガン大学のオーモンドロイド教授、彼は皆様ご存知と思いますがデンハルトク先生のまた先輩であります、その方が論文を書いておられたのですが、中西先生がそれをお読みになって、これ一寸おかしいからお前計算してみてくださいと言われましたのが、この問題に取り組んだきっかけであります。摩擦吸振器の話をごこれからいたしますが、実はそれが主体ではなく、お話ししたいのは研究者が一人前になるには問題を見付ける能力を身につけることが必要であります、その方法の一つに論文とか本を読んでみたときに、疑問点や不十分な点がありましたら、そこから一つ問題が出てきますということをお教えされたものと思っています。図1は摩擦吸振器の非常に簡単なモデルですが、図でKという軸にIという円板が付いています。前者はクランク軸、後者はたとえばフライホイールその他運動部分の質量と考えていただきたいのですが、このクランク軸のねじり剛性と慣性モーメントで定まる一つの固有値があるということはお判りと思います。この軸系にエンジンのトルク変動による周期的なモーメントが外乱としてはたります。ちょうど外乱の振動数と軸系の固有振動数とが一致したときに、円板が非常にはげしく振動する、いわゆる共振をおこしますが、その共振を避けるために別なばねと質量とからなるいわゆる吸振器を付加してやりまして、主振動体Iの振動を減らすというのが吸振器であります。この吸振器には二種類のタイプがありまして、一つは単にばねと質量とからなっていて、ちょうど主振動体が共振しようとするときに、自分が身代

りになって共振して主振動体の振動を零にしてやるという型式で、ダイナミックダンパと言われているものです。このダイナミックダンパにも二種類ありまして、弾性的な復原力を利用するばねを使ったものは、ある一定の回転数の所でしか吸振器の役をしないということで、定速度型のダイナミックダンパと言われています。他の一つは遠心力の場を利用してばねの作用をさせるようにしますと、ある特定のたとえば2次のトルク変動に対するものはどのエンジン回転数でも全部消してやれますので、可変速度型のダイナミックダンパと言われるものであります。これにはご承知のテラーダンパとか、あるいは簡単な振り子やリングなどを吊り下げてやるという形で実現されているものがあります。つぎに別な吸振器として、上述のばねと質量のほか減衰器を付加したものがありまして、これを減衰型吸振器と言っています。その場合の減衰としましては、いわゆる粘性減衰と固体摩擦あるいは乾性摩擦とを使っている二種類があります。いずれにせよ、それを作動させまして振動のエネルギーを摩擦熱として吸収させるという型式です。このような吸振器の場合、もともと親の振動の身代りをするという性格もっていますので、吸振器のばねの応力が非常に大きくなって、ばねがもたないという現象がおこります。そのために考えられたのが図1に示しますように、吸振器のばねを除去して主振動体Iに直接円板I_aを、粘性減衰なり乾性摩擦なりを介して取り付けてやるという摩擦吸振器であります。このうち粘性減衰を利用したものはフードダンパという商品名で市販される状態になっていました。また固体摩擦吸振器の方はランチェスターダンパという名前で、古くから内燃機関に使われていました。後者の運動はご承知のように主振動体Iと吸振器の円板などが一緒に動く場合と、相互に相対運動つまり相対がりがある場合とが一周期の間に交互におこるという、いわば非線型の問題になります。しかしこの場合、それぞれの円板と一緒に動く場合とにっている場合とは、別々の線型の運動方程式に支配されますので、解を境界でつないでやることによって厳密解を求めることができます。この計算はタイガーの手回し計算機しかなかった当時としては非常に難しいものでしたが、厳密解を求めて先生の所に持って行きましたのが図2なのです。図2はたとえばT/M=1.0のカーブで見ますと、S=0のカー

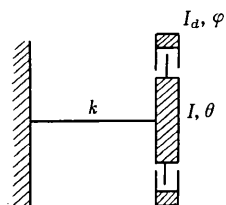


図1 摩擦吸振器モデル

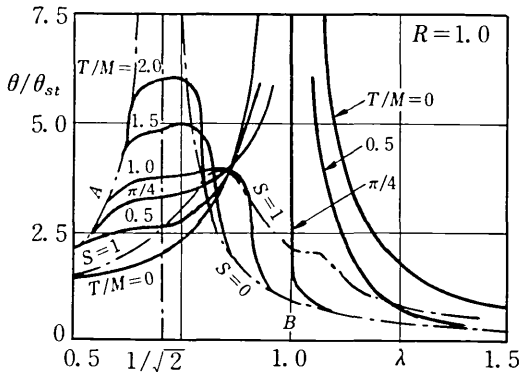


図2 共振特性 (計算)

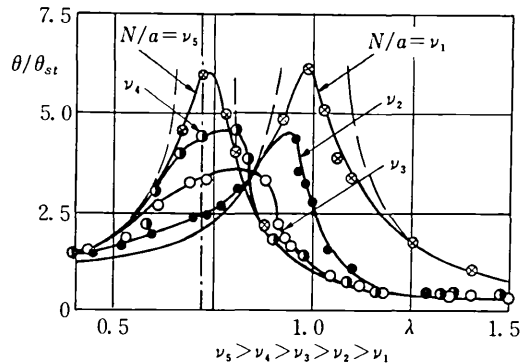


図3 共振特性 (実験)

ブ上では両者が一緒に動いて、Aの所から一緒に動いたり止ったりする期間が一周期の間にありまして、それからまたBの辺までできますとまた一緒に動くということを示しています。私の計算結果ではAの離れるところは不連続点になっていてカーブが折れるのですが、それを先生にお見せいたしますと、先生はいとも簡単に鉛筆でその附近を全部丸めてしまいました。ここは計算結果はこうなりますよと申し上げましたところ、実際にはそうはならんよといとも簡単に申されましたが、そのため報告にはみんなこのように丸めて発表しているということをお話したかったのです。現実にはその後第二工学部の人に装置を作って実験で求めました結果が図3で、確かに離れる所は決して不連続点には見えません。中西先生のお話になりましたことは、問題を見付けるには論文や本を良くしかも疑問をもって読みなさいということと、もう一つは計算結果は現象をよく考えて整理しなさいということをお示しになったものと思います。

航空機関系の研究はこのくらいにしまして、つぎに戦争に負けまして航空関係の研究は全ていけないということになり、いわば研究の面で失業したわけでありました。その時二つほど取り上げましたものの一つが繊維機械の問題です。戦後になりまして繊維機械の能率を何とかして向上しようじゃないかということになりまして、恩師の兼重先生のご指導をいただいて、現在本郷におられます渡辺、藤井両教授と一緒に手がけましたのが、精紡機のスピンドルの研究でした。糸を巻き取る場合にスピンドルという片持ち支持の回転する軸がありまして、それに木管というチューブをはめこんで、その上に糸を巻きつけてやるのですが、能率を上げるためには巻き取り量を多くすることとスピンドルの回転を上げること、つまり早く多く巻くことが考えられました。その場合問題になりましたのがスピンドルの振動問題でした。その時にはじめて回転軸の危険速度という言葉は一体どうい

うのかを調べましたところ、その当時の教科書のどの本も説明が非常に不親切で、ある教科書では回転軸が公転する、いわゆるふれ回りをする時の回転数がその軸系の横振動の固有振動数に等しい、これが危険速度であるという説明をしていましたが、これではなぜ危険という言葉がつくのか理解できません。また少し親切な本では、回転軸にはおおよそどんな場合にも何らかの不釣合があるので、そのため軸の中心と重心とが一致しない、したがって鉛直軸の場合に上から回転軸を見ましたとき、軸受中心を中心にして軸の中心と重心とがその順に一直線をなしてふれ回ります。このふれ回りの半径すなわち振幅は計算で求められますが、回転数を上げてゆきますとどんどん増加して、ある特定の値つまり横振動の固有振動数に一致しますと無限大になります。ところがさらに回転数を上げますと、今までは軸受中心の回りに軸中心と重心とがその順で回っていましたが、つぎには重心がひっくり返って軸中心の内側になって回転するようになり、さらに回転数が上がると振幅は減少して零に近付くという説明をしております。ご承知のようにドラバールタービンはその考えによって、固有振動数をうんと低い所において、高速で安定に回そうとする回転軸です。この説明は確かに回転軸の問題をある程度良く説明していますし、ふれ回りの半径が無限大になるという意味で危険速度が理解できますが、危険速度を通過する場合に、今迄軸中心の外側にあった重心がどうして軸中心の内側に反転するかというような説明がありません。調べてみますと、回転軸の運動というのは典型的な非線型振動の問題になります。このことを書いているのは非常に古い本ですが、ストドラの蒸気およびガスタービンの本でして、その運動方程式を示しております。こう言う問題は物を見るに如くはないと考え、精紡機のスピンドルをもらって参りまして、その運動を観察することにしました。今から約30年前でしょうか、当時私の所で持っていました振動計とい

うものは、多分今では骨董品になっていてご存知ないとは思いますが、ガイガーの振動計とアスカニヤの手持ち振動計などでした。後者を簡単に説明いたしますと、ダイヤルゲージの一種でその針の動きを記録紙の上に描かせる形式で、そのほかピエゾを用いたピックアップもありましたが、使うことがかなり難しかったようです。また現在の振動計の原理的説明はありましたが、使用できるものはありませんでした。このような回転軸ですから、何かを取り付けたり触っては運動が観測できなくなります。精紡機のスピンドルは一体どういように回っているのだろうか。果たして丸く回っているかなどを観測するために、スピンドルの天辺に小さなミラーを貼り付け片方から光を当てまして、天井に絵を描かせました。このミラーも多分皆様ご存知ないと思いますが、昔の電磁オシログラフのガルバに使われていたもので、たしか $0.5 \times 1.0 \text{ mm}$ 位の大きさだったと思います。この天井に描かせた図形をみますと、回転軸が丸く回っていることは皆無で、特定の回転数、ちょうど軸の回転数と先ほど述べました危険速度とが一致したときは、綺麗な閉じた図形になりますが、それも円ではなくて一般的には楕円軌道を描いています。このような絵を曇りガラスの上に描かせて撮った写真が図4で、ちょうど $\omega = p$ というところが1次の危険速度と回転数とが一致した所で割合に綺麗な楕円になっています。さらに回転数が危険速度の2倍になりますと、一つくびれのついたつまり交点が1個、3倍になりますと交点が2個あるような閉じた図形が得られますが、それらの中間ではカーブが閉じることはありません。ただこれだけでは解析的になりませんので、軸の運動の時間経過を直角2方向について求めようと思い、光を使って運動する軸の蔭絵を撮りました。それをトレースしましたのが図5で、直角2方向の波形が得ら

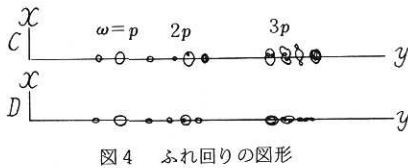


図4 ふれ回りの図形

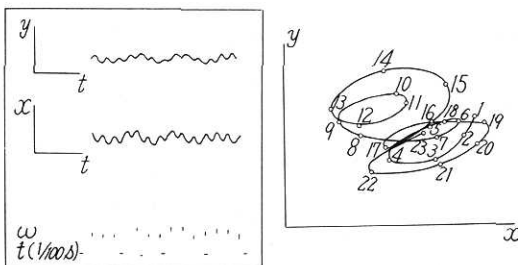


図5 ふれ回り運動の直角成分

れますので、それを合成しますと回転軸がふれ回っている軌道が求められます。これを見ても回転軸は決して丸く回っていないのですが、その非線型問題を近似的ではありますが、ある程度解きまして、精紡機のスピンドルのラージパッケージとありますが、捲き取り量を増した回転数を上げることができました。当時は実験室には何も無かったので、こわれた電磁オシシロのミラーとオプティカルボックスを利用して、蔭絵をとるということにしたのですが、今日では仮に光学的方法を用いるにしても、光電管からさらに電子回路に入れデータ処理装置を使うなど、簡単に図形を求めることができると思います。ただ多少の精度の違いはあるにせよ、現象の観測には少しも変りがないと思います。しかもその時一番高価なものは、オシログラフのミラーで1個の値段が10円もしましたが、実験の費用は縮めて100円にならなかったと思います。その当時私は助教になる前に資格審査という期間がありまして、その間嘱託として年手当1500円を給するという辞令をもらっておりましたが、これを現在の助教クラス初任給と比べて倍率を求めてみますと、当時の100円は現在の13万円位になります。おそらく13万円では現在これだけの研究をすることができないのではないかと思います。

つぎに先ほどご紹介いただきました三枚ばねについて少しお話したいと思います。戦争直後の我国の自動車は乗心地が非常に悪く、当時の乗用車は現在のトラックよりも乗心地は悪かったようです。そこで昭和25年に平尾教授ほか数人のグループで、文部省から科学試験研究費の交付を受けまして、自動車の振動を緩和しようという研究をはじめました。この研究では自動車の振動系を理論的ならびに実験的に解析しまして、懸架ばねやショックアブソーバはどうあるべきか、またエンジンはどんな風に吊ったらよいかなど、振動乗心地を改善する方法をいろいろと調べました。その中で肝心なばねですが、当時は大部分のものが図6の下方に示すいわゆる重ね板ばねを使っていました。重ね板ばねはそもそもの出発点が、平等強さの片持はりということですから、板厚が一定であると展開図が三角形になり、これを等分割して両側から重ねてゆけば重ね板ばねが出来るというわけで、その

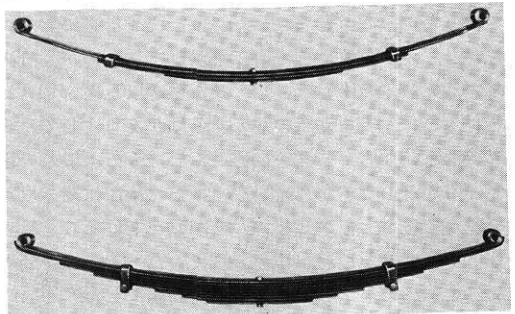


図6 三枚ばねと重ね板ばね

設計公式には三角形の片持りを押したときの荷重とたわみの関係式を用いていました。ところがその設計公式が実測値とどうしても合わない、といいますが、板をこれだけ重ねておりますので、板間にかんがりの摩擦があります。したがって荷重-たわみ線図を求めますと、大きなヒステリシスを描いて、実験をやってもなかなか合いません。この研究をはじめましたときに、従来の設計公式と称するものに50数種類ありまして、それらは摩擦の補正とばね定数を合わせることから導かれたものでした。自動車の乗心地を改善するためには、懸架ばねのばね定数をちゃんと押さえなければならぬので、ばねの荷重とたわみの関係を調べることにしました。やはり見るに如くはないということですが、研究室では実物を試験し難かったので、小さなモデルを作ってもらい、たしか第一部の材料試験機で荷重試験を行いました。もしも平等強さの三角形の板という仮定が成り立つとしますと、荷重を受けて変形するときに板と板との間に隙間はないはずで、同じ曲率でなければならぬのに、荷重試験をしてみますと、全部の板と板との間に隙間がありまして、単に接触端の所では板が力を伝え合っているという状態でした。そのような板端接触の仮定で計算式を導きましたが、少し複雑な計算式でしたが幸いにも漸化式が見付けられましたため、簡単に計算できるようになりました。この計算結果は荷重試験の結果と比べて、ばね定数についてはかなり良く合っていて、さらにこの計算公式によりますと各ばね板の応力分布をもすべて求めることができ、設計がきわめて容易になりました。このように設計が自由に行えるようになり、また乗心地改善の要求からは板間摩擦は少ない方がよいということで、本当は一枚ばねを作りたかったのですが、もしも折れたらどうかという懸念もあって、摩擦が許容できる限界ということで製作したのが図6の上方に示す三枚ばねです。このばねのほかにショックアブソーバにも適当なものを選び、エンジンも振動計算の結果最適に調整したゴムで防振支持した試験車が、図7に示しますトヨタのSDF



図7 試験車とシャシーダイナモ

という一見昔のフォルクスワーゲンに似た形の車であります。この写真は懐かしいと思って出しましたが、試験車はちょうど第二工学部の時に作りました自動車のシャシーダイナモの上に乗っていて、右側に顔を出しておられますのが高橋先生、左側が平尾先生、手前が西山新一郎技官という懐かしい写真と思います。このシャシーダイナモがまた、第二工学部に200馬力の動力計が残っていて、それに旧いトラックのプロペラシャフト、ミッションおよびデファレンシャルギヤを集め、高橋先生の友人で第55期機械学会会長をなさった日立の綿森さんにドラムを作っていたいで、日本ではじめてでしょうか性能試験用のシャシーダイナモを作ったのです。この研究結果としての乗心地はどうであったか、今の自動車からみれば問題にはならないと思いますが、当時乗用車で挙田（現在豊田市）から東京に走ってくるのには、途中一泊しなければならなかったといわれていたのですが、この車ではじめて泊まらずに東京に来たという笑話があります。これは乗心地が格段と良くなったことを示す一つの話かとも思います。

この研究が一段落しました頃は、ちょうど非線型振動の研究が非常に賑やかな頃でありました。機械工学において非線型の主な問題としましては、先ほどお話ししました回転軸のふれ回り運動のほか、摩擦とガタといえます。ガタのある振動系です。ご承知のようにナットをいくら締めましても、振動的には特に振動数が高くなるほど固定という条件から離れてゆきます。つまりガタがあると何か悪さをすることになります。図8は昭和18年頃二見さんが対称型のガタのある振動系について実験で求めた1/3分数次振動の波形ですが、この振動系はいわば復原力が非線型の振動系でありまして、その特徴は分数次振動あるいは分数次共振を発生することです。つまり外乱の周期に対してその3倍とか5倍の周期を持った振動が、あるいは1/3とか1/5などの分数次振動が応答に現れます。分数次振動が発生しますと、外乱はたとえば図8の加振力と記入したような振動であるのに対し、応答の方は振幅と記入したような波形のようなゆっくりした振動になります。このため実験結果の解釈や振動を診断する上で、判断を迷わせる困ったことの一つであり、実験の上で注意しなければならないことと思います。

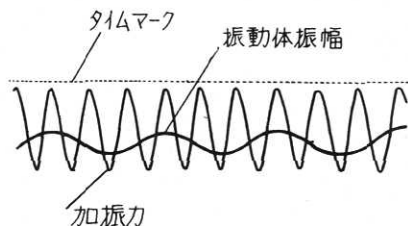


図8 ガタがある系の1/3分数次振動波形

その次は摩擦ですが、摩擦のある系はいわゆる減衰力が非線型であり、その場合発生するのがいわゆる自励振動であります。自励振動と申しますのは、入力振動的でないのに発生する定常振動のこととして、その歴史は非常に古く、文献によりますと、自励振動の工学における元祖というのはギリシャ神話の中にできます。それはタンタラスの拷問あるいは水力学ではタンタラスの容器と言われてます。これはタンタラスという悪人がおりまして、ゼウスの神が彼をこらしめるために、地下牢に入れて水を与えない、つまり喉を渴かせるという拷問を行ったのです。本人を拘束しておき、地下からは絶え間なく清水が湧いてきますが、水面が彼の口元のとどく所まで上昇してきて、本人が水を呑もうとして口を近づけると、水はさっと引いてしまいます。それを線図的に描きましたのが図9で、左上方から絶えず水が供給され

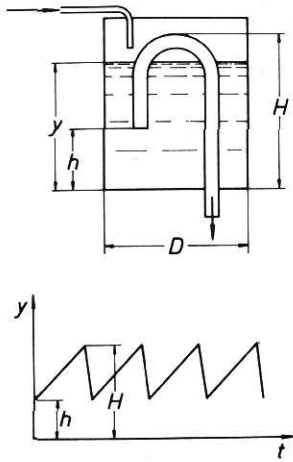


図9 タンタラスの容器

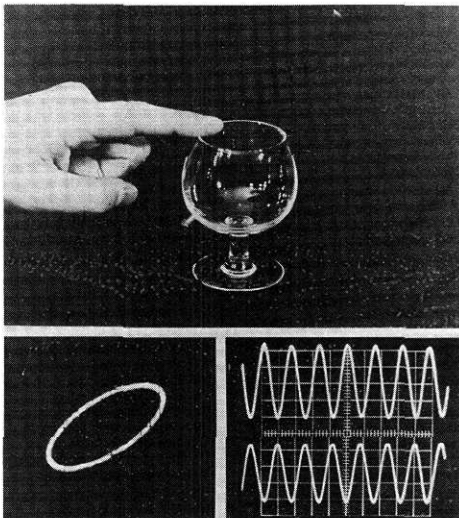


図10 ブランデーグラスの摩擦振動

ていて、一方この容器の中にはベント管が逆さまに挿入されています。図を見るときお判りと思いますが、水面がしだいに上昇してベント管の頂点まできますと、水面は下降しますので、横軸を時間軸にして水面の上下を描きますと、図9の下に示すような綺麗な鋸り歯状の波形が得られ、典型的な弛緩振動型の自励振動であることを示しています。

摩擦振動とし一番手っとり早く実験できますのは、図10に示すようなブランデーグラスですが、このグラスを図のように指でこすります。指の乾いた状態でこすっても音は出ませんが、指を濡らしてこすりますと綺麗な発音をします。また水をグラスに1/3位入れましてもあまり音色に変わりはありませんが、2/3ほど入れますと音色がかなり変わってきます。今グラスの横腹に加速度計を貼り付けまして、グラスの半径方向の振動と同時に音圧を測ってみましたところ、図10の右下方に示すように両者は同じ振動数をもった振動になりまして、そのことは両者でリサーチの図形を描かせますと、図の左下方に示すような綺麗な楕円になることから解ります。これはつまり摩擦によってグラスが自励発振しいわゆる吊り鐘振動を行っており、吊り鐘振動ですからあまり根本の方はそれに寄与していないので、その付近まで水を入れても音はあまり変わりませんが、上の方まで入れますと運動する質量も変わりますし、ダンピングも効いてきますので音色も変ることになります。この原因は何かといえますと乾いた指の場合とそれを濡らしたときとで摩擦力の性質が違っているためです。またコルクで窓ガラスをこすりますと、コルクが乾いているときはほとんど発音しませんが、コルクを濡らしてこすりますと、きいきい不快な音を発生します。この現象もブランデーグラスの場合と同様ですが、指の場合は摩擦係数を測ることができませんでしたが、コルクの場合はそれを測ってみました。図11はコルク対鋼の場合の摩擦係数と相対速度との関係を探ったもので、図のDが乾いたコルクの場合、Wが濡れたコルクの場合を示しています。摩擦係数と相対速度

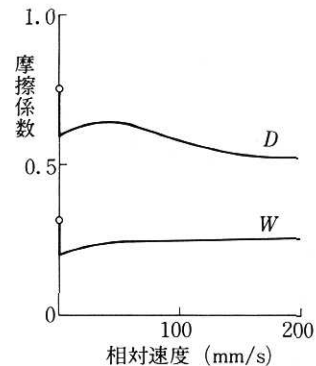


図11 コルク対鋼の摩擦係数

との関係を見ますと、いずれの場合も最大静止摩擦係数が動摩擦係数のカーブに対して孤立点になっていること、乾いた場合と濡れた場合とでカーブの傾向が違います。また最大静止摩擦係数に対する相対速度零のときの動摩擦係数の比を見ますと、濡らした場合が60%程度、乾いた場合が約80%程度で、静止摩擦係数と動摩擦係数との差は濡らしたコルクの方が大きく、この違いが自励振動の発生に大きく寄与しています。このような非線型振動の解法には、トポジカルな解法といいますが位相面において微分方程式の軌道を追跡する方法と、解析的な方法つまり定量的に解を求めてゆく方法とがあります。普通は前者の方法で解を概観し、特定の点を中心に後者の方法で解いてやるのですが、摩擦振動を含めてこれらの説明をここでは省略します。

羊頭狗肉といいますが、表題に比べて単に昔話を申し

上げたようなことになりましたが、終りに要約しますと、機械力学ばかりではなく工学全体にも通用することとありますが、現象をよく観測して、それを解釈するのにできるだけ簡単なモデルを選んで解析するということが必要ではないかと思ひます。また最近の研究には文献調査の不十分なものが見受けられます。昔、兼重先生が論文の孫引きはいけないとよく言っておられました。やはり文献はオリジナルすなわち親を読んでいただきたいと思ひます。また現在は振動測定もデータ処理も非常に便利になって、膨大な測定でも計算でもきわめて簡単にまた迅速に行うことができますが、よく昔から言われておりますように、そう言うものは鬼に金棒の金棒であって技術者がそれに振り回される鬼になってはいけないと思ひます。長時間勝手なことを申し上げましたが、ご静聴有難うございました。(1978年10月30日受理)

次 号 予 告 (3月号)

特集 省資源のための生産技術の開発に関する研究

巻 頭 言

省資源の必要性.....田 中 尚

総 括 概 要

省資源のための新生産技術開発の理念.....武 藤 義 一

研 究 解 説

高炉水砕スラグと回収石こうによるセメントの大量置換について.....{ 小 林 一 輔
魚 本 健 人

計算機によるプレス用板取り計画.....{ 中 横 威 秀
川 井 雄 俊

工業用・水資源の現状と処理技術の方向.....鈴 木 基 之

高分子材料における不均一構造の発生と制御.....熊 野 裕 之

コンクリート補強用“切削ファイバー”とその経済性.....{ 中 川 威 雄
小 林 一 輔

特異有限要素とその構造解析への応用.....{ 山 田 嘉 明
江 西 口 良 孝
阿 部 磯 春

研 究 速 報

製鉄・製鋼スラグ、3成分系ガラスの熱特性.....{ 大 蔵 明 光
今 岡 智 稔

アルミナ粒子分散強化チタンの抵抗焼結.....{ 明 原 智 清
原 善 四 郎

表面改質ゼオライトによる脂肪酸-ラクトン混合物の吸着分離.....{ 高 橋 浩
齊 藤 純 雄

ZnO半導体の基礎的物性.....{ 安 達 芳 夫
生 仁 田 俊 晃 明 寛

鋼繊維補強コンクリートにおけるファイバー性状と補強効果.....{ 中 川 威 雄
小 内 林 田 一 貴 輔 之

有限要素法による多層サンドイッチはりの動的応答解析.....{ 山 田 嘉 明
奥 村 秀 人

材料の有効利用を目的とした疲労破壊のAE測定の基礎的研究.....{ 鳥 飼 安 生
北 尾 川 生 夫
李 上 守 昭
大 山 平 田 博 章