

ピアノ弦振動の2次元計測による解析

著者	田中 秀幸
著者別名	Tanaka Hideyuki
内容記述	筑波大学博士（工学）学位論文・平成12年3月24日授与（甲第2362号）
発行年	2000
その他のタイトル	ピアノ弦振動の2次元計測による解析
URL	http://hdl.handle.net/2241/6289

第3章

ピアノ弦 2次元振動の測定方法

3.1 測定原理について

ピアノは、弦が振動し、その振動がブリッジに伝わり、さらに響板に達する、というようにほぼピアノの構成部分すべてが振動する。そのピアノ自体に測定装置が接触していればピアノ弦振動、ピアノ音に影響を与え正しい値が測定できない。しかしながらピアノは響板の上部にピアノの弦が10mm以下の間隔で張り巡らされていてさらに響板から弦までは数10mmの距離で密着している。よって測定装置の実際に測定する部分は小型で、ピアノに非接触でなければならない。本研究では非接触にするために光を用いることにより振動を測定することにした。そして、光を受けるところは小型で安価なフォトトランジスタを用いることにした。また、光源としては小型で光量が多いことが求められるため、以前は直流電源ランプの光を光ファイバーによって導き弦に照射していた。現在は光源としてLEDを直接用いている。

測定原理を Fig.3-1 に示す。LED の光をピアノ弦の下半分に照射する。弦に対してLEDとは反対側にフォトトランジスタを取り付ける。これによって弦が上方方向に移動するとフォトトランジスタに到達する光の量が増えフォトトランジスタに生じる電流が増える。また、下方方向に移動するとフォトトランジスタに到達する光の量が減りフォトトランジスタで生ずる電流が減る。このようにして弦の変位を電流の変動に変換している。この方法は極めて安価・簡便であり測定器数を増やして、後述のように弦の2次元振動測定への拡張が容易である。

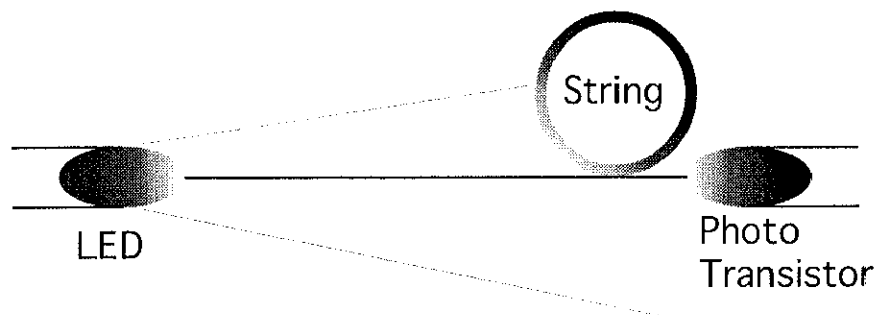


Fig.3-1:測定原理

3.2 測定装置について

響板に垂直、水平な振動を測定する原理はFig.3-2のようになっている。まず、ピアノ弦に平行にレールをわたす。このレールはピアノの上部に位置し、ピアノに触れていない。そしてこのレールに測定装置を取り付ける。

LEDとフォトトランジスタで構成された変位-電流変換器を響板に対して右45度方向と左45度方向と測定軸が直交するように2つ備え付ける。これによって右45度方向、左45度方向の2つの振動が測定できる。この変位-電流変換器はマイクロメータによって位置あわせができるようになっている。

このようにして弦振動に比例した電流が得られ、さらに電圧に変換され、アンプによって増幅された後AD変換器によってコンピュータに取り込む。そして得られた2方向の振動を座標変換によって45度回転させ響板に垂直な振動と響板に水平な振動を得ている。次ページに実際の測定装置を示す。(Fig.3-3)

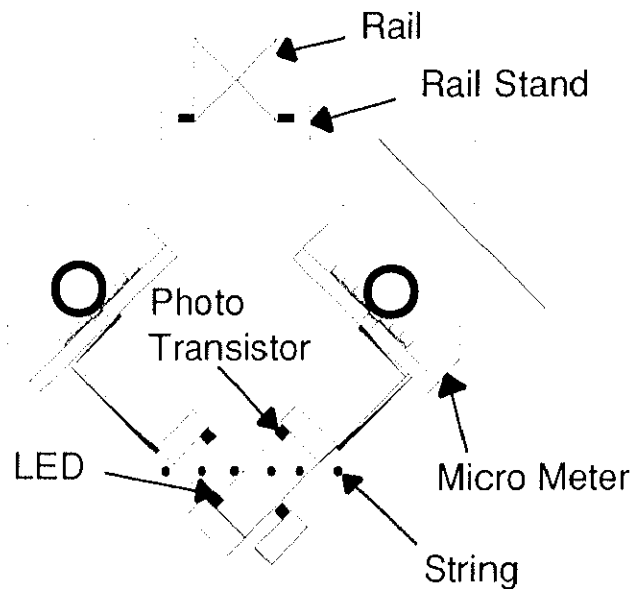


Fig.3-2: 測定装置

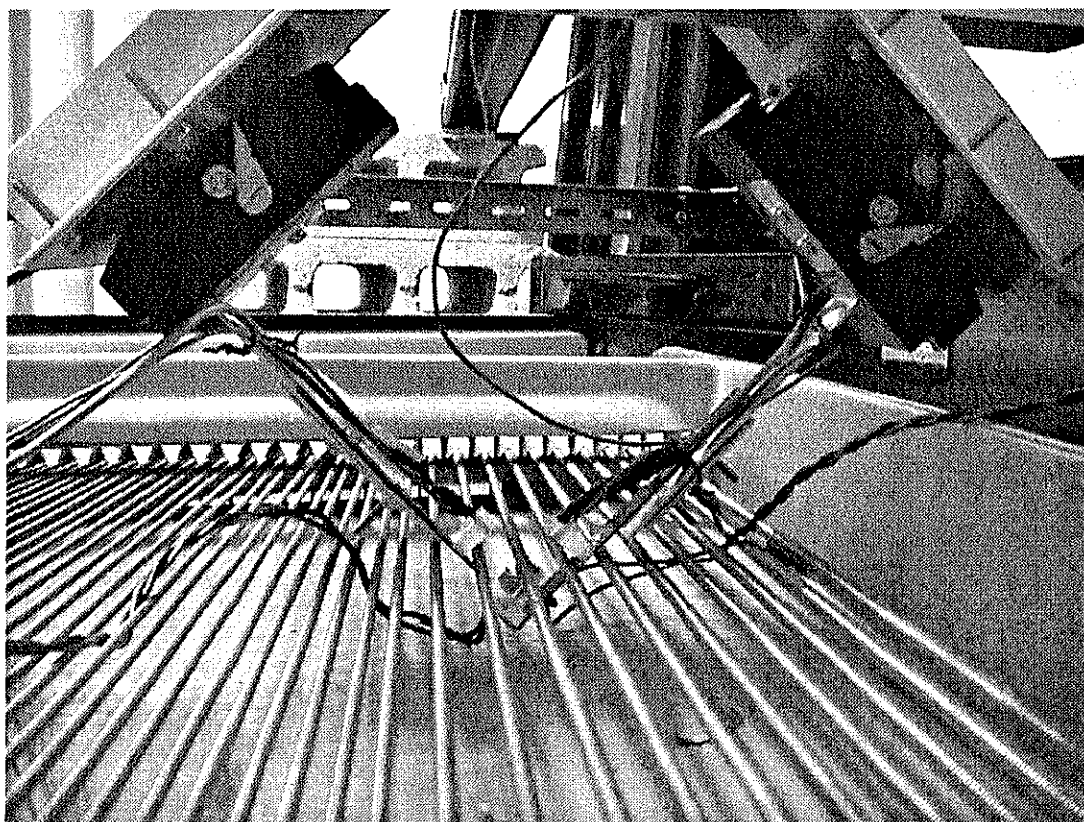


Fig.3-3: 測定装置 (写真)

3.3 測定装置の信頼性

3.3.1 測定装置の線形性

変位－電圧変換器の線形性を調べるため次のような実験を行った (Fig.3-4)。まずピアノの巻線弦に似せて製作した弦モデルをマイクロメータにより動かすことができるステージに固定し、弦モデルが測定装置のフォトランジスタとLEDの間を動かすことができるように設置する。そして弦モデルを0.1mmごとに動かし、その際出力される電圧を記録した。その結果を Fig.3-5 に示す。これを見ると約0.7mmの間ではほぼ線形性が保たれていることがわかる。0.7mmというのは、測定場所を一番大きく振動している弦の中心あたりではなく中心より少し離れたところでピアノ弦を叩く強さをあまり強くしなければ十分に収まる範囲である。また、響板に45度方向で0.7mmというのは響板に垂直な方向 (ハンマーで打たれる方向) では約0.99mmである。

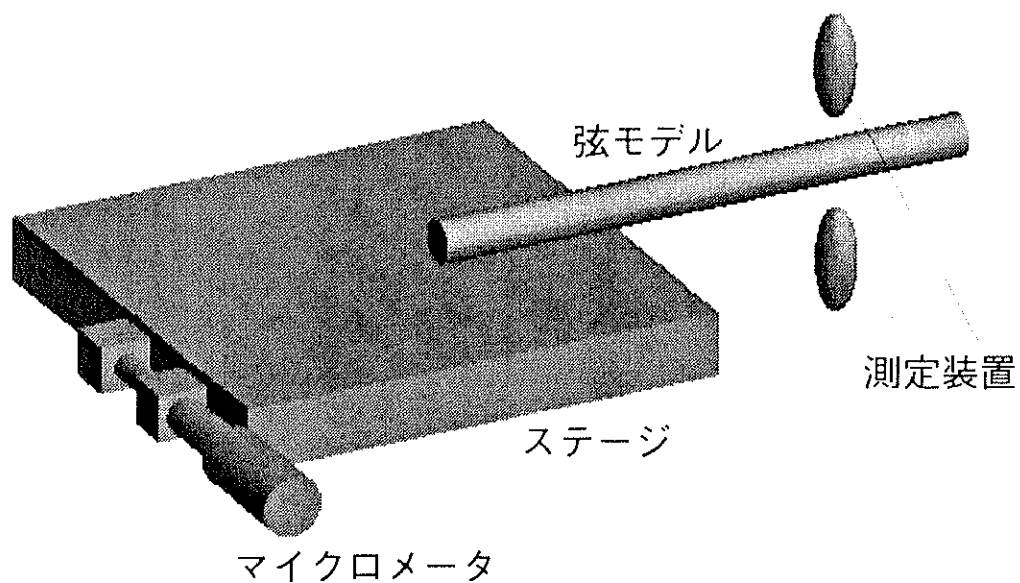


Fig.3-4: 線形性の測定実験方法

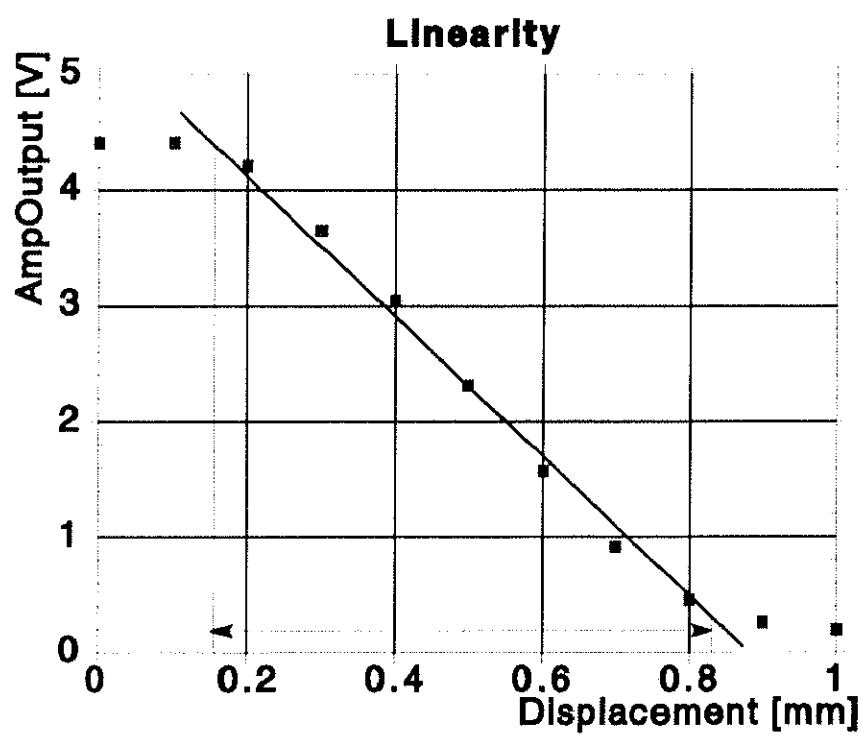


Fig.3-5: 測定装置の変位 - 出力電圧特性

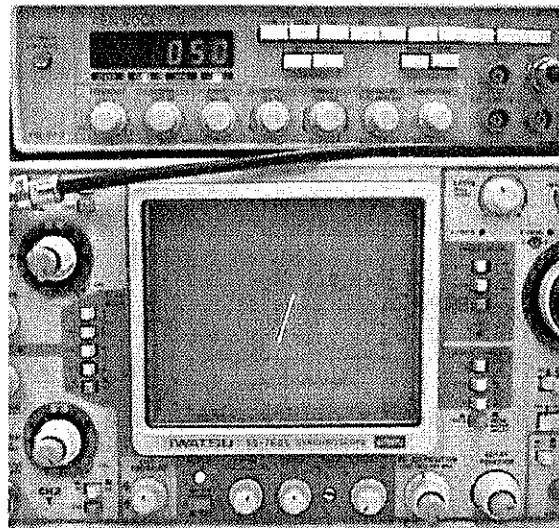
3.3.2 測定装置の周波数特性

次に、測定装置の周波数特性を調べた。

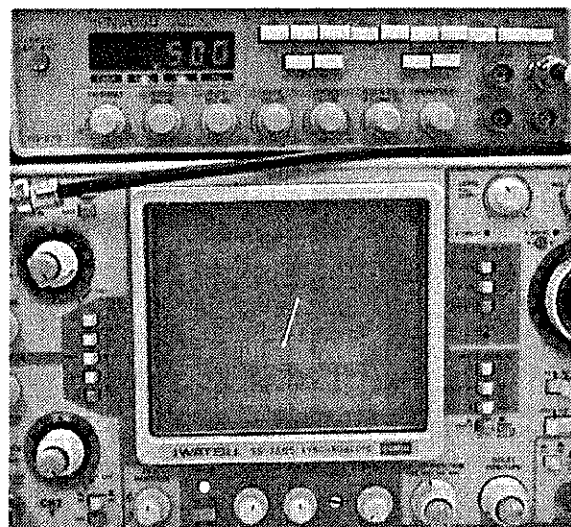
測定した周波数は、測定するピアノ音の基本周波数付近の 50Hz と、その 10 倍の 500Hz である。

測定方法は 4mVp-p の正弦波を入力し、その出力のリサージュ図を観察することによって行った。Fig.3-6(a)は、入力周波数が 50Hz のもの、(b)は 500Hz のものである。オシロスコープの横軸は入力で 5mV/div、縦軸は出力で 2V/div である。

(a)、(b)を見ると、位相特性はこの周波数の間でフラットである。また、振幅も両方とも出力が約 4Vp-p であることから、振幅特性も問題ないといえる。



(a): 入力 50Hz



(b): 入力 500Hz

Fig.3-6: 測定系の周波数特性

3.3.3 測定装置の再現性

測定装置の再現性を調べるため次のような実験を行った。弦振動測定装置をF#1（第10鍵：約46Hz、Appendix1参照）に取り付け、打鍵装置（Fig.3-7）を用いてまったく同じ強さで2回打鍵した。そして、その振動をリサージュ図に表わし比較した。（Fig.3-8、Fig.3-9）今後示すリサージュ図はピアノの鍵盤方向から見た弦に垂直な平面に対してのものである。

打鍵装置はアームが自由に可動し、また任意の角度で固定できるようになっている。そして、その任意の角度からアームを離すと鍵盤を打つ、という仕組みになっている。

結果はFig.3-8、Fig.3-9を見てわかるようにほとんど違いがない。よって、この測定装置に再現性があるといえる。

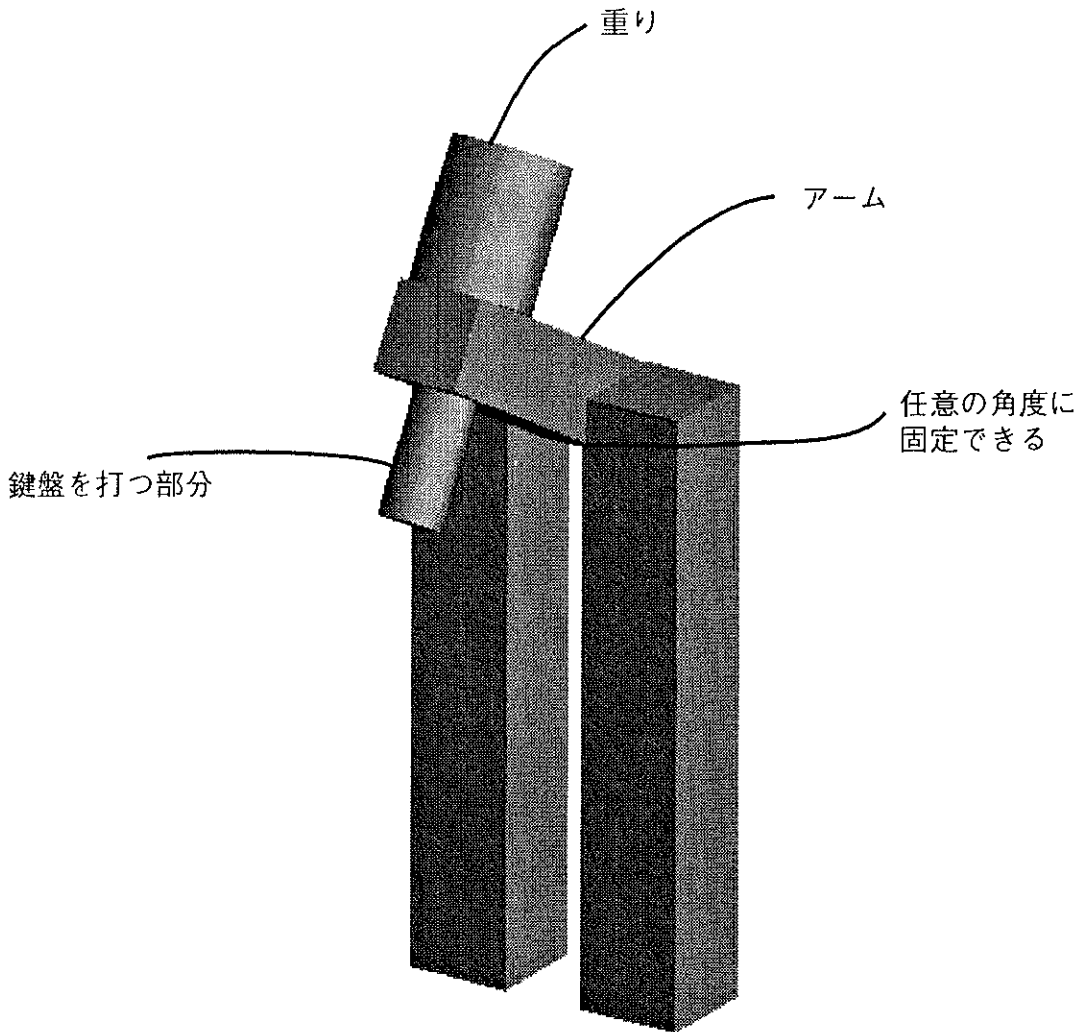


Fig.3-7: 打鍵装置

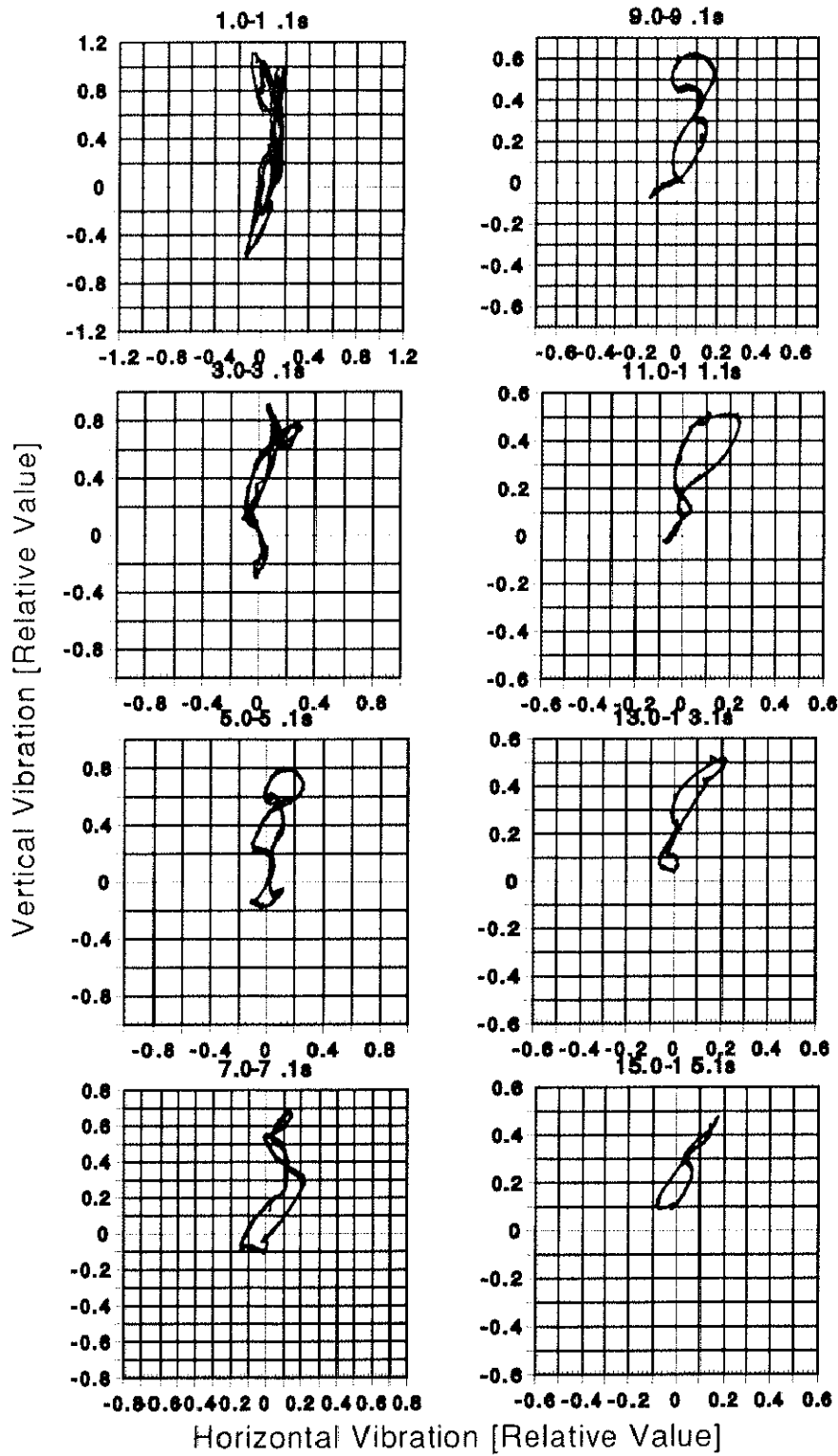


Fig.3-8: F#1 の振動 (1回目)

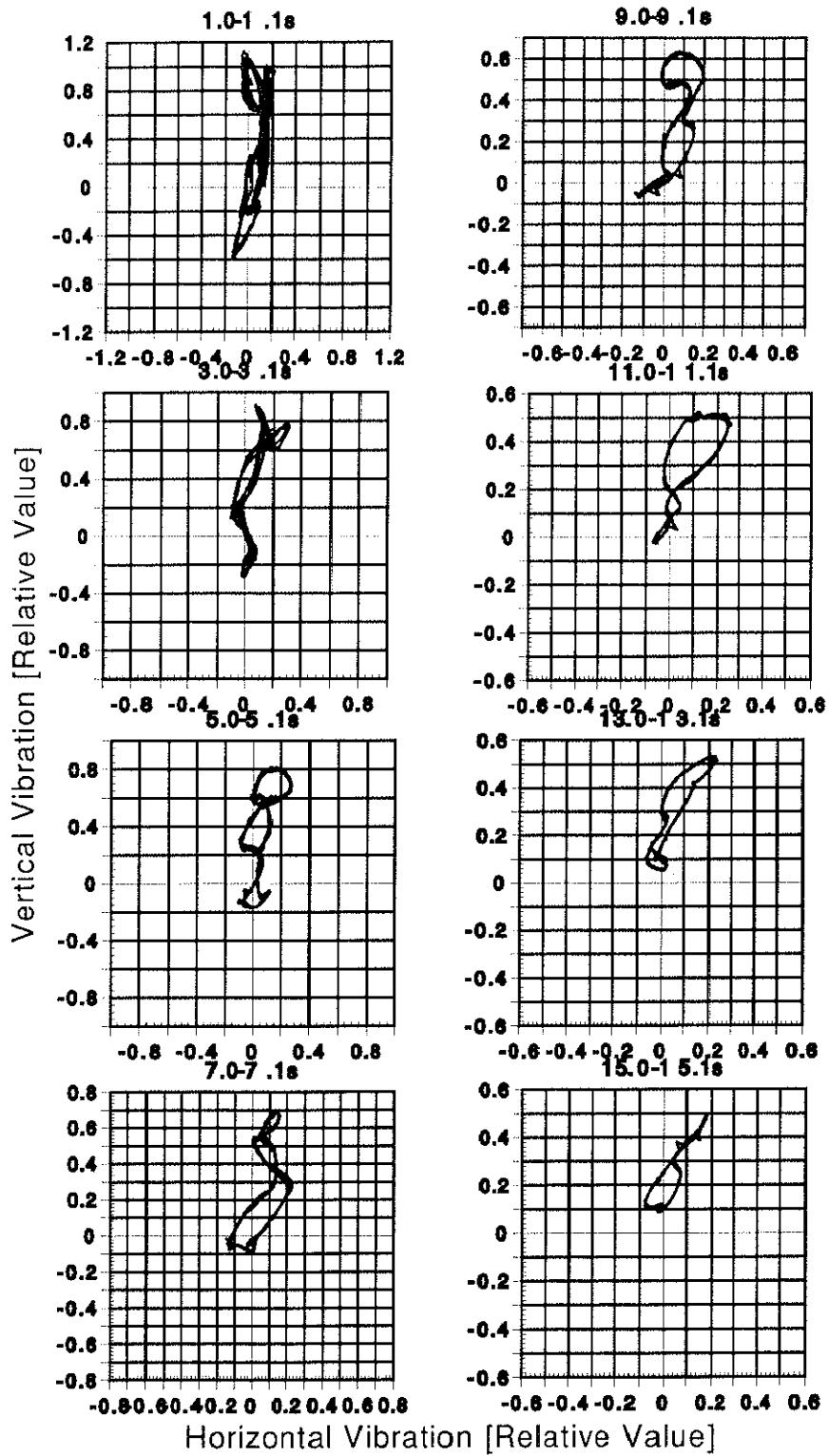


Fig.3-9: F#1 の振動 (2 回目)

3.3.4 弦の振幅の測定

これまで述べてきた弦振動測定では、弦振動の振幅は相対値になるという欠点があった。4.3.3章ではピアノ弦の振幅を測定し、その値によってブリッジの移動幅を測定する、という実験を行った。その前の準備として、相対値ではなく実際の振幅を求める必要がある。そのため、Fig.3-10のような装置を用いた。Fig.3-10の弦振動測定装置の間にあり、ピアノ弦と垂直方向に設置しているものはマイクロメータである。このマイクロメータによってピアノ弦にマイクロメータが触ったときの弦振動測定装置の出力電圧を記録し、次にマイクロメータを進め、弦を0.1mm動かしたあとの測定装置の出力電圧を記録し、その弦をマイクロメータで動かす前と後の出力電圧を比較し、0.1mm弦が動いたときどの位出力電圧が変わるかを求め、それによって出力電圧を弦の変位に変換する。

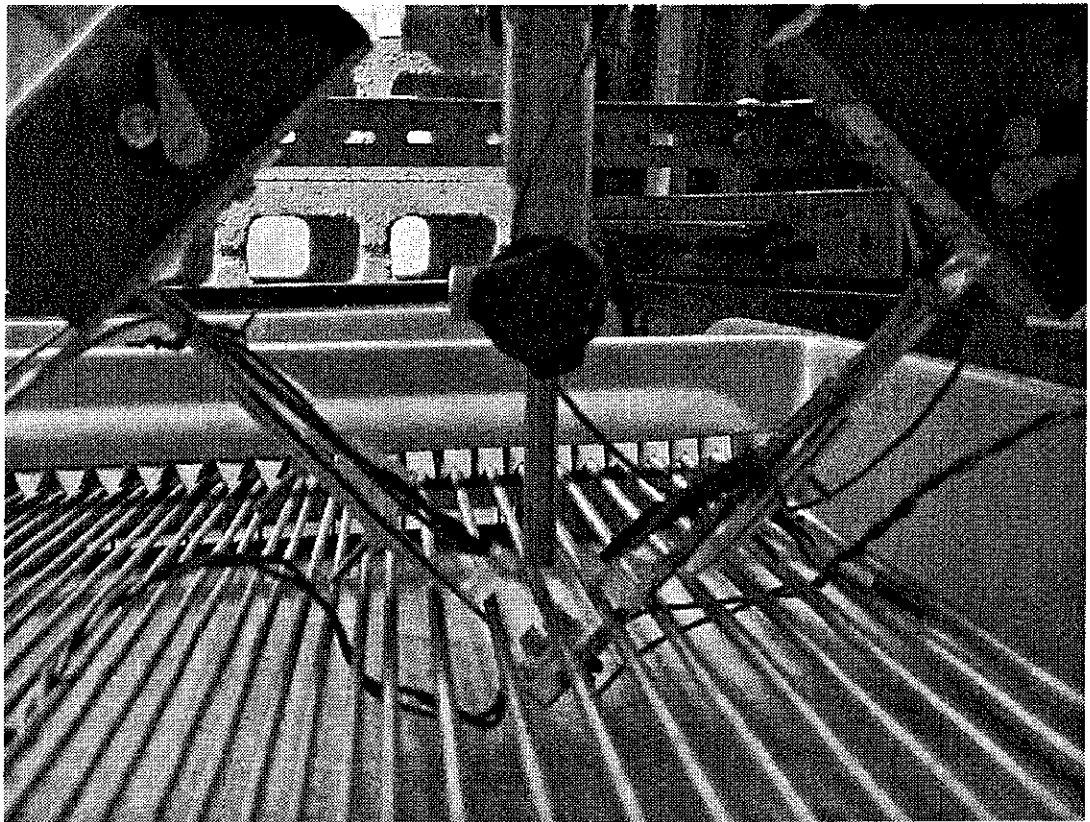


Fig.3-10: 校正装置