

フレッシング・コロージョンによる異常音について

小堀 威* 富田 忠二** 藤 芳利光***

Abnormal Sound Caused by Fretting Corrosion

By Takeshi Kobori D.S.E., Chuji Tomita and Toshimitsu Fujiyoshi
Kameari Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

When there is repeated occurrence of slight sliding action, under certain pressure, between two contacting surfaces of metal, as the combination of a shaft and a force fitted hub receiving rotary bending, as shown in Fig. 1, there often occurs quite a loud abnormal sound such as creac or "tau-tau".

We have conducted the experiment related in this report based upon our belief that this particular sound is caused by the Fretting Corrosion due to the slight Sliding Action that occurs between the two surfaces.

As to the method of experiment, two pieces of metal test specimens were pressed together under certain pressure, and at the same time given a slight Sliding Action. Then, observations were made as to the relations between the Fretting Corrosion and the abnormal sound under various differing conditions, and the frequency of the sound was analyzed.

The cause of the sound has also been ascertained by simultaneous recording of such factors as friction on the sliding surface, relative motion, and abnormal sound.

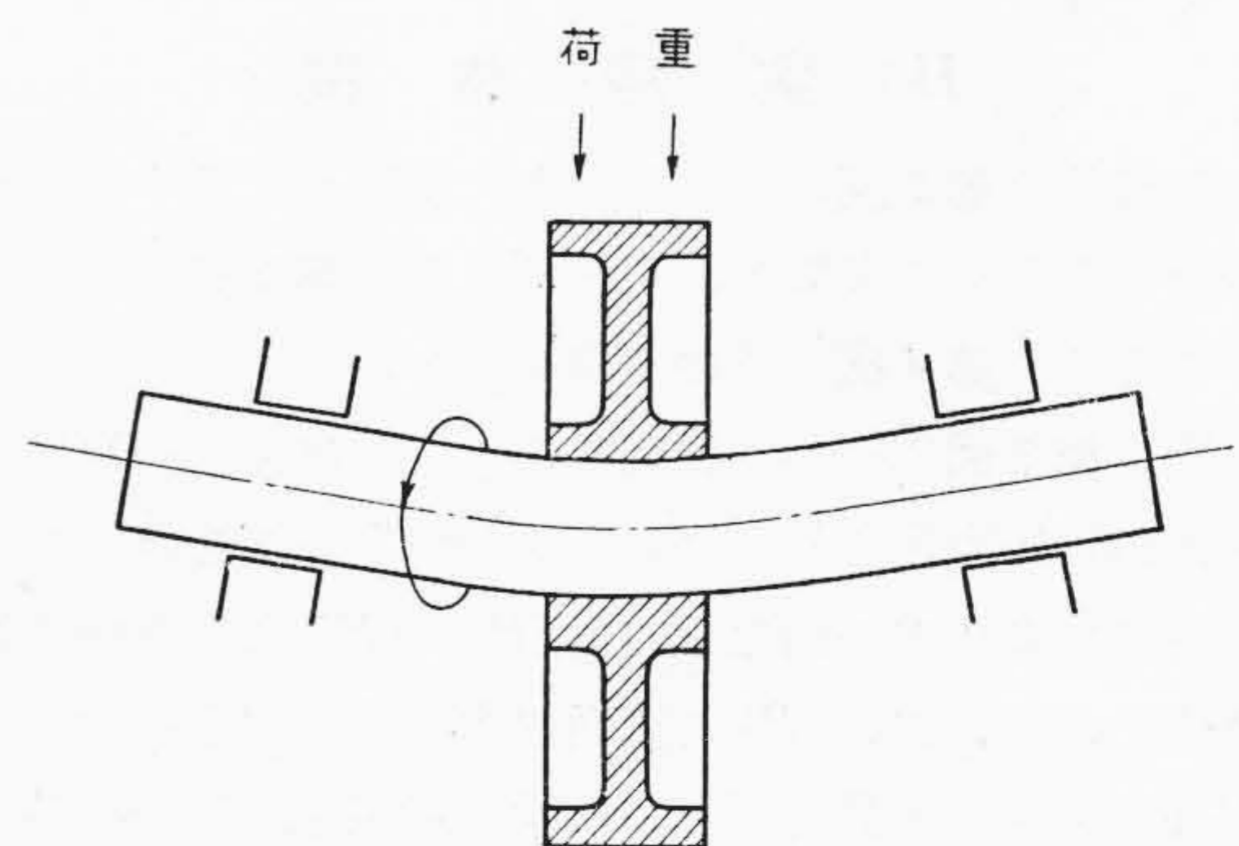
Consequently, it has been ascertained that an abnormal sound does not originate from a Virgin Sample, but is caused by the occurrence of Fretting Corrosion.

〔I〕 緒 言

ある圧力のもとに接している機械部分の二つの金属面が微小な滑り運動を繰返し生ずるとき場合、たとえば第1図のように曲げ荷重を受けながら回転する軸と、これに圧入嵌合されたシブのボスとの組合せにおいて、時として「ピシツ、ピシツ」というような相当大きな異常音を発生することがある。われわれはこの音の発生原因を調査した結果、微小な相対運動の繰返しにより両者の摺動面にフレッシング・コロージョン⁽¹⁾を生じ、酸化鉄粉が生成されて、この酸化鉄粉の存在が異常音の発生に関係していることを実験的に確かめた。実験は二つの金属試験片を一定の圧力のもとに微小な相対運動を行わしめる装置によつて行われ、これによつて二つの摺動面にフレッシング・コロージョンを起させ、異常音が発生するか否かまたいかなる条件で発生するかにつき

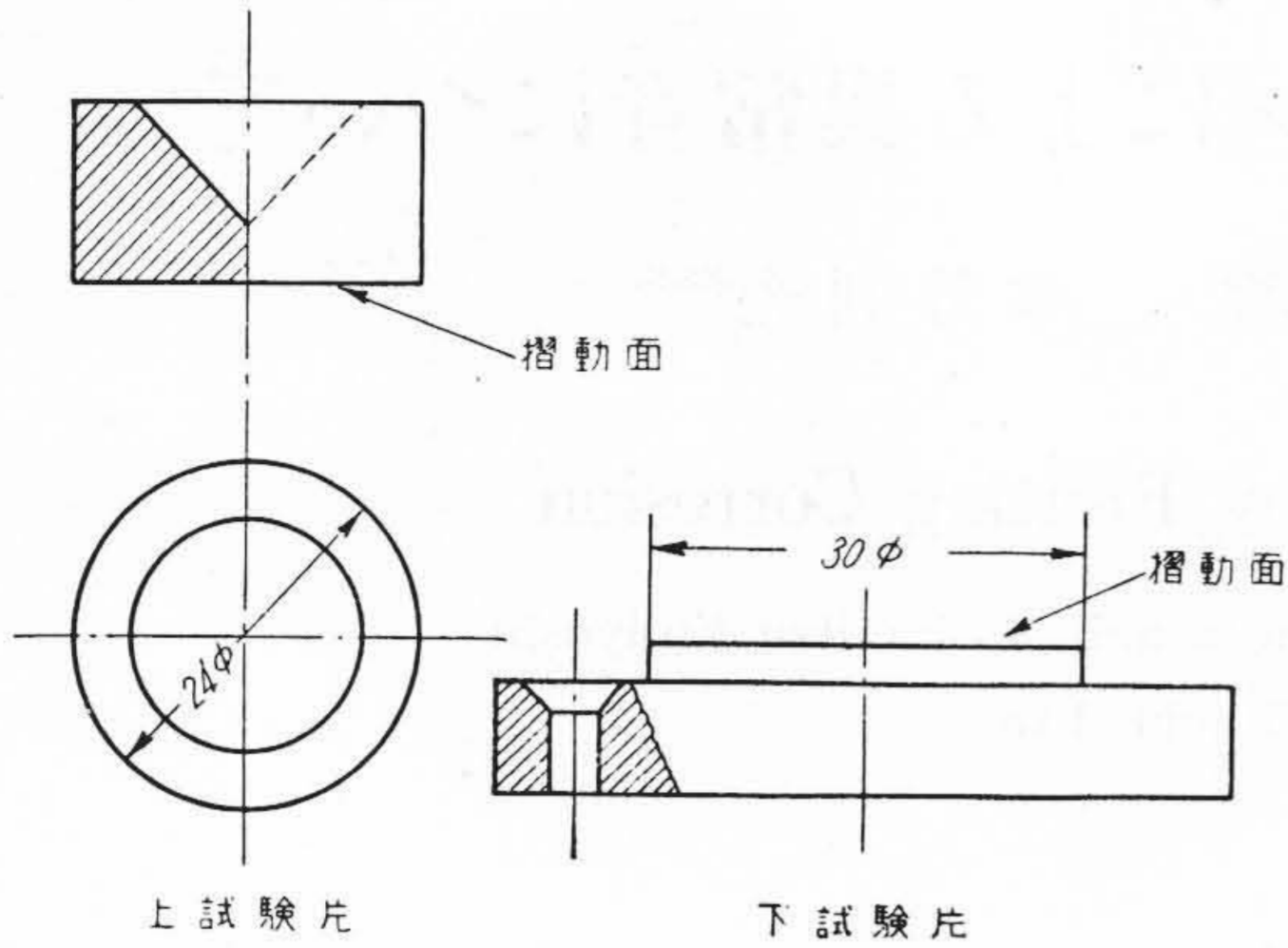
* 日立製作所亀有工場 工博

** *** 日立製作所亀有工場

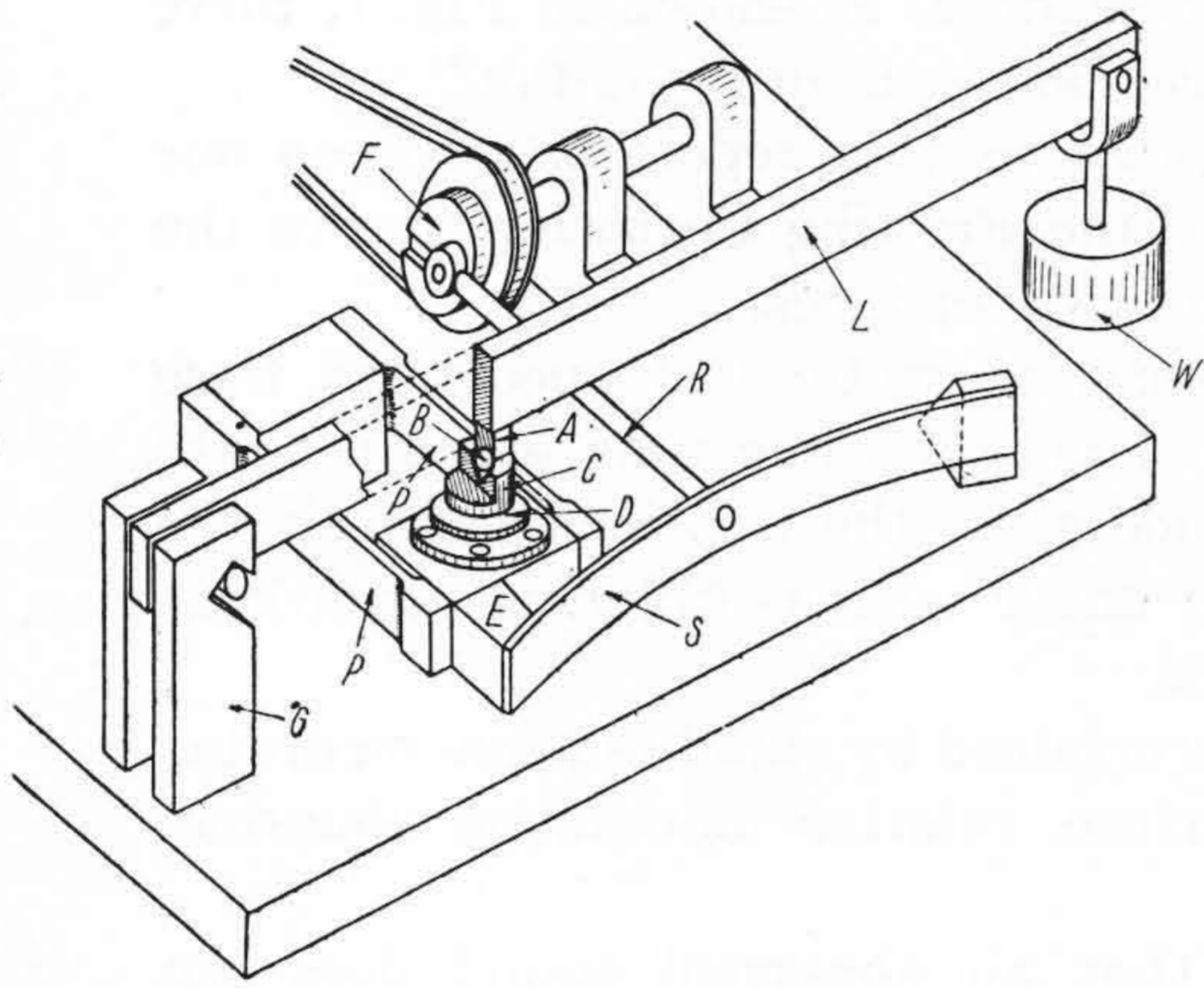


第1図 繰返し曲げをうけるシャフトとボス
Fig.1. Hub and Shaft being Subjected to Rotary Bending

実験を行うとともにフレッシング・コロージョンの防止法についても簡単な実験を行つたのでこれらの結果について報告する。



第 2 図 試 験 片
Fig. 2. Test Pieces

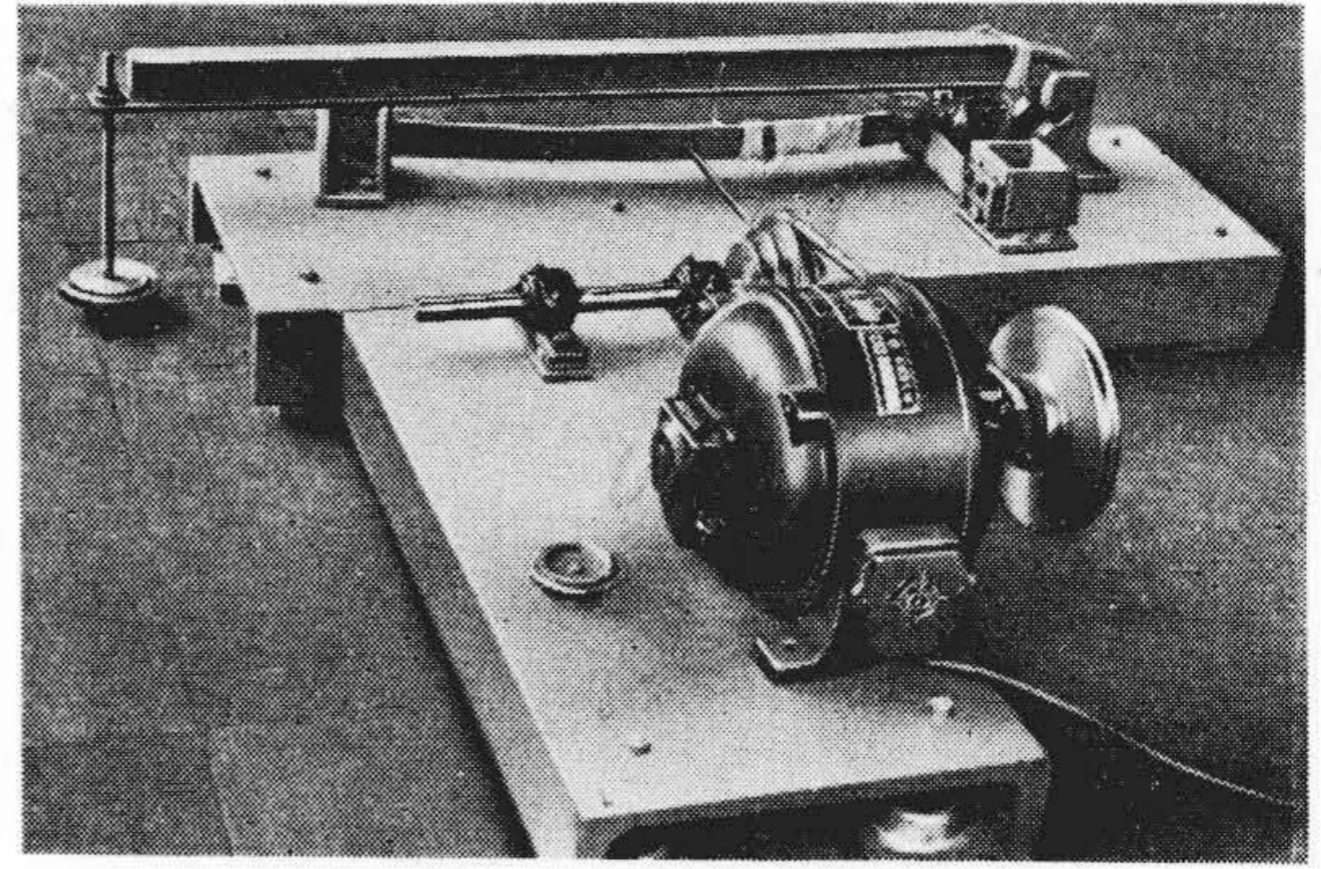


第 3 図 実 験 装 置 図
Fig. 3. Perspective Drawing of Experimental Apparatus

〔II〕 実 験 装 置

実験装置は第 2 図のごとき二つの試験片に微小な滑り運動を行わしめる装置で、全体の構造は第 3 図のごときものである。第 4 図にその写真を示した。

作用を第 3 図について説明すると、下試験片(D)はブロック(E)に固定され、ブロック(E)は一端をベースに固定された 2 枚の平行な板バネ(P)、(P)により弾性的に支えられていて、(P)と直角の水平方向の運動はできるが他の方向の運動に対しては強い拘束をうけている。またブロック(E)の他の端面には彎曲した板バネ(S)、(以下主バネという)の一端を結合し、そのバネの他端はベースに固定されている。一方においてモータによりベルト駆動される可変半径のクランク(F)と主バネ(S)の中央部はロッド(R)により連結されているから、クランク(F)の回転運動は主バネ(S)の撓みの変化となり、長さ(投影長さ)の変化を起すからブロック(E)を水平方



第 4 図 実 験 装 置 写 真 図
Fig. 4. Photograph of Experimental Apparatus

向に揺動せしめる。したがって試験片にはクランクの運動がガタなしに著しく縮小されて微小な正弦波的往復動が与えられる。

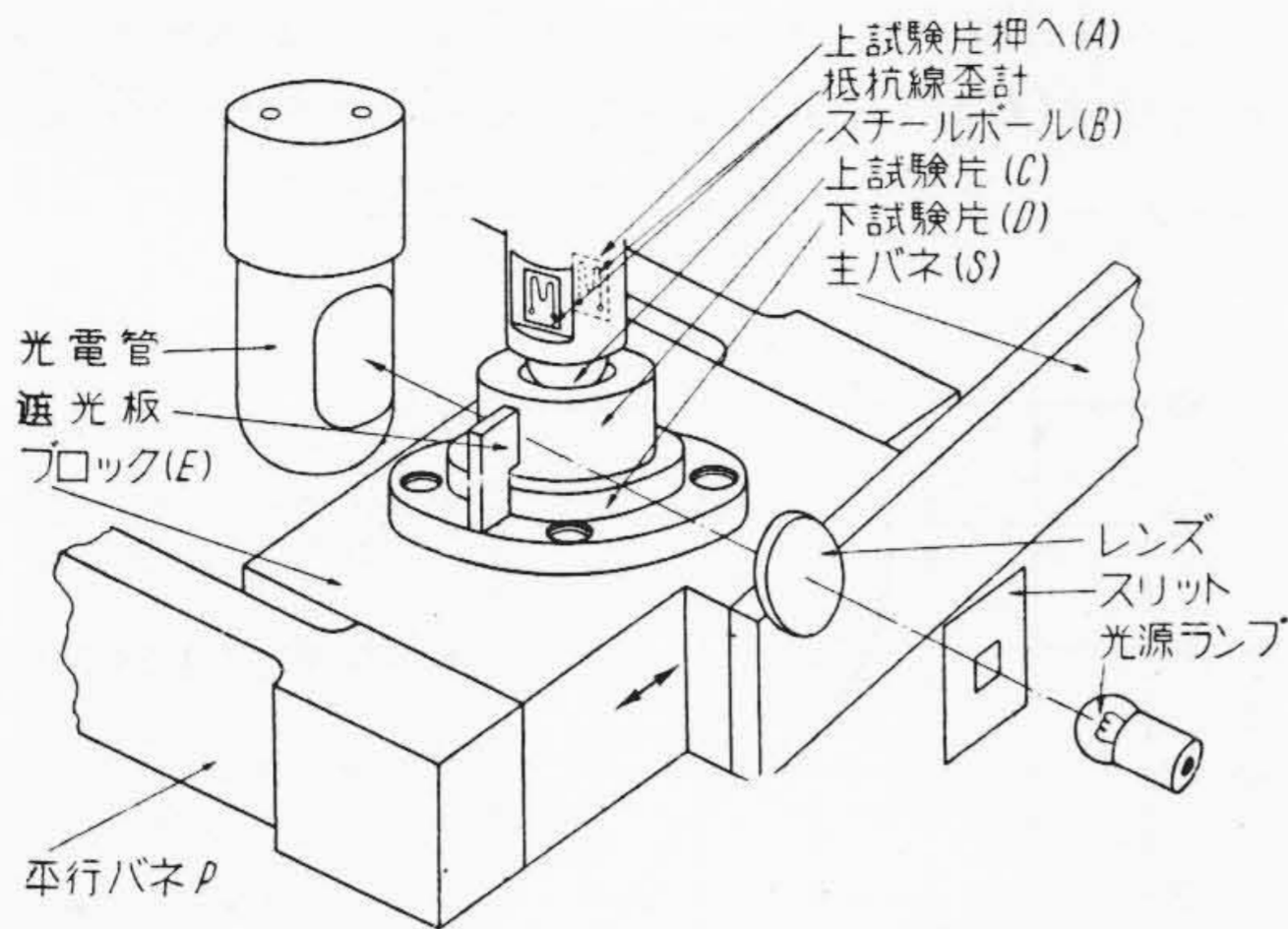
上試験片(C)は第 2 図にも示したごとく、摺動面の反対側に円錐状のくぼみを持ち、加圧レバー(L)に固定された上試験片押え(A)により、スチールボール(B)を径で加圧される。

〔III〕 測 定 装 置

実験により測定した項目は(1)両試験片間の面圧、(2)回転数(相対運動の繰返し数)、(3)両試験片間の相対変位、(4)両試験片間の摩擦力、(5)異常音の発生時期、(6)異常音の周波数などである。これらの各項目の測定方法を略述すればつぎのごとくである。

両試験片間の面圧は加圧レバー端に加えた重錘の重さから算出し、回転数はハスラー型回転計を用いて V プーリー軸端で測定した。両試験片の相対変位はブロック(E)に取り付けたダイヤルゲージのスピンドルを上試験片にあてることにより測定するとともに、電気的方法によつてオシログラフにも記録した。オシログラフによる方法は第 5 図のごとく、下試験片(D)に遮光板を取り付け、上試験片の側面との間にスリットを形成せしめ、光源ランプから光電管に入射する光を相対変位に比例して変化させるようにし、光電流の増幅回路を用いてオシログラフに記録した。

両試験片間の摩擦力の測定は第 5 図のごとく上試験片押えの両側面に抵抗線歪計を貼付して、摩擦力に応じた曲げ応力としてオシログラフに記録せしめた。たゞこの装置の数値的較正は行わなかつたので、摩擦力は定量的には求めず単に変化を知るのみに止めた。異常音発生の時期は指示騒音計の出力をオシログラフに記録せしめて求めた。また異常音の周波数は日本電子製 NA-2 型周波数分析器を用いて測定した。



第5図 相対変位と摩擦力の測定装置
Fig. 5. Measuring Devices for Relative Displacement and Force of Friction

〔IV〕 実 験 方 法

(1) 実験の概要

実験はまず新しい試験片を摺動させて、摺動直後異常音が発生するか否かをたしかめ、つぎに摺動を続行してフレット・コロージョンの進行を観察記録した。また十分にフレット・コロージョンを生じさせたものにつき異常音発生条件その他を測定した。フレット・コロージョンの防止剤についてはごく簡単な実験を行った。

(2) 試験片

一般の機械においては第1図のシープのボスに相当する部分には鋳鉄または鋳鋼を、シャフトには鍛造鋼を用いることが最も多いので、下試験片には炭素鋼 S35C を、上試験片には鋳鋼 SC47 または鋳鉄 FC19 を使用した。

実験は SC47 対 S35C の組合せを主として行い、FC19 対 S35C の組合せは参考のために行った。試験片はいずれも摺動面をグラインダーで研磨して使用した。

(3) 実験条件

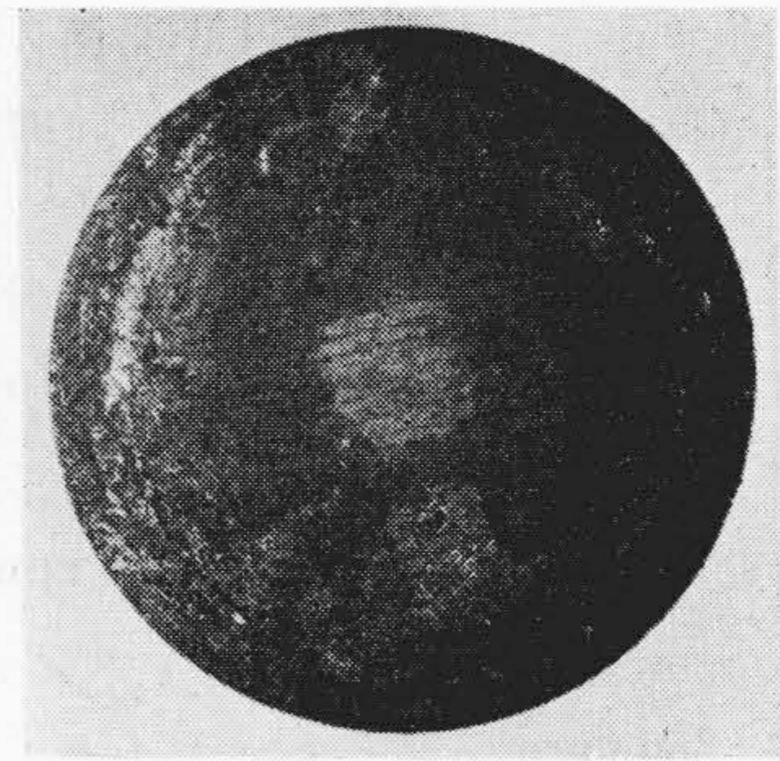
摺動面への荷重は加圧レバーの自重だけで 55 kg 加わるが、重錘によつて 250 kg (面圧約 56 kg/cm²) まで加えた。相対変位は最大 0.3 mm くらいまで変化させた。クランクの回転数、すなわち相対運動の繰返し数は 270 rpm, 90 rpm の 2 種を使用した。

〔V〕 実 験 結 果

(1) SC47 と S35C の組合せの場合の実験

(A) 新試験片による実験

上下試験片ともに摺動面が研磨され、油脂類も十分に拭いとられかつフレット・コロージョンを生じていない新らしい面の場合には前記実験条件の荷重、回転数の範囲内では異常音が発生しなかつた。



第6図 フレット・コロージョンの生じた試験片面
Fig. 6. Fretting Corrosion on Test Pieces

(B) フレット・コロージョンの進行

フレット・コロージョンは摺動後間もなく発生する。このことは後述第12図 (第24頁参照) に示してあるごとく無潤滑の場合は摺動開始後きわめて短時間のうちに相対変位が激減してゆくことから推察できる。また外部にあらわれた現象として、たとえば面圧 30 kg/cm², 回転数 270 rpm, 相対変位 0.15 mm の摺動では、約7分後に赤褐色の酸化鉄粉が摺動面から外部に押し出されてくる。

その後摺動を続けるとさらにフレット・コロージョンが進み、摺動面には所々えぐられたような痘痕を生じ、黒褐色の酸化鉄被膜が生じてくる。

(C) 異常音の発生とその分類

摺動面にフレット・コロージョンが生じてくると、その面の状態、面圧、回転数、相対変位などの条件によつて異常音が発生する。この異常音は条件によつていろいろの音に聞こえる。この複雑な音の感じを文字により正確に表現したり、分類することはきわめて困難でほとんど不可能なことである。また音の感じは聞く人の感じや実験装置その他によつても相当大きく変化するであろうから、異常音の音質に関する限り本報告の実験結果は大きな普遍性を持ちえないであろう。しかしわれわれは便宜上これらの音を「キイキイ」、「ギシギシ」、「タンタン」、「ギイギイ」その他の音に分類して表現することにした。

(D) 「キイキイ」音と「ギシギシ」音について

(a) 摺動面の状況

試験片の摺動面に生じたフレット・コロージョンが進行し、酸化鉄粉が面に多量に生じた場合 (第6図参照) 「キイキイ」または「ギシギシ」という音が発生する。この音は1回転すなわち1摺動サイクルに1回若しくは2回ほど一定の位相で「キイ」あるいは「キイ、キイ」と発生する。

(b) 発生条件

この音の発生する条件を求めた1例を第7図に示す。

この実験は回転数を 270 rpm にして、面圧と相対変位を変えて音の発生する領域を求めたものである。この図より「キイキイ」音は、面圧が小さく相対変位の大きい程発生しやすく、面圧の増加と相対変位の減少に伴って「ギシギシ」音が発生することがわかる。面圧と相対変位を一定にしておいて、回転数を 270 rpm から 90 rpm にすると「キイキイ」音は「ギシギシ」音となり、270 rpm から 350 rpm にすると「キイキイ」と「ギシギシ」の混った音は「キイキイ」音となる。したがってこのことから「キイキイ」音は相対運動の速度が大きい程発生しやすく、小さいときは「ギシギシ」音に近づくことが推察される。なおこの実験で面圧を増加し、変位を減少させると「タンタン」ときこえる音が低く発生することがある。

(c) 注油の影響

「キイキイ」音が発生中摺動面に注油すると、音は直ちに消滅する。

(d) 周波数分布

「キイキイ」音を周波数分析した結果を第8図に示す。図によると「キイキイ」音は 3,100~s くらいが主成分で、これの約2倍の 6,400~s の成分も若干出ている。250~s の成分は異常音と無関係に出る装置自体の音である。「ギシギシ」音もまた 3,100~s くらいの成分を含んでいる。

(e) オシログラム

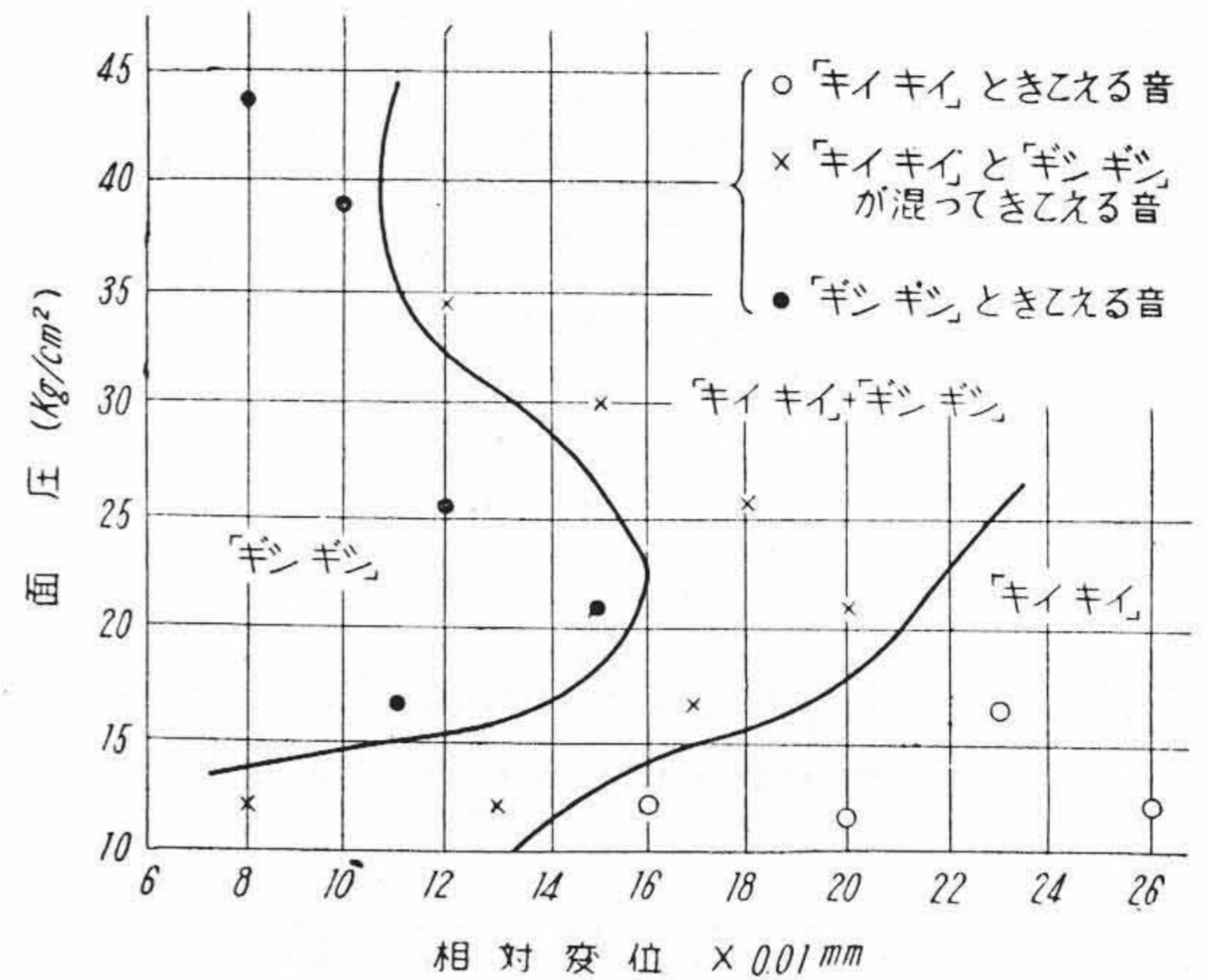
「キイキイ」音発生時に記録したオシログラムを第9図に示す。このオシログラムについて、 $t=0$ 以後のときより説明する。

$t=0$ においては、ブロック(E)は主バネによつて第3図における左の方に押付けられた状態であるが、その位置から(E)が右の方に戻り始めると、上試験片押え(A)の曲げ応力は(負)の最大値からその値を減少し始める。

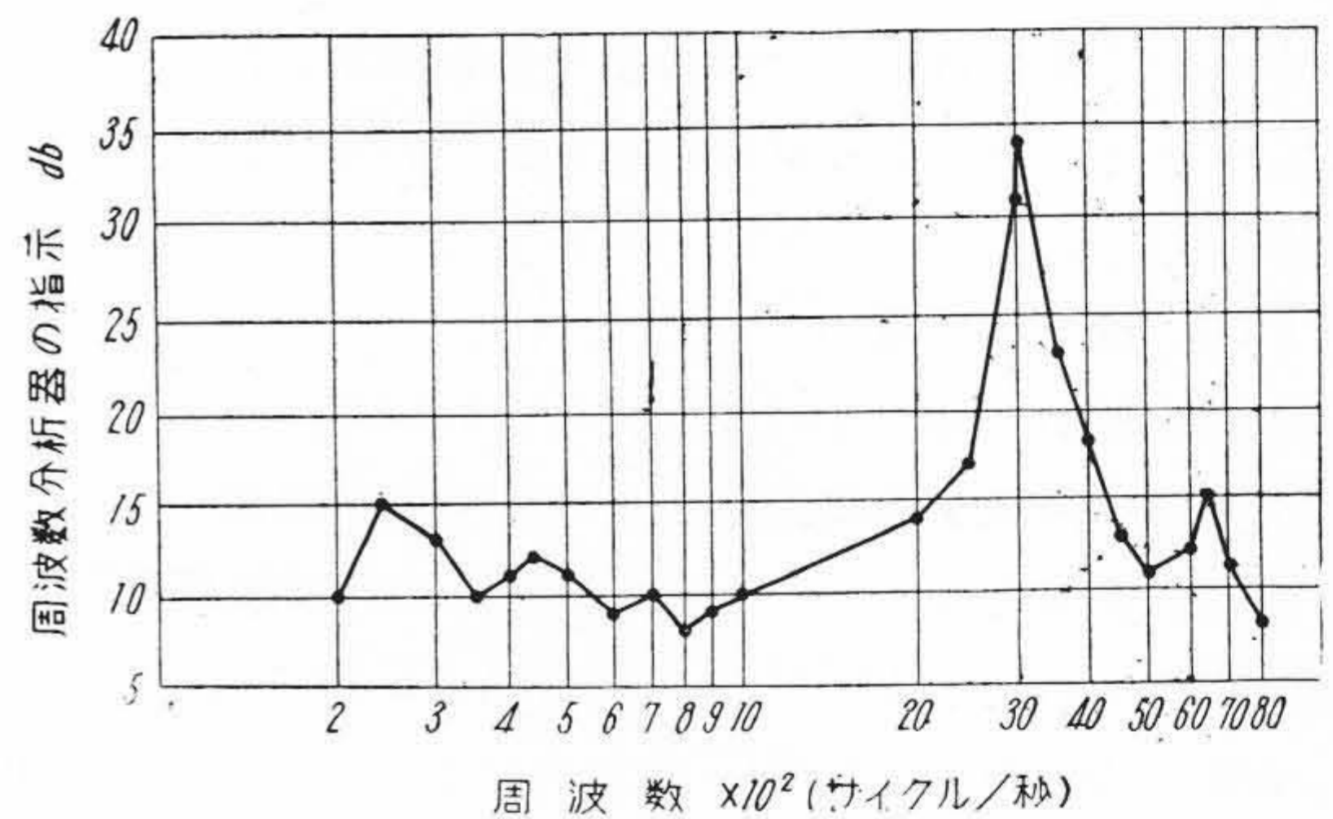
ある時刻において(A)は中性位置にもどり、それ以後は曲げ応力は(正)の値となりついに最大値に達する。

上下両試験片は(A)の曲げ応力が正の最大値に達するまでは密着したまま同時に動き相対変位を生ぜず、上試験片押えの曲げ応力が増加してゆき摺動面の摩擦力との平衡が破れたとき摺動を始める。(オシログラムの下方へ動く) 摺動の途中で「キイ」と音を発生するが、曲げ応力は音発生とともに少量ながらもあきらかに認められる変化を示している。

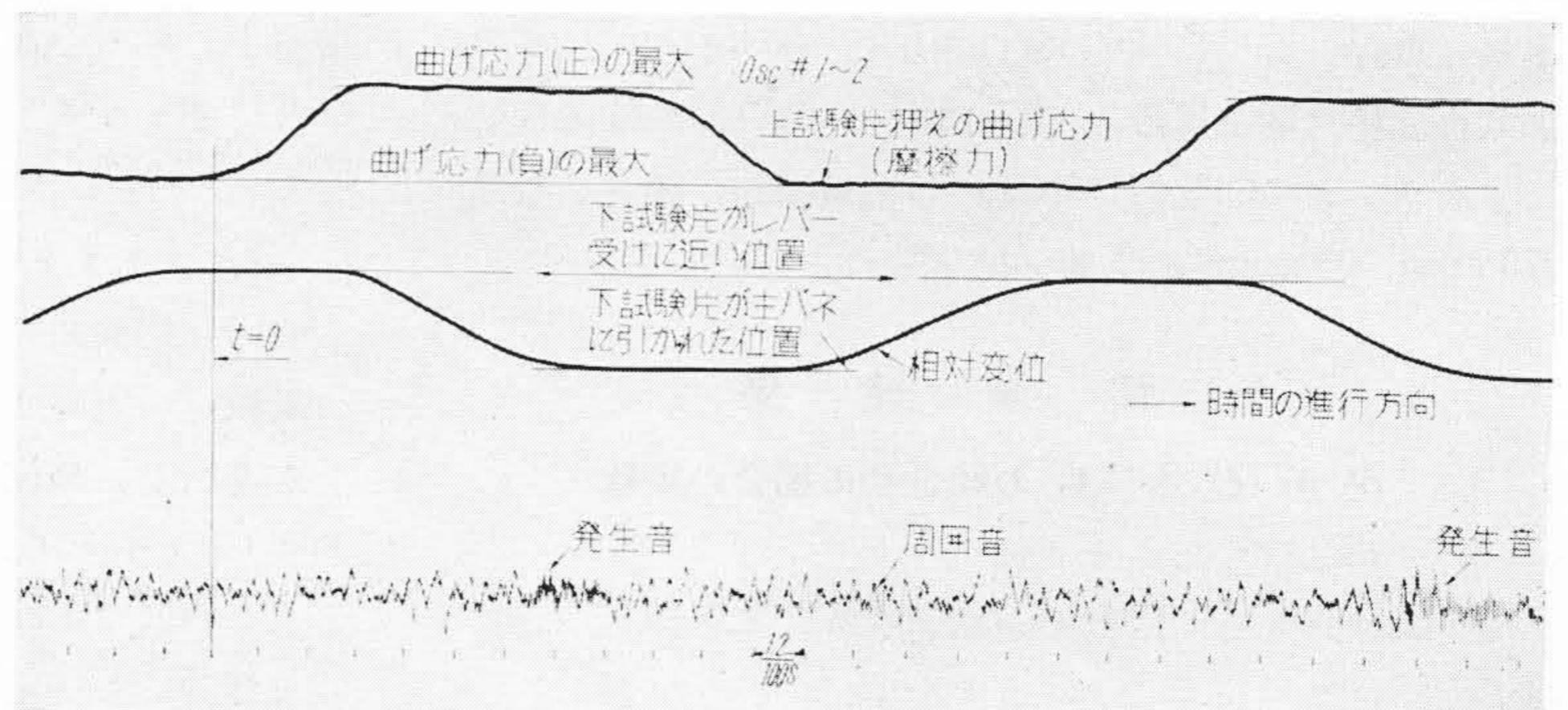
つぎに1摺動を終つて、主バネによつて下試験片台がレバー受け(G)の方向にもどされる場合も同様の経過を辿るが、このときは「キイキイ」音を発生しない。この



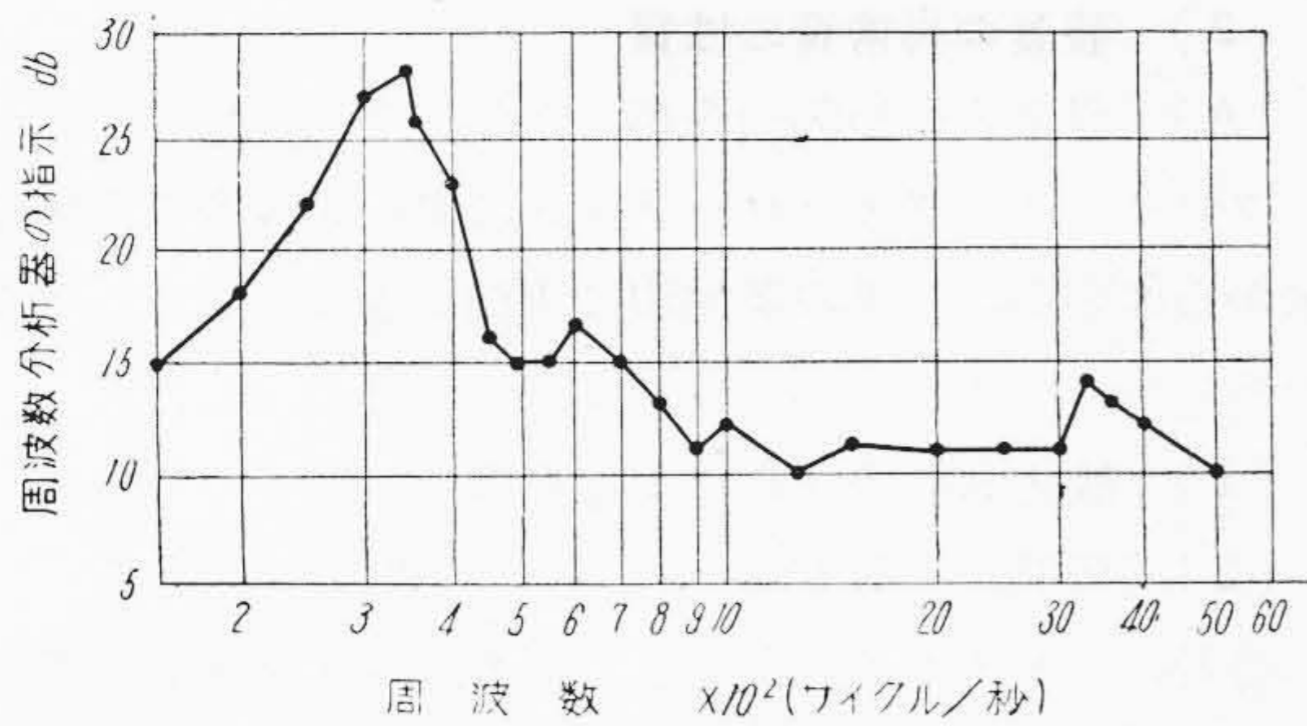
第7図 面圧と相対変位の変化による音質の変化
Fig.7. Influence of the Contact Pressure and Relative Displacement on the kind of the Noise



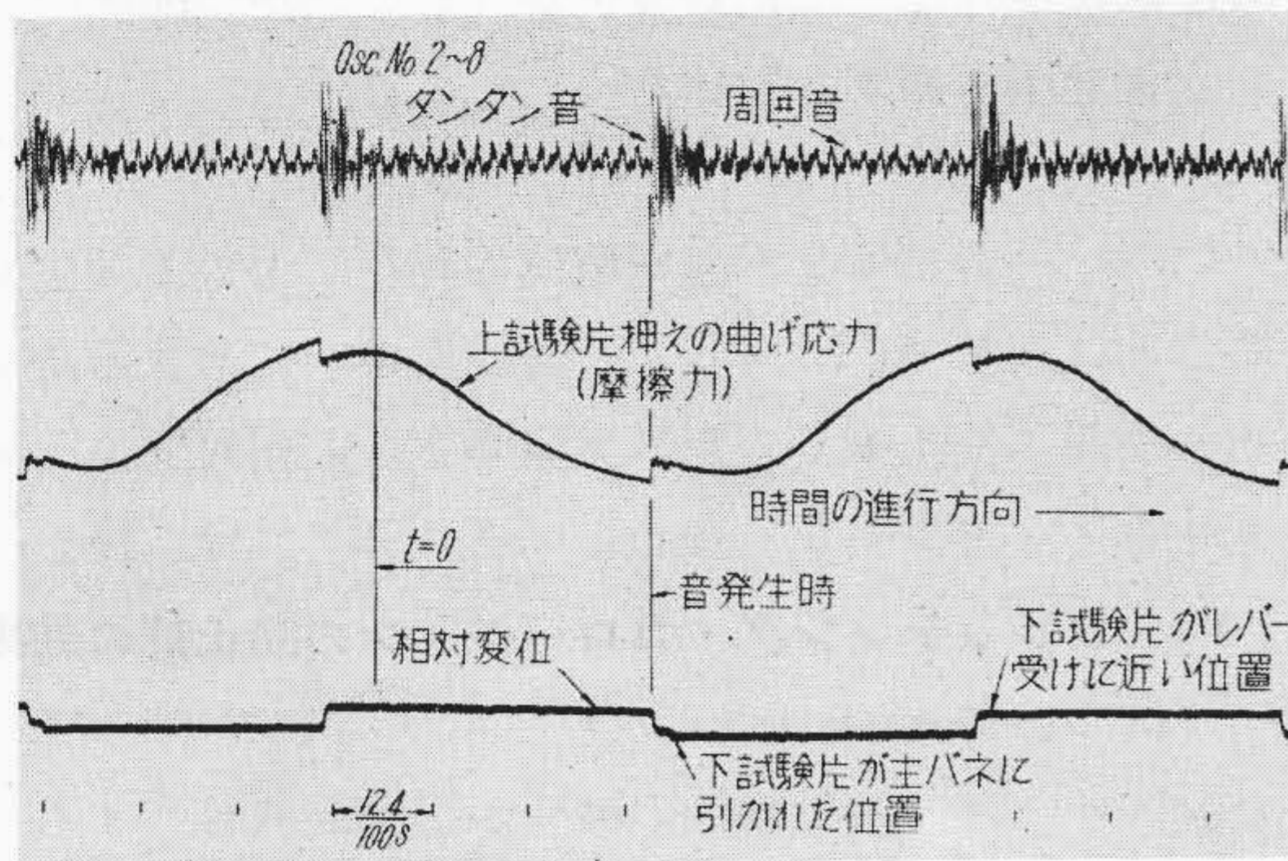
第8図 「キイキイ」音の周波数分布
Fig.8. Result of Frequency Analysis of the Creaky Noise



第9図 「キイキイ」音発生時のオシログラム
Fig.9. Oscillogram while Creaking



第10図 「タンタン」音の周波数分布
Fig. 10. Result of Frequency Analysis of the "tan-tan" Noise



第11図 「タンタン」音発生時のオシログラム
Fig. 11. Oscillogram while Analysing "tan-tan" Noise

「キイキイ」音はオシログラム上明瞭に 3,000~3,200~s の周波数としてあらわれている。

(f) 新試験片に酸化鉄粉を散布したときの異常音

前述した「キイキイ」音が果して酸化鉄粉の存在によるか否かを確認するために、新試験片の摺動面に酸化第2鉄の粉末を散布して摺動させた結果「キイキイ」音を大きく発生した。

(E) 「タンタン」音と「ギイギイ」音について

(a) 摺動面の状況

「キイキイ」音の実験のときに面圧を増加し、相対変位を減少させると「タンタン」音が発生することがあると述べた。筆者らはこの原因がフレット・コロージョンによる痘痕にあると考えて、十分フレット・コロージョンの生じた試験片の摺動面から酸化鉄粉をアセトンで拭いとり実験したところ「タンタン」という音が発生した。この音は1摺動サイクルの一定位相で2回「タンタン」と明瞭かつ安定に発生する。

(b) 周波数分布

「タンタン」音の周波数分布を第10図に示す。この図でわかるごとく 340~s が主成分である。「ギイギイ」音の周波数分布はやはり 340~s が主成分であるが、やゝ大きさが減少している。

(c) オシログラム

つぎに「タンタン」音発生時に記録したオシログラムを第11図に示す。オシログラム上 $t=0$ 以後から説明すると第9図のオシログラムと同様に下試験片が動かされても摺動面の摩擦力のために上試験片も一緒に動いて相対変位を生ぜず、上試験片押えが変形して曲げ応力を増加して行き摩擦力との平衡が破れたときに両試験片間に急激な滑りを起し、上試験片押えに蓄えられた弾性エネルギーの一部を急激に放出する形態をとる。

この滑りによつて音が発生するという事は音の発生時期と滑りが時間的に完全に一致していることからも了解できる。この急激な滑りのときに起る上試験片押えの振動は約 320~330~s で、発生音も同一サイクルである。

また「ギイギイ」音のオシログラムも同様な変化を示している。

(d) 単なる痕による異常音

前述のごとくフレット・コロージョンによる痘痕のために「タンタン」という音を発生するが、新試験片の摺動面に「かじり状」の痕を付けたときも全く同様に「タンタン」あるいは「ギイギイ」という音が発生した。

(e) 装置各部の固有振動数

装置各部の固有振動数を測定するために、装置を実験状態にして停止し、その一部を打撃して振動数を求めた。その結果、加圧レバーと主バネに 300~330~s の振動が認められた。

(2) FC 19 と S 35 C の組合せの場合の実験

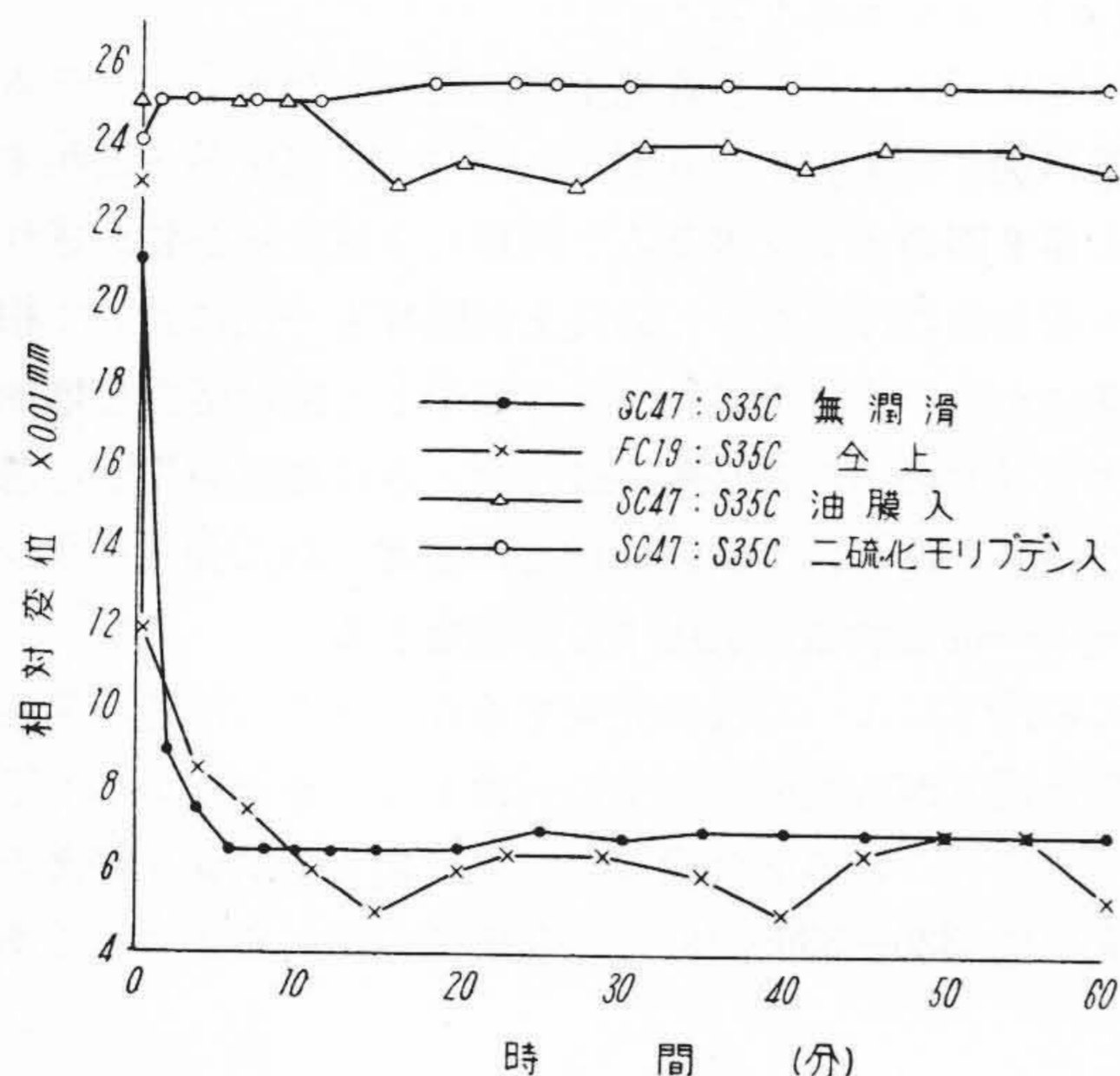
参考のために FC 19 と S 35 C を組合わせて実験した。実験によると SC 47 と S 35 C の組合せの場合と大差のない結果を得たので、詳細は省略する。

(3) フレット・コロージョンの防止に関する実験

フレット・コロージョン防止の実験をつぎのように簡単に行つた。この実験に用いた組合せはつぎのごとくである。

- 1) SC 47 : S 35 C 潤滑剤なし
- 2) SC 47 : S 35 C マシン油を摺動面にあらかじめ注入
- 3) SC 47 : S 35 C 二硫化モリブデン粉末を摺動面にあらかじめ散布
- 4) FC 19 : S 35 C 潤滑剤なし

回転数、面圧およびクランクの偏心量を一定にして1時間摺動させ、その相対変位量の変化を記録し、実験後の面の状況を観察した。FC 19 はフレット・コロージョンの進行状況を SC 47 と比較するために行つた。



第12図 摺動時間と相対変位の関係
Fig.12. Relation between the Relative Displacement and Running Time

摺動時間に対する相対変位量の変化を第12図に示す。これによると潤滑剤のない場合 SC 47, FC 19 とともに実験開始直後から相対変位が急激に減少し始め約10分後からはあまり変化を示さなくなる。油注入の場合は約10分くらいで変位がやゝ減少するのが見られる。この相対変位の減少はいずれもフレットング・コロージョンの発生による摩擦力増大のためと考える。潤滑剤のない場合はいずれも酸化鉄粉が外部に押し出されて来るのが認められ、油注入の場合は油がにごってくる。二硫化モリブデンの粉末を散布した場合は、相対変位がほとんど変化せず、酸化鉄粉も押し出されて来なかつた。

実験後摺動面のフレットング・コロージョンの状況を観察するとつぎのごとくである。

- (1) 潤滑剤のない場合は SC 47, FC 19 とともに大差なく浸されている。
- (2) 油を注入した場合は、広い範囲にわたり僅かに磨耗の様子が認められる。
- (3) 二硫化モリブデンの粉末を散布した場合は、二硫化モリブデンがすりこまれて保護層を作つたようになつており、フレットング・コロージョンの形跡はない。

[VI] 結 言

(1) 異常音とフレットング・コロージョンの関係
異常音が新しい試験片からは発生せずフレットング・コロージョンの生じた場合発生することからフレットング・コロージョンが異常音を発生する原因であるといえる。

(2) 装置の異常音の性質

(A) 異常音の原因別分類

フレットング・コロージョンによる異常音は実験結果から原因別につきの2種類に大別できると思う。すなわち

(1) 酸化鉄粉の介在によるもの

(2) 痘痕によるもの

前者は「キイキイ」音などで後者は「タンタン」音などである。しかし実際の場合は(1)(2)の両者が単独になっている場合はまずないであろう。

(B) 「キイキイ」音

酸化鉄粉が存在して相対変位が大きく、かつ面圧の小さいとき発生するようである。

(C) 「タンタン」音

「タンタン」音が単なる痕や痘痕の存在によつて発生することは[V]-(1)-(E)の実験によつてあきらかである。また「キイキイ」音の実験のとき、相対変位を減少させると「ギシギシ」音から「タンタン」音に移る。

(3) フレットング・コロージョンの防止剤の効果について

文献⁽²⁾⁽³⁾には「純鉍物油の被膜が摺動面に存在すると最初のフレットング・コロージョンの発生を時間的に約50倍延ばしうる。また平面鋼同志の実験において、二硫化モリブデンを摺動面に散布したとき、最初の発生を約1,000倍以上時間的に延ばしうる」とある。

筆者らの行つた実験においても、二硫化モリブデンは油よりはるかにすぐれた防止剤であることがわかる。しかし油の実験では僅かながら磨耗が認められ、また文献⁽²⁾によつても、油、二硫化モリブデンなどはフレットング・コロージョンの発生を時間的に延ばしえても絶対的な防止剤でないことがわかる。

以上述べたごとく二つの面がある圧力のもとに接して微小な相対変位を繰り返す場合はフレットング・コロージョンといわれる現象を生じ、そのとき生じた酸化鉄粉あるいは痘痕によつて異常音が生ずることを確かめた。またその防止についても大体の傾向を知ることができた。

最後に本実験を行うにあたり種々有益な助言を与えられた田口渾三郎理博に深厚なる感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) Symposium on Fretting Corrosion: ASTM Symposium, June, 1952
- (2) Arthur H. Allen: Metal Progress, Dec., 1952
- (3) 同抄訳: 金属 Vol. 23, No. 5