

噴水魚洗の水滴飛び出し現象の実験的研究

MATSUDA, Shuzo / SUZUKI, Hiroshi / XU, Huanzhang / 松田,
修三 / 鈴木, 広志 / 許, 煥章 / CHAO, Guang Yi / 曹, 広益

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部
研究集報

(巻 / Volume)

29

(開始ページ / Start Page)

129

(終了ページ / End Page)

139

(発行年 / Year)

1993-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003857>

噴水魚洗の水滴飛び出し現象の実験的研究

鈴木廣志、松田修三、許煥章、曹 広益

Experimental Studis of Pen Sue Xi' s Water Spray

Hiroshi Suzuki*, Syuzoh Matuda*,
Xu Huanzhang**, Chao Guang Yi**

Abstract

The bowl called "Pen Sui Yu Xi" was made in China. The original one was made there about 1000 years ago. It is not certain either it was a useful article or only a magic tool.

About 2~3 liter of water are poured into it and the carry bars are rubbed one's hands. Then it resonates by the external force and sprays the surface water into the air. The resonance mode has four nodes.

In the study of the principals of the resonance, several kinds of experiments were done. We were able to get some interesting results from them.

§ 1 はじめに

“噴水魚洗”は中国に古くから伝わる水入れ容器と言われているが、これがもともと水を入れる容器であるのか、あるいはマジックショウの装置として考案されたものなのかは定かではない。数は多くないようであるが、国内の中華料理店などで、この種の噴水魚洗を陳列しているところがある。そこには“手で擦ると水が沸騰する”と興味をそそるような説明がなされている。容器内に60~70%程度の水を入れて、堤げ手の水平部分を手の平で連続して擦ると、容器が共振状態になり、共鳴音と共に中の水面から小さい水滴が勢いよく飛び出し始める。容器の底には4匹の魚の形が鑄込まれてあり水滴の飛び出す水面と魚の口の位置が合致するように作られている。

*電気工学科計測制専攻

**上海交通大学

§ 2 容器の物理的性質

実験に用いた容器の直径は約38cmであるが、これとは寸法の異なるものも作られているようである。容器の外観図を Fig.1 に示す。容器はその形状が複雑であるため、これを水中に沈めて、そのときの浮力から体積を求めた。体積は 492cc、質量は 3.965Kg であるから、この値から計算した密度

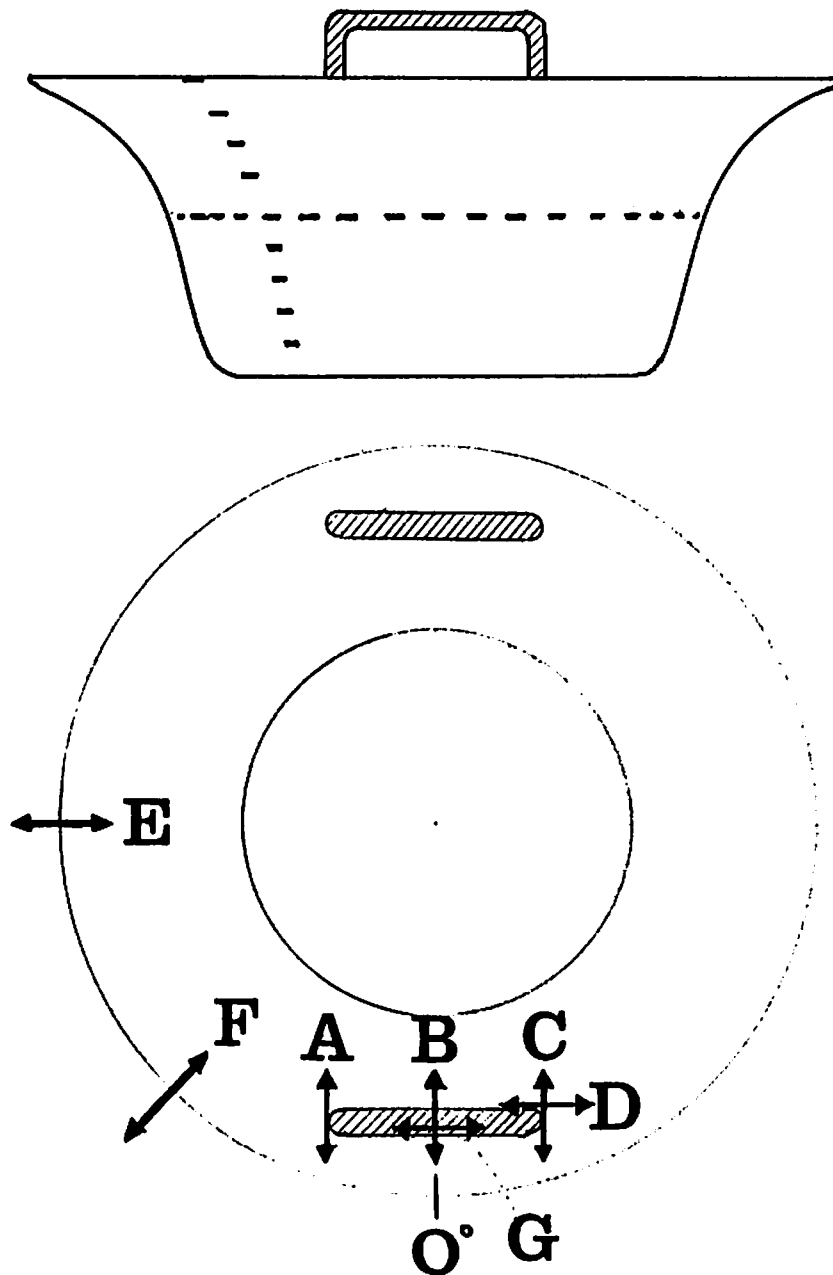


Fig.1 外観図

は 8.06g/cc となる。この値から推定して、容器の材質は亜鉛の含有量の比較的多い鋳造真鍮と考えられる。厚さは約 3mm であるが一様ではなく、また形状も完全な対称にはなっていない。

§ 3 容器の振動振幅測定

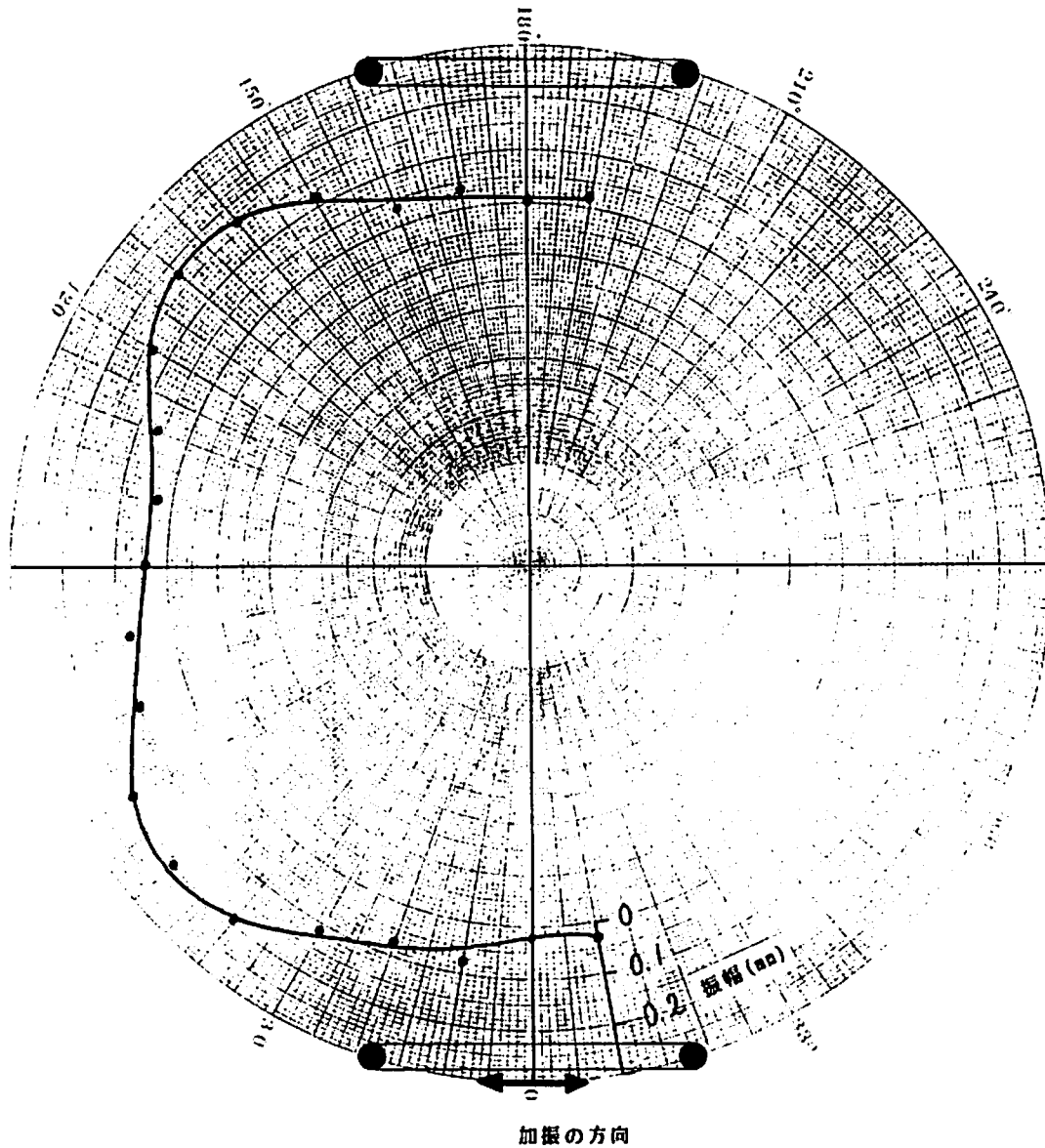


Fig.2 G方向に182Hzで加振したときの振動振幅分布図

Fig. 2 は容器の上方からみた振動振幅の分布図である。堤げ手の水平部分を手の平で擦りながら一定した共振状態を持続することは大変難しいことである。そのため電気式振動子（シェーカー）によって容器に持続振動を与えることにした。振幅の測定は容器の高さ7cmの円周上で行った。容器壁面の振動振幅の測定は、振幅が最大で約0.2mmと非常に小さく、形状が複雑である上、表面には細かい凹凸があるため余り簡単なことではない。また共振状態で測定を行うため振幅が変動しやすいので速やかに変位を求めた。ストレインゲージは本来これを貼り付けた部分の歪を測るものであるから、ゲージを貼り付けた部分の変位と歪計の出力との関係を調べておく必要がある。ゲージに隣接して小型の加速度検出器を貼り付け、歪計の出力と加速度の大きさを測定する。シェーカーの振動数を一定に保っているため、変位は加速度の大きさから容易に計算することができる。振動振幅とストレインゲージ（歪計）の出力の関係を Fig. 3 に示す。

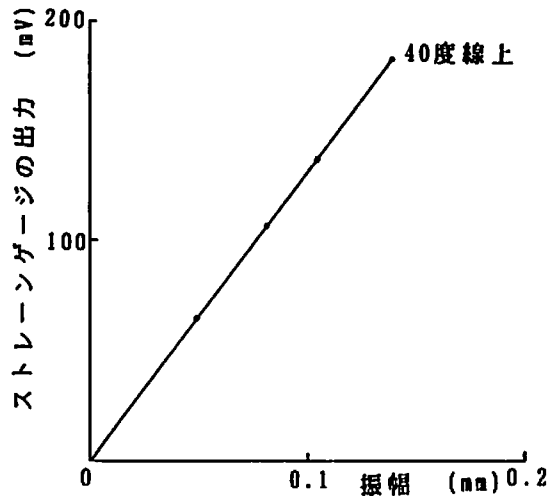


Fig.3 振動振幅とストレインゲージの出力の関係

振動振幅分布測定のためストレインゲージを容器の外壁面上、高さ7cmの円周上に10度ごとに貼り付けた。堤げ手の中心位置の線を0度とし、-10度から190度まで21ヶ所にゲージを貼り付けた。また上下方向の振動分布を求めるために、比較的振動の大きい40度の位置において、上下方向側線を10等分した点にゲージを貼り付けた。そのときの測定場所と振幅の関係を図4に示す。

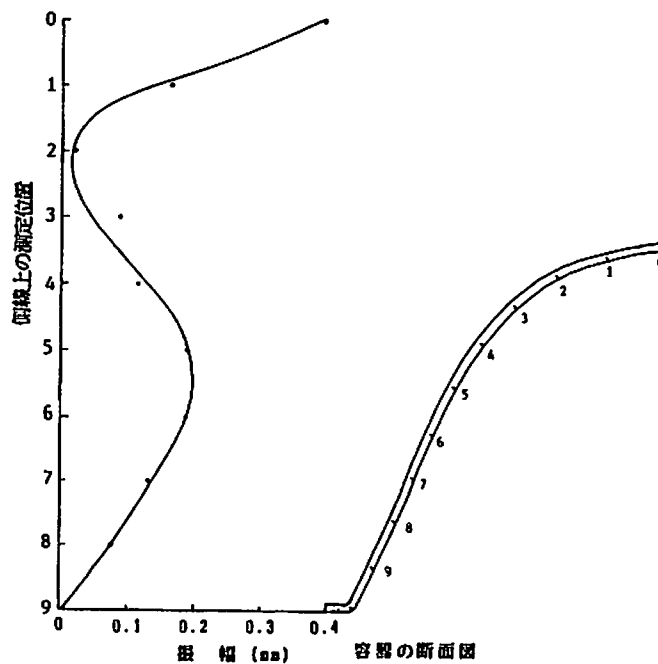


Fig.4 40度における上下方向の振動振幅分布図

§ 4 電気式振動子による振動分布の測定

堤げ手を棒と直角なBの方向（Fig.1）に電気式振動子で加振すると幾つかの振動数において共振が起こる。その振動数とそのときの振動パターンを Fig.5 に示す。ここで水滴が飛び出すような共振が起こったのは、184Hz と 202Hz の2つの振動数のみであった。すなわち黒く塗った部分から水滴が飛び出す。点印の部分は水面に波紋が見られる程度である。模様のない、無印の部分は触針によって共振が感じられる程度の部分である。Fig.2 に184Hz, Fig.6 に 202Hz のときの共振パターンを示す。

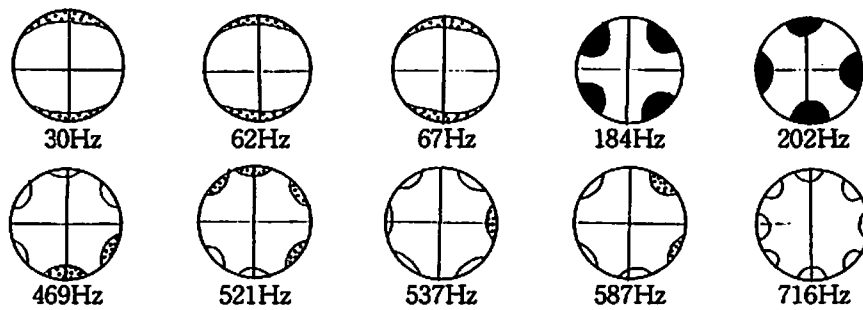


Fig.5 B方向に加振したときの振動分布図

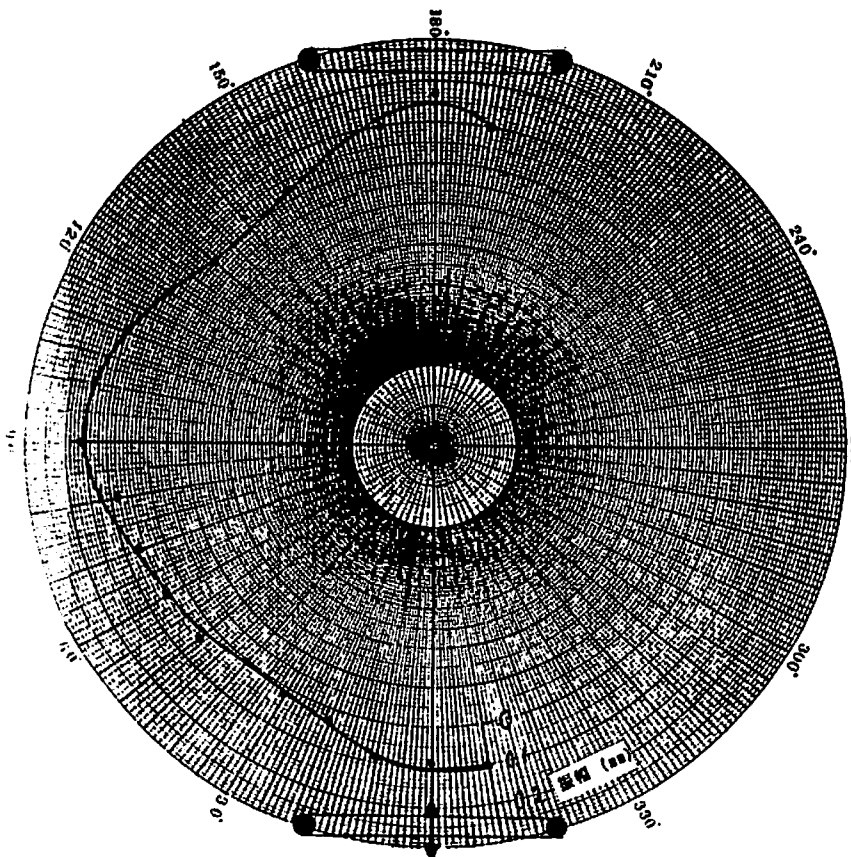


Fig.6 B方向に202Hzで加振したときの振動分布図

この二つの共振パターンは約45度ずれている。そのため202Hzの共振で水滴が飛び出す位置は、魚の頭の部分でなく、腹の部分になっている。僅か18Hzの振動数の差で共振パターンが45度回転する原因は現在のところ解明されていない。この測定はB方向に加振したときのものであるが、Fig.1において堤げ手の立ち上がり部A、C、容器の縁E、Fの場所において矢印の方向に加振することとB点で矢印の方向に加振したときと、同じような共振パターンを生ずる。Fig.7に堤げ手の上面をG方向に加振したときの振動パターンを示す。しかし、これはB方向に擦ったときとはその振動パターンが異なっており、水滴が飛び出すような共振が起こったのは61Hzと184Hzの2点のみであった。そして202Hzでは共振が起こらないという大きな違いが見られる。

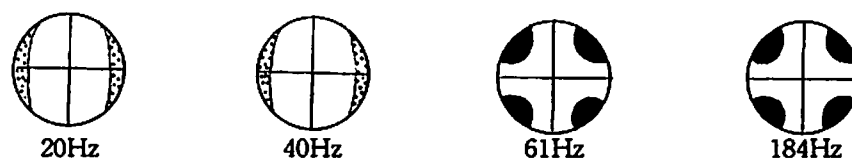


Fig.7 G方向に加振したときの振動分布図

§ 5 容器内の水量と共振振動数の関係

容器内の水の有無、水量の多寡に関係なく共振現象は起こる。ただし、水量によって共振振動数は変わってくる。水量を0ccから3500ccまで500ccずつ増加させながら、共振振動数を測定した。堤げ手部分の水平方向の加速度は11.0Gに保っている。()内は45度ずれたところで共振が起こるときの振動数を示している。

Table 1, 水量と容器の共振振動数との関係

水量 (cc)	振動数 (Hz)
0	194 (212)
500	192 (212)
1000	192 (211)
1500	192 (208)
2000	189 (206)
2500	187 (204)
3000	184 (202)
3500	181 (195)

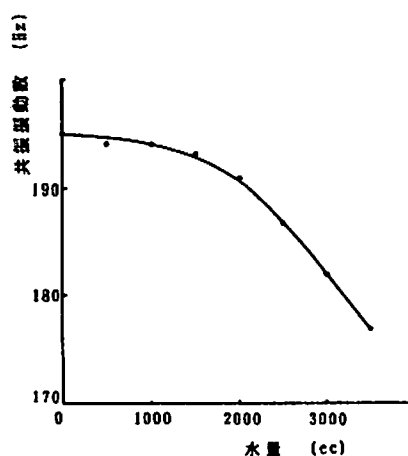
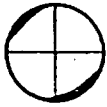

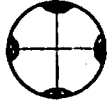
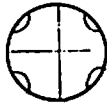


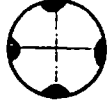


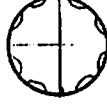







Fig.8 水量と容器の共振振動数との関係

§ 6 容器内の水を空にしたときの共振振動分布

容器内に水を入れないときの容器の共振の起こり方を調べる。

堤げ手の水平部をB方向に加振したときの振動分布図を Fig.9-a にG方向に加振したときの振動分布図を Fig.9-b に示す。振動分布の測定は触針を手で移動しながら、触針の振動音の大きさにより判断したため、あまり正確な測定とは言えないが、振動分布の様子を知るには十分である。黒く塗りつぶしたところは強く、白く囲ってあるところは、振動の弱いところを表している。

振 動 数		振 動 数	
65		65	
75		100	
193		194	
213		574	
482		714	
545		779	
574			
610			
756			

a B方向に加振したとき

b G方向に加振したとき

Fig.9 容器内の水を空にしたときの共振振動分布図

§ 7 堤げ手を手の平で擦ったとき発生する振動スペクトル

堤げ手を手の平で擦ったときに、どのような振動波が発生しているかを知る必要がある。堤げ手の立ち上がり部に加速度検出器を取っ付け、堤げ手の水平部を手の平で擦ったときの振動スペクトルを Fig.10 に示す。リアタイムアナライザの性能から 20KHz までしか、記録されていないが、かなり高い周波数成分まで含んでいるものと思われる。容器の共振は容器の固有振動数と強制振動数の一部とが合致したところで起こったものと考えられる。

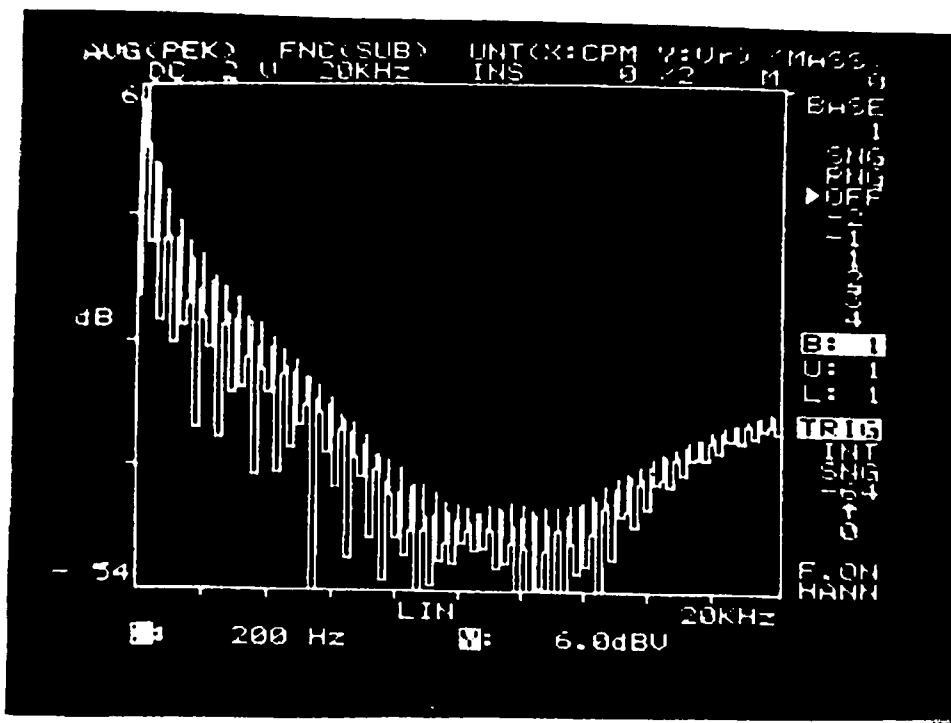


Fig.10 堤げ手の平で擦ったときに発生する振動スペクトル

§ 8 真鍮棒の中を伝わる振動波のスペクトル

堤げ手を手の平で擦ったときに発生する振動波が縦波であるか、横波であるか、またそれら振動波のスペクトルに違いがあるのかを測定した。

直径11.6mmの真鍮棒を Fig.11 のように曲げて、その先端に加速度ピックアップを貼りつけて、矢印の部分を手で擦る。棒の軸方向のピックアップで検出した振動スペクトルを Fig.12-b に示す。Fig.12-a と Fig.12-b とでは加速度ピックアップの取り付け方向が90度異なるが、スペクトルは同じような形をしている。この実験は堤げ手の真鍮棒で発生した振動が容器にどのように伝わるかを調べるために行ったものであるが、実験結果から判断して、堤げ手棒に垂直な振動波も平行な振動波もともに容器に振動を与える原因になっているものと考えられる。

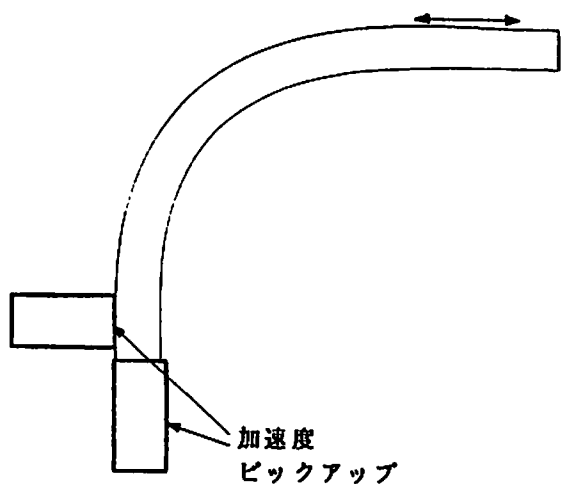
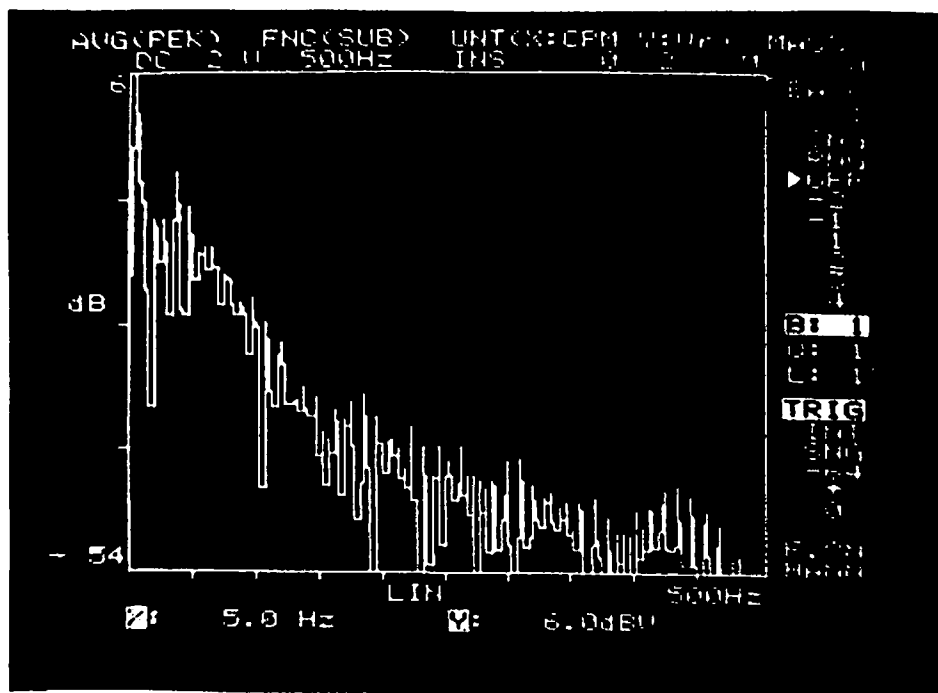
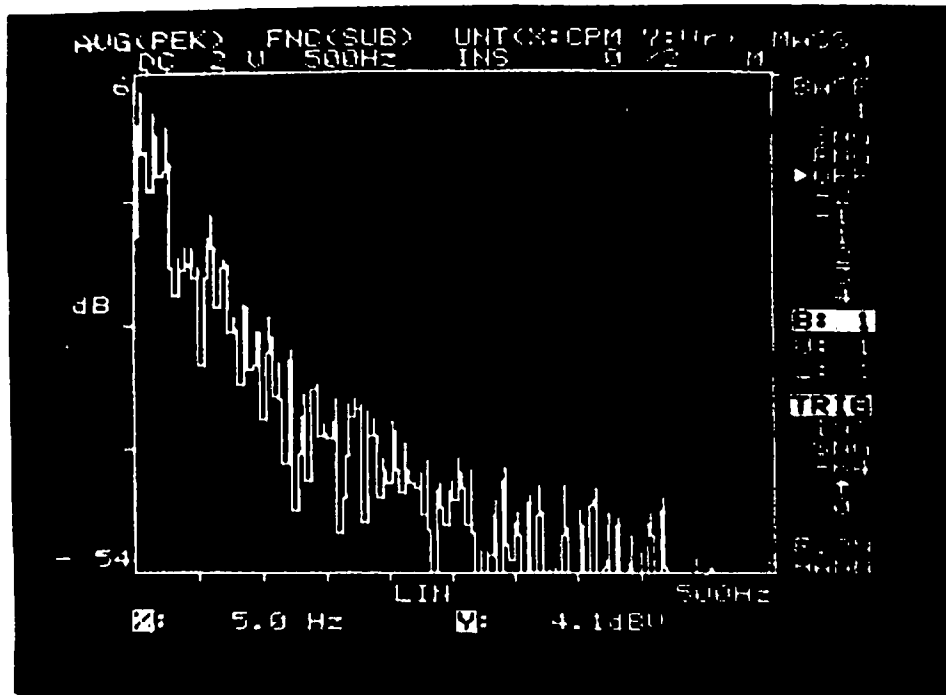


Fig.11 金属内に発生する振動スペクトル測定用真鍮棒



a 軸方向の振動波のスペクトル

Fig.12 真鍮棒を擦ったときに発生する振動波のスペクトル



b 軸方向に垂直な振動波のスペクトル

Fig.12 真鍮棒を擦ったときに発生する振動波のスペクトル

結言

中国名“噴水魚洗” (Pen Sui Xi) という容器の共振現象解析のための実験研究を行った。容器内に60%から70%の水を入れて、堤げ手棒の上面を手の平で擦ると容器が共振状態になり、容器の4ヶ所の水面から水滴が激しく飛び出す。容器の底には4匹の魚の形が鑄込まれてあり、水滴が飛び出す水面の位置と魚の頭の部分が重なるようになっている。容器に振動を与えるのに手の平で擦る代わりに電気式振動子（シェーカー）を用いても、同じような共振を起こさせることができる。堤げ棒を手で擦るとホワイトノイズ状の振動波を生ずるが、この振動波のなかの特定の振動数、すなわち容器の固有振動数に等し振動数によって容器の共振が起こったものと考えられる。シェーカーを用いると容器に対して加振する方向を自由に選ぶことができる。堤げ手に対して角度をつけて加振すると、平行な場合と異なる共振パターンが発生した。加振方向が堤げ手棒に平行なときは共振振動数は184Hzで共振のパターンはFig.2のようであったが、加振方向をずらせると202Hzでも共振が起こり共振のパターンはFig.5のように45度ずれた位置に発生する。この原因については現在のところ解明されていないが、これまで行った実験研究は振動発生メカニズム解析の手がかりを得るためのものである。これらの実験研究から力学的解析についてもほぼ見通しを立てることが出来た。

参考立献

- 1) 小平吉男 : 物理数学第一卷 、岩波書店 pp 336/340
- 2) 飯田修一 : 物理定数表 、朝倉書店 pp 74
- 3) 東京天文台編 : 理科年表 、丸善 pp 31