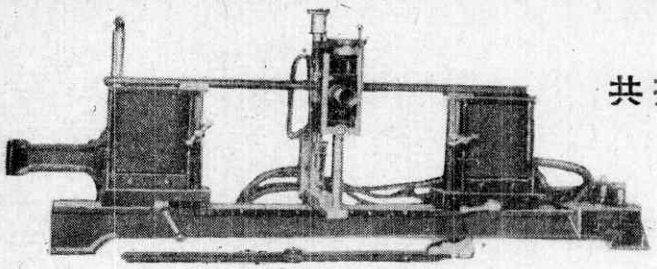


共振型材料疲勞試驗機

澤井善三郎・木村　哲

材料の疲勞試驗には一般に長い時間を要するもので，實用的にも研究的にも非常に不便が感ぜられていた。共振型疲勞試驗機は，機械の容量を特に大きくすることなく，容易に荷重の繰返し速度を大にすることができるので，試驗に要する時間が非常に短縮される利點がある。材料の疲勞に關する組織的な研究に，又市販材料の檢定に，さらに又熔接部の試驗に今後このような疲勞試驗機が廣く用いられるであろう。

1. まえがき

子供におもちやを買つてやつても，1週間もたつと見るかげもなくこわれてしまうことが多く，これは子を持つ親の共通の惱みとなつている。しかし一つのおもちやでも子供はおとなのとうてい考えおよばないようないろいろな遊び方をするから，こわれるのが當りまえかもしれないし，又一面あまり頑丈なおもちやは少し遊ぶとあきて見向きもしなくなるから，あるいはこれでちようどよいのかもしれない。

ところが一般の機械や構造物となるとそうはいかないおもちやと異つてもしこれがこわれると，非常に危險な事態を生ずる場合もあるし，又經濟的にも直接大きな損害となり，ひいては國家的損失をまねくことにもなる。

そこでこれらを構成する材料については，その强さをあらかじめ試驗しておく必要があるわけで，古くから各種の材料試驗法が考えられている。物の强さに關係する機械的負荷としては，靜的負荷と動的負荷とがあるが，材料の靜的强さについてはすでに今までに相當に研究され，現在では動的負荷，すなわち衝擊や繰返し荷重に對する材料の强さが問題となることが多い。

一般に材料に繰返し應力を加えると，靜的な强さに相當する荷重よりも小さい荷重で破壞するから，繰返し荷重に耐える强さすなわち疲勞强さを求めておく必要がある。この場合荷重を小さくすると破壞するまでの繰返し數が大となり，ある値まで荷重が小さくなると，荷重を何回繰返しても破壞しなくなる。この限界荷重のことを疲勞限という。

疲勞試驗機を用いて疲勞限を決定するのには，普通 10^7 回程度の繰返し荷重をかける必要があるので，一般にこの試驗には非常に長時間を要することになり，實施上すこぶる面倒なものである。

2. 從來の疲勞試驗機

疲勞試驗の必要なことは古くから認識されていたので疲勞試驗機の考案にも多くの種類がある。

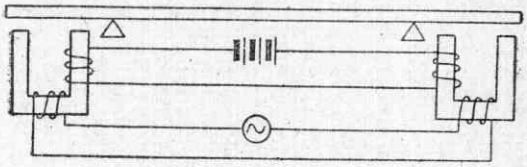
これを荷の掛かり方から分類すると，引張壓縮型，曲げ型，捩り型およびこれらの荷重の組合わさつたもの等があり，また荷重をかける方式から考えると，普通の油壓を使用した材料試驗機の油壓を周期的に變化させるもの，クランク等を使つて機械的に變位を强制するもの，偏心質量を回轉してその遠心力を利用するもの，あるいはこれに共振を併用するもの等がある。

その中でわが國でもつとも廣く使用されているものをあげると，小野式回轉曲げ試驗機，西原式繰返し捩り(曲げ)試驗機，Schenck 型捩り（曲げ）試驗機，久野式(引張壓縮）試驗機，Haigh 式（引張壓縮）試驗機等であつて，その繰返し速度はいずれも毎秒 20 乃至 50 程度である。

これらの方式では速度をこれ以上增そうとすると，機械的に種々の困難に遭遇するので，これに對しては特殊の試驗機がいくらか試作された程度である。そこでいま繰返し速度を毎秒 30 程度と假定すると，10^7 回におよぶ繰返し荷重をかけるのには晝夜兼行で數日間もかゝることになるから，試驗に要する手數はなかなか容易ではないのである。

3. 共振型曲げ疲勞試驗機

次に共振型曲げ疲勞試驗機について述べよう。第1圖



第 1 圖

のように磁性體の棒狀試驗片を二點で支え，交流電磁石によつてその自由な兩端に下向に繰返し荷重を加えると棒を振動させることができる。この場合棒に作用する力は棒の部分を通過する磁束の2乘に比例するから，電磁石を交流のみで勵磁すると，力は交流周波數 f の2倍の周波數で變化することになる。しかしもし圖のように電

磁石に直流コイルを併用すると，棒に作用する力は

$$F=k(\Phi_d+\Phi_a\cos 2\pi ft)^2$$
$$=k(\Phi_d^2+2\Phi_d\Phi_a\cos 2\pi ft+\Phi_a^2\cos^2 2\pi ft)$$
$$=k\{\Phi_d^2+(\Phi_a^2/2)+2\Phi_d\Phi_a\cos 2\pi ft$$
$$+(\Phi_a^2/2)\cos 4\pi ft\}$$

となり，$k(\Phi_d^2+\Phi_a^2/2)$ という一定の力，$\Phi_d\Phi_a$ の積に比例する周波數 f の力および周波數 $2f$ の力がはたらくことになる。ただし Φ_d は直流コイルによる磁束，Φ_a は交番磁束の最大値を表わすものとする。

そこでもし交流の周波數 f を試驗片の基本固有周波數 f_0 に近ずけたとすれば，周波數 $2f$ の力による變位は周波數 f の變位に比してほとんど無視することができ，共振狀態がえられるのである。試驗片を振動の節で支えるものとすれば，ここではほとんど振動しないから，ゴム製の支持臺だけでチャック等を要せず，ただ試驗片をのせるだけでかまわない。

こゝで I を斷面の慣性能率，A を斷面，E をヤング係數，ρ を密度とすれば，固有振動數は單位系に關せず

$$n_0=3.56\frac{1}{l^2}\sqrt{\frac{I}{A}\frac{E}{\rho}}\quad(l\text{ は棒の長さ})$$

曲げモーメンドは中央で最大となり，中央の振巾を a とすれば

$$M=29.22\frac{a}{l^2}EI$$

またその部分の表面に生ずる最大應力は

$$S=14.61\frac{Ead}{l^2}$$

ただし d は斷面が矩形の場合は厚さ，圓形の場合は直徑とする。實際の試驗では S を直接測定することは困難であるから，中央の振幅 a を讀取顯微鏡でよみ，式から S を求めている。

さてここでこのような共振型曲げ疲勞試驗機が他の試驗機に比してすぐれている點を列擧してみよう。

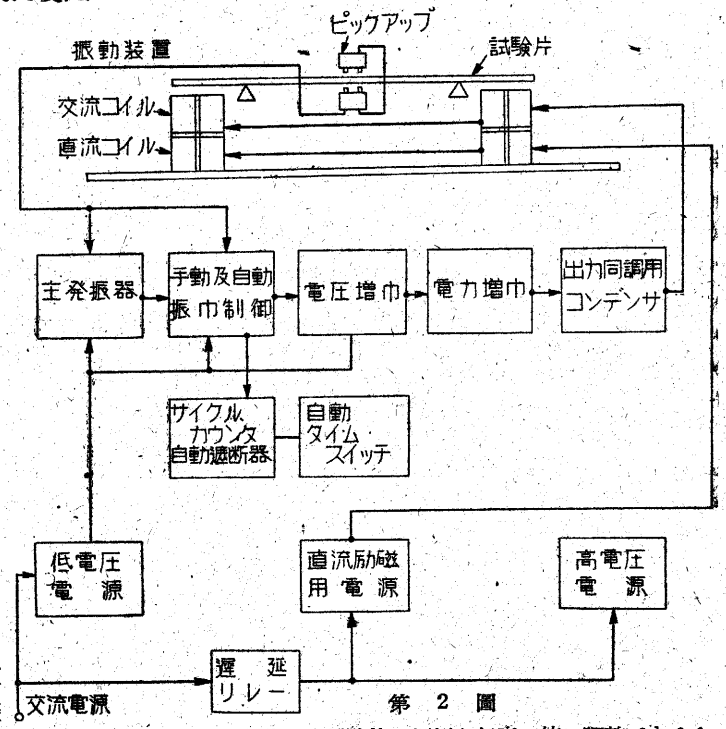
a) 共振を利用するのでわずかの力で大きな振幅，從つて大きな繰返し應力を得ることができる。

b) 撓み振動の節を單に下から支えるだけで，チャック等力を傳達する機械的部分を必要とせず，又試驗片以外の部分には大きな應力が作用しないから，機械的構造がすこぶる簡單となり，しかもあまり强さを必要としない。

c) 毎秒の振動數は試驗片の寸法で決定されることになるが，機械の他の部分にはあまり制約がないから，普通の試驗機よりもはるかに荷重の繰返し速度を高くとることができ，從つて疲勞試驗を短時間で終了することができる，長さ數十 cm の試驗片がよく用いられるが，たとえばその振動數が 250 c/s の場合であつたとすれば，10^7 回の繰返しを約 11 時間で行いうるわけである。

4. Raytheon 會社製疲勞試驗機

アメリカの Raytheon 會社ではすでに10年以上も前に共振型曲げ疲勞試驗機を完成し，わが國で輸入したところもある，これは Rayflex という商品名を有するものでその大體の構造は第2圖のようである。すなわちマルチバイブレータよりなる周波數 100～300 c/s の主發振器の發振を，試驗片の中央部附近に設けられたピックアップ裝置の出力電壓に同期させ，この發振器出力を增幅して電磁石の交流コイルに導くことにより，全體として試驗片の固有振動數に一致した發振裝置としたものである。



第 2 圖

疲勞試驗では試驗片の振幅を任意の値に調整できるようにする必要があるが，又一度振幅を決定した後は，電源電壓等の變動があつても試驗が終了するまで一定の振幅を保持しなければならず，その目的に對してはピックアップの出力が一定となるよう，自動調整の方法が講ぜられている。

この裝置では發振，增幅等にはすべて眞空管を用いているので，最後の電力增幅部と交流コイルとの間にインピーダンス整合用の變壓器とコンデンサを備え，周波數に應じて容量を變化するため，1, 2, 4, 8 および 16 μF の5種類のコンデンサが並列に接續できるようにしてある。又荷重の繰返し總數を積算するためにはサイクル・カウンタ・モータがある。

疲勞試驗機でも應力一定で試驗する形式のものでは，試驗片が疲勞してその一部分が破壞すると，未破壞の部分に應力が集中し急速に試驗片を破壞するのであるが，この裝置のように試驗片の振幅を一定にする方式のもの

では，最大應力の部分に破壞を生じてもこれが他の部分に影響せず，さらに一定振幅の振動を繼續するので，疲勞した後も引續き振動を積算してしまうおそれがある。

しかし實際には疲勞の結果部分的破壞を生ずると，試驗片の固有振動數が低下するので，共振型試驗機では發振周波數が低下することになる。Rayflex では同調振動片リレーによりこの周波數の低下を檢出し，そこで自動的に機械を停止させるようになつている。

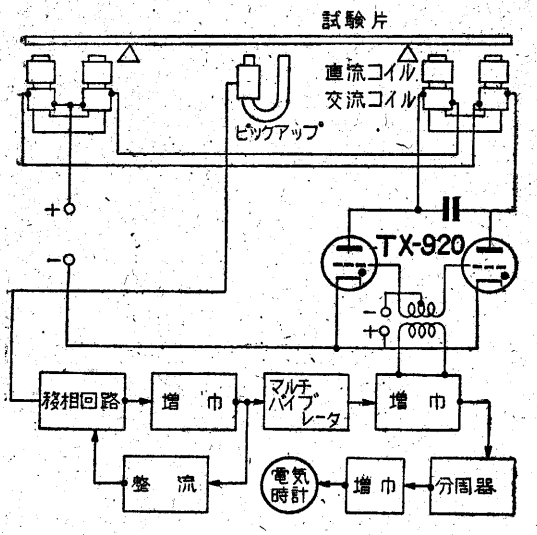
又電磁型曲げ試驗機では電磁石を使用するため，試驗片が非磁性體の場合にはそのまゝでは力が作用しない。それでこれに對しては鋼製のスリーブを取付けて試驗を行うようにしている。

5. 生研の試作曲げ疲勞試驗機

前節の Rayflex 疲勞試驗機は完成されたものであるが，電力增幅部に眞空管を用いているため，前述のように交流コイルとの間に整合裝置を設け，試驗片の固有振動數に應じてコンデンサを切替える必要がある。又出力の十分な眞空管を使おうとすると，どうしても陽極電壓が高くなるのであつて，Rayflex でも眞空管として RK-57 を二本用い，陽極電壓を 1,580 V としている。裝置の扉にはドア・スイッチがあつて危險はないようになつているが，調整等の場合には不便であろう。

これらの缺點をのぞき，增幅部を簡單にするため，放電管制御の裝置を試作したので，次にこれについて御紹介することゝする。

a) 原理　全體の構成は第3圖のようで根本的には



第 3 圖

Rayflex 疲勞試驗機と同樣であるが，電磁石コイルに交流を與えるのにサイラトロン TX-920 二本よりなる並列インバータを採用した點が最も大きな相異である。サイラトロンは眞空管と異り，放電管の特性として內部インピーダンスがきわめて低いので，コイルとの間に整合裝置の必要はなく，又 100 V 程度の低い陽極電壓で大電流の制御ができるという特徵をもつている。さらに眞空管の場合に比して增幅段數を少くすることもできるから，これは實用上すこぶる有利な點といえるであろう。

b) 移相回路を利用した振幅の自動安定裝置　Rayflex では增幅の途中にピックアップの出力電壓に應じて增幅度を變化させる部分があり，これによつて出力管の出力を調整して振幅を一定ならしめているが，サイラトロン・インバータでは，電流は陽極回路の電源電壓と外部インピーダンスとで定まつてしまうので，このような方法は使えない。そこで第3圖に示したように，ピックアップの出力側に移相回路をおき，インバータを勵振する電壓の位相をかえることによつて全體としての振動周波數を變化し，これに從つて試驗片の振幅を變化させる方法をとることにした。すなわち實際の振動數を常に試驗片の固有振動數からわずかにずらせておき，ピックアップ電壓の大小に應じて移相角を自動的に變化して振動數のずらせ方をかえ，これによつて電源電壓等が變化しても試驗中振幅を一定に保ちうるようにしたのである。實驗結果によれば電源電壓が 88 V から 100 V に變化したときの振幅の變化は 2 % で，この程度の感度があれば疲勞試驗にはほゞ差支えない。

c) 繰返し數の積算　試驗片に加わる荷重の繰返し總數の積算には電氣時計を利用することとした。ただし電氣時計はあまり高い周波數には同期しないので，時計の使用範圍を 40〜80 c/s と定め，80 c/s より高い周波數に對しては分周器を用いて 1/2 又は 1/4 に周波數を遞減し，これを電氣時計に接續することとした。これにより 320 c/s までは積算が可能となつたわけである。

d) 試驗片の振動數低下檢出裝置　試驗片が疲勞して部分的破壞を生じた際の固有振動數の低下を檢出する裝置としては，マルチバイブレータの同期化現象を利用した裝置を試作したが，これには現在のところさらに檢討を要する點が殘つている。又同調振動片リレーを用いる方法も試みたいと思つている。

6. 結　言

共振型材料疲勞試驗機は小容量の機械で大きい振幅がえられ，繰返し速度が大きく，又工作が簡單であるという非常に有利な點をもつた試驗機である。これには電子管裝置を使用するのでやや複雜なようにも見えるが，現代の電子管技術をもつてすればさほど難しいものでもなく，又電源電壓等の變動があつても一定振幅を保てるという長所もあるから，今後わが國でも大いに普及する見込みがある，特に疲勞に關する組織的な研究には絕對にかくべからざるものとなるであろう。

生研における試作裝置も附屬部分が未だ完全ではないが，第1部第3部の協力により近い將來に完成の上實驗に用いる豫定である。

本稿の一部には第1部大井助教授の御教示によるところがあるので，ここに感謝の意を表しておく。