

プロペラ翼の振動學的研究 (其一)

On the Free Vibration of the Propeller Blade.,

K. Satô, K. Kubo, Z. Igarasi.

所員	理學博士	佐藤孝	二
技手		久保啓	一
前囑託	理學士	五十嵐壽	一

目次

1. まへをき	463
2. 實驗の結果	464
3. むすび	467

1. まへをき

著者は昭和十六年六月の本所講演會及び同年七月の日本數學物理學會の常會に於て鋼板の振動學的の性質即ち鋼板の有する各種の固有振動圖形と其の振動數並びに減衰率の測定結果を發表し、之等の結果より鋼板の内部組織の良否を判別出来ることを述べたが同一方法に依り協力者の一人である理學士小橋豐君は半鐘の振動學的性質を徹底的に檢べて、半鐘の音響發生に關する基本的な結論を得たのである。(1)

プロペラ翼の固有振動數の測定に就ては當所小幡所員の行つた實驗がある。(2) 其の方法はプロペラ翼に槌で連續的に打撃を加へ、それに依て生ずる自由振動を、翼面の一小部分を振動膜の代りにしてコンデンサーマイクロホンと同一原理で翼の振動をピックアップして、之を波形分析器で分析して、固有振動を測定したものである。元來物體の固有振動を知るには之に打撃を加へて、其の發生する振動を檢べるのが普通であるが、これは打撃の與へ方に依て固有振動の或る特定の部分振動のみが強く出る爲に之を波形分析しても信頼出来る部分振動はせいぜい數種を捕へ得るにすぎない。

(1) 大日本數學物理學會會誌第十六卷第二號 (昭和十七年五月)

(2) 航研報告第十六卷第三册 (昭和十六年四月)

著者のプロペラ翼の振動に関する研究対象は翼の有する固有振動が如何なる部分振動に依て組立てられてゐるか、そして其の各の部分振動は如何なる様式の下に振動が行はれてゐるかを精密に測定することにある。例へばプロペラ翼を或る箇所で支へ又は固定しておいて之に打撃を加へて自由振動を起させるとすると、其の支へ方又は固定し方に依て振動様式も異なる譯であるから、實際にプロペラが回轉してをる時に發生する振動とは必ずしも一致しないのである。従て我々は靜止の状態に於てプロペラ翼の固有振動のあらゆる様式を洩れ無く檢べてをけば回轉中のプロペラ翼の振動は其の中のいくつかの振動が重複して發生してをるのであるから、例へば振動に依て翼が切斷された場合は、切斷線を節線とする様な振動様式が最も起り易いのであるから、そう云ふ事故に對してもプロペラ翼の部分振動の振動様式を正確に求めることは極めて重要なことである。

又小幡所員はプロペラ翼の固有振動を捩れ振動と曲げ振動とに區別してをるが、かゝる複雑な形をした振動體では兩者の何れかのみ振動は後に述べる様に極めて稀れで常に二つの振動と一緒にやつてゐるのである。かゝる方法に依る翼の振動測定の更に有要な應用は鋼板の場合に述べたと同様に翼の構造的或は内部組織的の良否を判定する指針となり得るからである。

2. 實 験 の 結 果

實驗に使用したプロペラ翼は當所長距離試作機に取り付ける目的で製作された三枚羽の可變ピッチプロペラ(之は遂に使用しなかつた)で一つの翼の長さが 190 cm のデュラルミン製である。三枚の翼をボスに取り付けて組立てた儘、ボスを地面に据へて翼の平面が水平になる様に設置した。こうした取り付け方は翼の根元を噛み止めた條件に略近いことが實驗に依つてわかつた。一體彈性體の振動を數學的に取扱ふ場合に簡単に、一端を支へるとか噛み止めるとか云ふ條件を入れるが實驗的にそう云ふ條件を満足させることは中々容易でないのである。

固有振動の各部分振動を正確に漏無く見出す最も簡単な方法は周波數の自由に變へられる發振器を用ひて、電氣的に翼を強制振動させ、其の共振點を次ぎ次ぎに探して行くことである。其の目的には蓄音器用の電磁型ピックアップに直角に曲げた針を取り付けて此の針を翼面上の一點に軽く接觸させて發振器からの振動電流をピックアップに傳へて驅動する。振動を受ける装置は、マイクロホンでは音壓を振動板の振動に變へて、それに依る電氣振動を測定するのであるが、此の場合は面の振動を直接測るのであるから翼面の極く小部分を振動板としてマイクロホンの原理が應用出来るから各種の方式が採用出来る譯で例へば小幡所員が行つた様にコンデンサーマイクロホンに倣つて容量變化に依て測定するのもよいが著者等は電話の受話

器に倣つて電磁的變化を利用したのである。即ち受話器の振動板を除去して、翼面に薄い鐵片をはりつけて振動板の代りにして振動を受けて之を増幅し、真空管電壓計に依て、振動の振幅に相當する量を讀みとるのである。

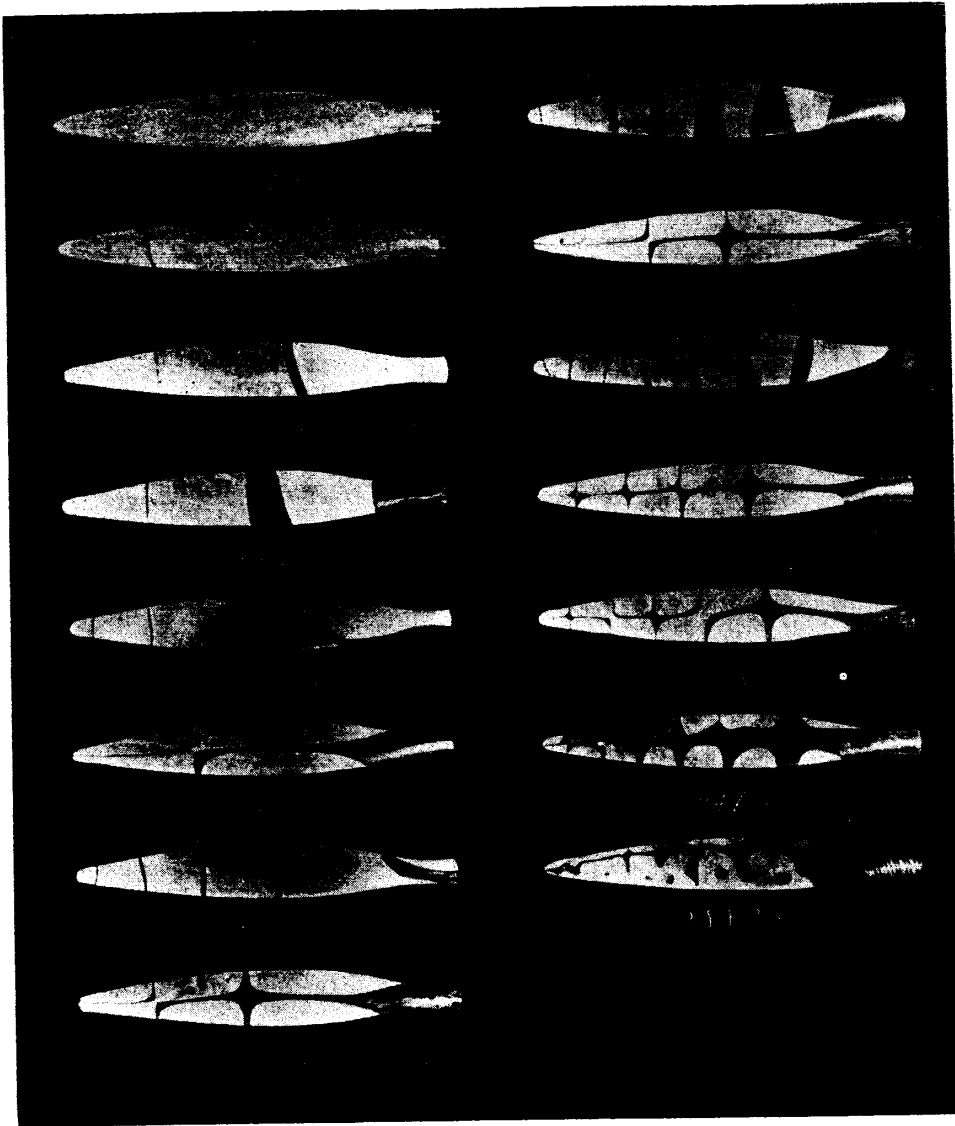
かくして測定し得た固有振動の部分振動數は

19.4, 46.1, 117, 137, 236, 368, 427, 530, 617, 695, 715,
872, 1038, 1246, 2882, ……

と多數あるが、之等の部分振動が如何なる様式の下に振動してあるかを測定する必要がある。其の目的には普通小さな平板であれば其の上に砂を撒布してクラドニの振動圖形を出せばよいがプロペラ翼の様な曲面では翼面上の各點の振動をいちいち測定しなければならぬ。此の場合翼のきまつた部分を驅動させておいて振動の測定装置を翼面上に移動させる代りに、振幅の測定點を固定して驅動點の方を移動させて其の都度變る振幅を測定して行つたのである。此の事は可逆關係に依て A 點を驅動點として B 點で測定した振幅は B 點で驅動して A 點で測定した振幅と全く同じであるからで、振幅を測定する場合移動して翼面にピックアップが接觸する都度電壓計に衝撃を與へることが好ましくないから可逆的に測定したのである。

次の圖は測定結果で各部分振動の振動様式を一括して圖示したものである。圖に於て翼面上を黒く隈取りしたのは振幅零の軌跡で節線を表す。勿論振幅零の點と云つても此時の測定装置の感度に於て電壓計の讀みが零を示す軌跡であつて更に増幅器の増幅度を上げて測定すれば今まで振幅零であつた處が最早零で無くなる處もあり得る。又圖の中で點線で表はした部分は振幅が零で無く極小になる處で、測定器の感度を下げれば黒線に塗らるべき處である。然し其處まで感度を下げると他の節線の部分が餘りに廣い幅をもつ爲に振動様式が不明瞭になる。従つて節線を明瞭に出すには自ら一定の制限された感度が要求される。圖に於て幅の廣い黒帶の部分は場所に依つて振幅が變らない振動のゆるやかな處であるが、細い線になつてる部分は節線を界として振幅が急劇に變る處であるから、振動に依て翼が折れる様な場合にこう云ふ箇處から切斷されるのである。

此翼は大型である爲に固有振動數が一般のプロペラ翼のそれより少なく基本振動數は 19.4 で根元を固定して全體として屈曲振動をするのであるが、此の實驗の様に單にボスに翼を取りつけただけでは根元が完全な固定にならずにその周圍に節點が散在してゐて、根元の處で捩れ振動が起つてゐることを示すものである。第二の 46.1 振動は横に一本の節線を有する振動で根元の運動は前と同じ、第三の 117 振動は例外で根元が自由な振動で横二本の節線を有する。第五の 236 振動と第七の 427 振動では根元に近い部分の節線が奇妙な曲線を書いてをるが、之は根元の條件が簡單で無い爲めと思はれる。第六の 368 振動は縦一本と横一本の十字の節線であ



るが、交叉点で離れてをるのは測定装置の感度を下げれば交叉すべき性質のものである。此の様式は屈曲振動と捩れ振動の重複したものである。此の様に高次の部分振動に行くに従つて節線を増して行く、又節線の幅は翼の厚さの大なる處程廣く例へば後縁より前縁の方に行くに従ひ。(圖では前縁の方が下になつてゐる) 翼の尖端より根元に行くに従つて太くなつてをる。第十五の 2882 振動は節線が縦に二本の場合で一本の節線が前縁の厚い部分に沿ふて走る爲めに斷續してゐるのである。

次に之等の振動の減衰率を検べるその目的には振動を急に止めて、減衰する状態をオシログラフに記録して此の減衰曲線から振幅が半分になるに要する時間即ち半

減週期を求めれば、各部分振動の減衰狀況が比較出来るし、之から對數減衰率も容易に計算出来る譯である。各部分振動の振動數と半減週期との關係は右の表に示す通である。

振 動 數	半 減 週 期
19.4	.82 秒
46.1	.26
117	.06
137	.12
236	.10
368	.85
427	.012
530	.091
617	.029
693	.10
715	.11
827	.035
1038	.012
1246	.008

高次の部分振動程減衰が早いことは當然であるが、此表に於て特に注目すべきことは第六番目の部分振動(368)が半減週期が最も長いことである。

此の振動は十字の節線を有する屈曲振動と捩れ振動との結合した振動である。第二番目に減衰しにくい振動は基本振動で、第三番目が横一本の節線を有する振動である。各部分振動の中で減衰の早い振動は實際に発生しにくいから問題にならないが、減衰のおそい振動は特に注意を要する。さきに小幡所員等がプロペラがフラッターをやる際に翼のねぢれ振動に依る 340~365 振動の音が強く發することを實驗的に指摘したが、之は單なる捩れ振動では無くて十字の節線を有する第六番目の部分振動であると思

ふ。勿論著者等の測定するプロペラとは大きさが異なるから正確なことは云へないが大體同様な形をしてをるからフラッターの場合に最も誘起し易い部分振動は、減衰度の最も少ない第六番目の様式であることは當然である。

なほ前に述べた方法で部分振動を測定すればもつと高次の部分振動が見つかるが振動數の増加と共に半減週期は急劇に短くなるから實際にそう云ふ高次の部分振動は出ないのである。

3. む す び

以上に述べた結果に依て、今まではつきりしてなかつたプロペラ翼の固有振動の各部分振動數及びそれ等に相當する振動様式が明かにされた以上プロペラ翼の振動學的性質が調べ盡された様に思はれるが、それはあゝした翼の取り付け方をした場合の研究にすぎないので翼の取り付け方を考へた場合に振動的に性質がどう變るかは今後の研究問題である。

終りに此の實驗に對して助手中瀬正良矢口哲兩君の助力を感謝する。(18. 5. 5)