HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	弦の接触振動に関する実験
Author(s)	入江, 敏博; 山田, 元; 松本, 哲也
Citation	北海道大學工學部研究報告, 81, 15-20
Issue Date	1976-08-30
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/41370
Type	bulletin (article)
File Information	81_15-20.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第81号（昭和51年）

Bulletin of the Faculty of Engineering,
Hokkaido University, No. 81 (1976)

弦の接触振動に関する実験

入江敏博* 山田 元* 松本哲也**

（昭和51年3月24日受理）

Experiments on the Contact Vibration of Strings

Toshihiro IRIE, Gen YAMADA and Tetsuya MATSUMOTO

(Received March 24, 1976)

Abstract

Ropes and chains are used widely in various fields of industry, including the manufacturing industry; thus in the past the mechanics and dynamics thereof have been studied in detail. However, in the literature only a limited number of papers are available on the mechanical vibrations of ropes and chains caused when they come in contact with other wall surfaces or other bodies, in spite of the fact that these vibrations arise frequently in practice.

In this paper an experimental study was carried on the stationary vibration of a light chain made of aluminium alloy which is caused when a part of the chain stretched in the horizontal direction comes in contact with a flat surface put parallel to it under the action of an exciting displacement. From the present experimental study various properties of the contact vibration of ropes and chains, such as the effects of exciting displacement level, exciting period, the distance between chain and wall surface and the conditions causing these vibrations were clarified.

1. まえがき

各種の産業機械に広く用いられるロープや鎖が周期的な外乱を受けて振動し，これが壁面や他の物体に接触する場合の挙動についてはほとんど知られていない。

本研究ではこういった線状体（弦）の運動を調べるため，アルミ合金製の市販の細い鎖を用い，その一端を固定，他端に一定調和変位を与えて，これが鎖と平行に近接しておかれた剛い固定平面に接触する場合の接触振動を測定する。そして弦の振動形状や弦振動に与える弦-固定壁間の間隔，加振振幅，あるいは加振振動数の影響など，接触振動現象のもつ性格を明らかにする。

2. 実験装置と方法

図1は本実験装置のブロック図を示す。動電形加振機（明石製作所 ASE-21）の制御装置によって，加振台に取り付けられた弦の一端に，これと直角方向に一定の振幅 a_0，振動数 f の小さい加振変位を与えて周期的な横振動を起こさせる。光電式回転計（タケダ理研工業 TR-5146）で弦の振動数を計測するとともに，この信号をスローモーションスコープ（菅原研究所 KS-1）に

* 機械工学第二学科 機械力学講座
** 全日本空輸㈱

伝えてストロボライトの点滅の時間間隔を制御する。スローモーションスコープによって，弦がこれと平行で，その振動方向に垂直に設けられた平面壁と接触するときの運動状態を，位相を変えて計測することができる。

また弦の振動の振幅分布と時間変化は，一定の時間間隔をおいて照射されるストロボ閃光によって，振動面に直角な位置におかれたカメラで撮影される。壁面に対する弦の接触の有無や，接触時刻，継続時間は，接触時に弦と金属壁面間に流れる微弱電流をシンクロスコープにインプットすることによって測定される。

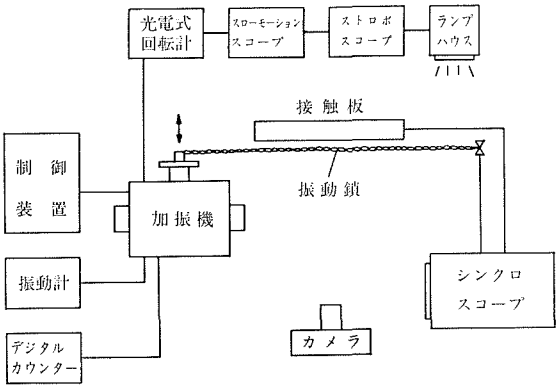

図1　実験装置ブロック図

本実験では，たわみ易い弦のモデルとして，市販の単位長さ当り重量　$w=0.0189$ gr-wt/mm，長さ 1 m 余りのアルミ合金製の軽い鎖を使用し，図2のように，一端 A を加振台に取り付け，他端 B をこれとほぼ同じ高さの位置に設けられた小さいプーリーを介して，重錘により一定の張力 $W=205$ gr-wt を与える。

実験を開始するに当って，鎖の両端を結ぶ直線 AB を正しく水平にし，A, B 間の距離を $L=1000$ mm とした。この場合，鎖はその自重のためほぼ放物線状に懸垂し，中央において垂直たわみ

$$h=\frac{wL^2}{8W}=\frac{0.0189\times1000^2}{8\times205}=12\ \mathrm{mm}$$

をもつ[1]。その大きさは鎖の両支点 (A, B) 間の距離の 1.2%に当る。またこの場合の鎖の長さは

$$L^*=L\left(1+\frac{8}{3}\frac{h^2}{L^2}\right)=L\left(1+\frac{8}{3}\times0.012^2\right)=1.0004\,L$$

で，ほとんど水平距離 L とかわらない。この程度の小さいたわみ量をもつ鎖が水平方向に横振動する場合，張力 W で張られた弦とほぼ等しい固有振動数

$$f_n=\frac{n}{2L}\sqrt{\frac{W}{w/g}}=\frac{n}{2\times100}\sqrt{\frac{205}{0.189/980}}=5.15n\ (\mathrm{Hz})\qquad(n=1,2,\ldots)$$

をもつことが，鎖を自由振動させた結果確認された。

この鎖には，100 mm ごとに黒いマークを記し，さらに鎖の直下に黒地にたて横 20 mm 間隔の白糸を格子状に張って，振動する鎖の撮影結果からその変位を読み取る際のスケールとした。この場合，カメラは鎖の上方から下に向けてセットするが，その位置は必ずしも鎖の中央鉛直上である必要はない。鎖に対する接触面として，バフ仕上げして鏡面

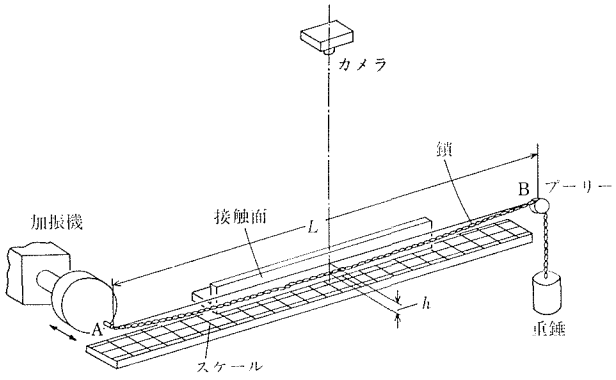

図2　弦(鎖)の加振法

状態とした鋼製平板を設け，鎖との間隔を随意に変え得るようにしてある。

実験においては，静止している鎖と接触面間に間隔 d を設け，加振機の振幅 a_0 を一定に保って，振動数 f をもっとも計測が容易な鎖の基本振動数 f_1 の付近で変化させ，このときの弦の定常変位を計測する。

3.　実験結果と考察

鎖が他物体と接触しない状態で，その一端に水平方向の小さな加振変位を与えるときは，共振状態においても鎖は加振方向と同じ水平方向にのみ振動するが，加振振幅がある程度大きくなる

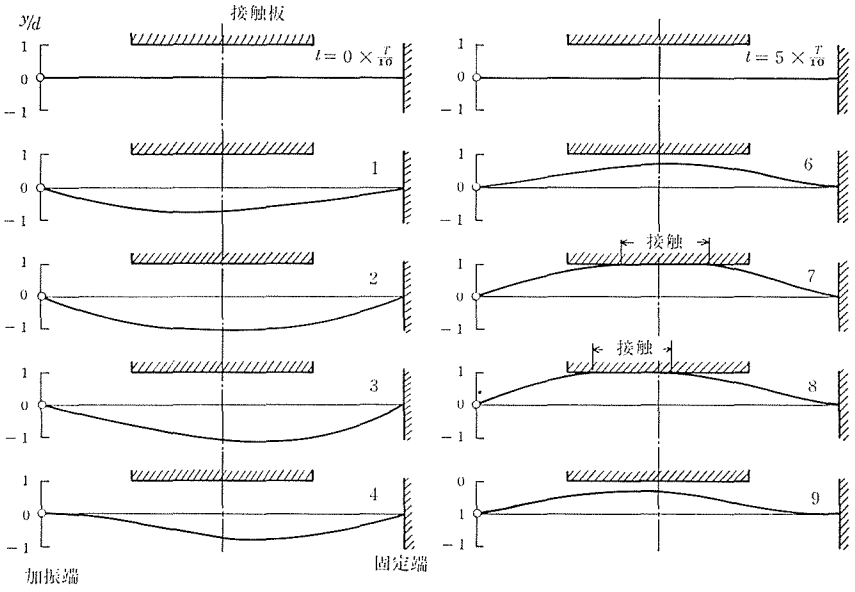

図3　鎖の水平横変位（$a_0/L=1\times10^{-3}$，$d/L=13\times10^{-3}$，$f/f_1=1.018$）

と楕円状の回転運動を起こし，一つの平面内における横振動とは多少異なった性格をもつにいたる[2)3)]。この実験では，加振振幅が 1.2 mm を越すと回転振動が発生したが，鎖が固定面に接触しはじめると，2.0 mm 程度の振幅を与えても著しい回転運動を起こさないので，以下の実験においては，2.0 mm 以下の振幅を与えることとした。

図3と4は共振振動数にごく近い振動数で加振された鎖の横変位を撮影して得た一つの例を示す。図3は 1/10 周期ごとに撮影された変位分布，図4は加振端より全長を10等分した点の変位の時間的な変化を1周期 T にわたって描いたものである。この二つの図から $t=7\times(T/10)\sim8\times(T/10)$ の間において鎖の中央部が連続的に接触板と接触していることがわかる。

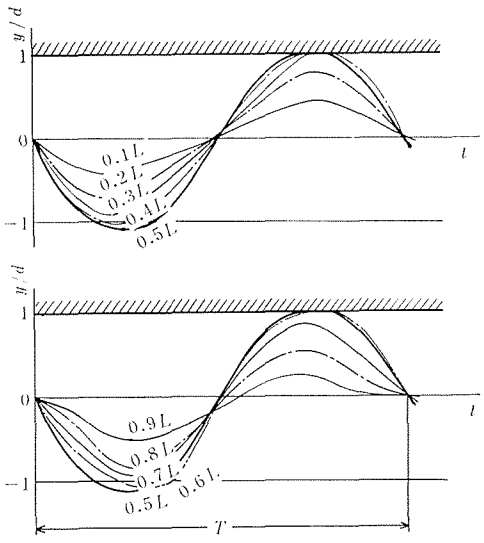

図4　鎖の横変位の時間変化
（$a_0/L=1\times10^{-3}$，$d/L=13\times10^{-3}$，$f/f_1=1.018$）

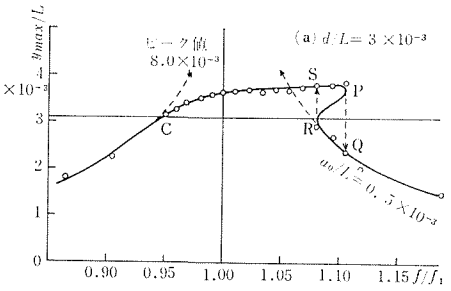

図5 (a)

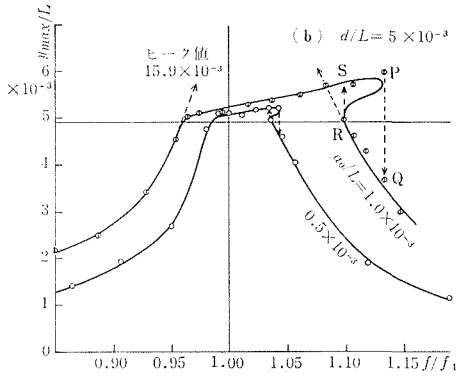

図5 (b)

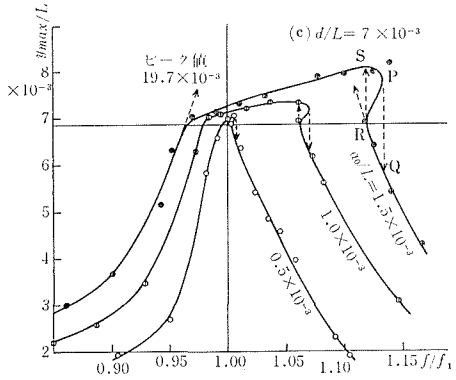

図5 (c)

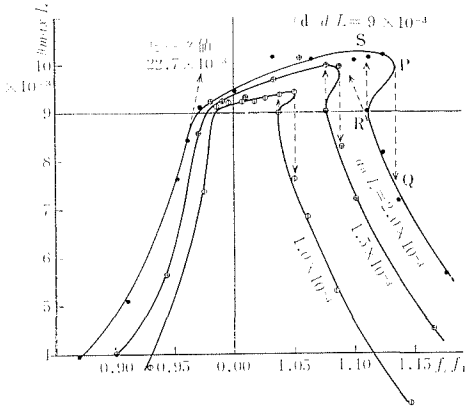

図5 (d)

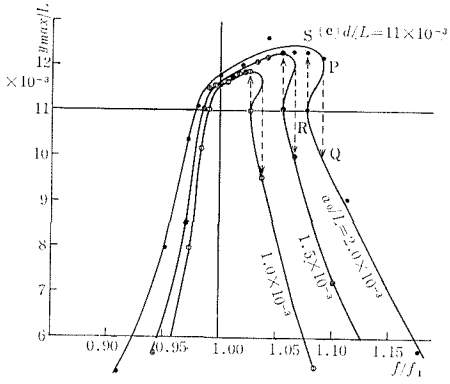

図5 (e)

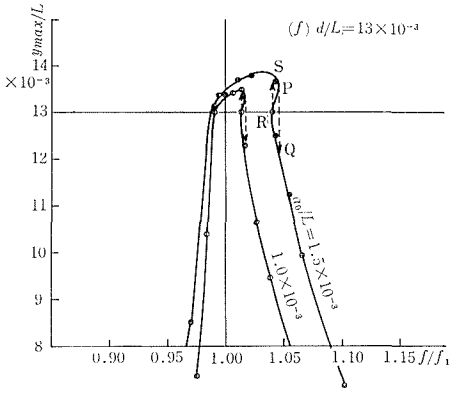

図5 (f)

図5　鎖の最大変位

図5のおのおのの図は，鎖と接触面間の距離を変えたときの接触面と逆方向の鎖の最大(反発)変位を示す。これらの図では，横軸に f/f_1，たて軸に鎖の全長に対する最大振幅比 y_{max}/L をとり，加振振幅比 a_0/L をパラメータに選んである。また横軸に平行な直線は，鎖が接触振動を起こすにいたる限界値を示している。

振動数が小さいとき鎖は平面壁と接触することなく振動するが，振動数を増加させるにしたが

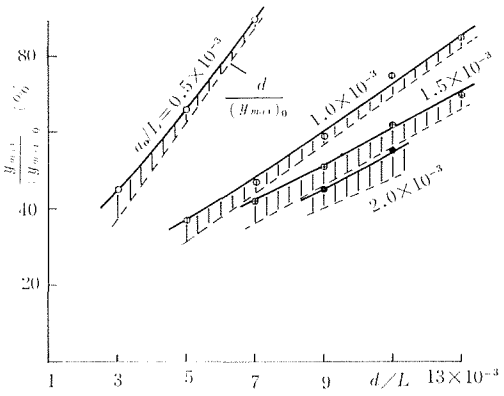

図6 接触振動における最大（反発）変位

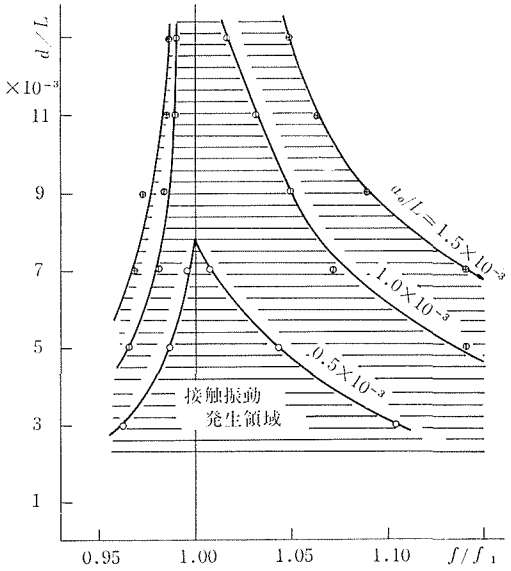

図7 接触振動の発生範囲

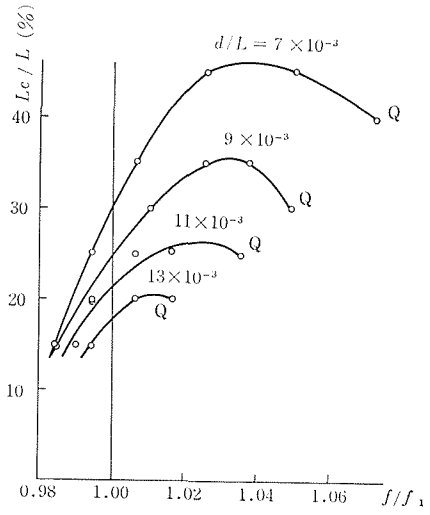

図8 鎖の接触長さ（$a_0/L=1.0\times10^{-3}$）

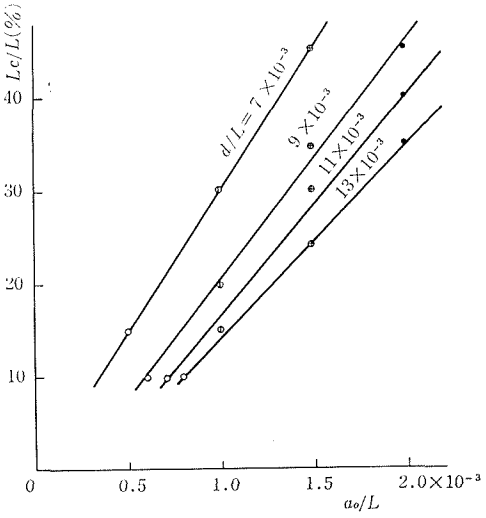

図9 鎖の接触長さ（$f/f_1=0.99$）

って，やがて図中の C 点で接触振動が起こる。さらに振動数を増して P 点に達すると振幅が急に Q 点まで減少し，接触振動は終止する。これと逆に，振動数を大きい値から漸次減少させると，Q 点より小さい振動数 R 点において振幅が急激に S 点まで増加し，接触振動が始まる。さらに振動数を減少させると振動はしだいに小さくなり，やがて C 点で非接触振動に移行する。以上のことから，固定面との接触を伴う接触振動はハードスプリング形の非線形特性を有することがわかる。

これらのどの図においても，接触振動が発生すると，接触面と逆方向の反発変位はいずれも小さく抑えられる。図6の曲線は非接触振動における最大変位に対する接触振動時の最大（反発）変位の比率を示し，また破線で描いた直線は非接触振動の最大変位に対する弦と接触面間の距離

（すきま）の比を示す。弦に平行におかれた壁面が存在することによって，反対方向の変位は減少し（100％以下），破線の値と比較してわかるように，その大きさはすきまの値のせいぜい十数％程度増した値をとるに過ぎない。

こうして，弦に近接しておかれた壁面はその振動変位を抑制するストッパの役目をもつといえる。

図7は横軸に f/f_1，たて軸にすきま比 d/L を用い，加振振幅比 a_0/L をパラメータとして描いた接触振動の発生領域を示したものである。この図から明らかなように，すきまが増すほど接触振動が起こる振動数の範囲は狭くなる。また同一のすきまに対しては，加振振幅が増すほど振動数範囲は広くなる。

接触振動中の鎖の接触長さ L_c をストロボ閃光によっの観測し，その結果をまとめたものが図8，9である。図8は加振振幅比 $a_0/L=1.0\times10^{-3}$ の場合の加振振幅に対する接触長さ比 L_c/L をすきま比 d/L をパラメータとして描いたものである。加振振動数の増加とともに接触長さは増大するが，やがて極大値を経過したのち，ジャンプ現象が発生する振動数 Q 点で接触振動は終止する。図9は共振点のごく近傍（$f/f_1=0.99$）における加振振幅比に対する接触長さ比を，すきま比をパラメータとして描いたものである。すきまが小さくなるにしたがって接触長さは増加し，さらに一定のすきまに対して，加振振幅を増すにつれて接触長さがほぼ直線的に増加していることが認められる。

4.　結　　論

一定の張力を与えて水平に張った鎖をモデルとして，弦の定常な接触振動の実験を実施した結果，つぎのことが明らかとなった。

1)　弦はこれと平行におかれた平面状の壁面と，弦の一部が線状な接触振動をする。

2)　接触が起こると，接触面と逆方向の反発変位は減少し，その値は接触面と弦の間の距離（すきま）の高々十数％増した大きさをとるに過ぎない。

3)　加振振動を緩慢に変化させたとき，弦の最大反発変位にはハードスプリング形非線形振動系に特有なジャンプ現象がみられる。

4)　弦と接触面間のすきまを大きくすると，接触振動が起こる振動数の範囲が狭くなるとともに，接触長さも小さくなる。

5)　弦に対する加振振幅が増すにつれて，接触長さがほぼ直線的に増加する。

参　考　文　献

1)　加藤誠平：林業用索道設計法（昭37），p. 52，金原出版.
2)　Miles, J. W.: J. Acous. Soc. Amer., 38 (1965), 5, p. 855.
3)　Anand, G. V.: J. Acous. Soc. Amer., 46 (1969), 3, p. 667.