

# 種々の大きさの側孔を有する一端開の風琴管の補正について

杉原 雅, 三村泰一郎

On the Correction of a Flue Organ Pipe (opened at One End)  
according as a Side Hole varies its diameter

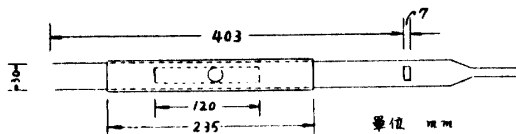
MIYABI SUGIHARA and TAICHIRO MIMURA

## 1. 概要

一定の長さの一端開の風琴管に於て種々の大きさの側孔 1 個を吹口から一定の距離に設けて、その管を一定の圧力の気流で鳴らした場合、圧力が小さければ、側孔の小さい時は音が出ない。側孔が或大きさ以上になれば原音が出る。然し圧力が大きくなれば側孔の小さい間は 2 倍音が出、側孔が大きくなれば原音が出る。更に圧力が大きくなれば 2 倍音が出易くなり、原音は側孔の大きい方につれて行く。原音及び 2 倍音共何れも側孔が大きくなるに従い、振動数が増す。吹口及び管端を一緒にした所の全補正係数は側孔が大きくなると共に減少する。圧力一定、側孔の大きさ一定の場合、吹口と側孔との間の距離が大きくなるにつれ原音は低くなるが 2 倍音は逆に高くなる。

## 2. 実験方法

1 図に示す如きブリキ製風琴管を作り、管側に矩形の長い溝を開け、その溝が十分塞がるようなブリキ製円筒を嵌め、その円筒に直径 2 cm の孔が設けてある。更に別に種々の大きさの孔を有する小さいトユ形のブリキ蓋を作り、之を直径 2 cm の孔の上に重ねてビニールの絶縁テープを貼り空気が隙から洩れないようにした。直径 2 cm の孔を有する円筒を溝に沿って動かすことにより、吹口から此孔までの距離を色々に変えることが出来る。実験の場合、滑动させられる円筒と内の管との間隙から空気が洩れないようビニールの絶縁テープを貼附けた。圧力空気タンクと此風琴管をゴム管で連結する。此管が



第 1 図

発する音の振動数の測定は [一端開の金属製風琴管の吹口補正について] の論文に詳しく記載してある。又空気タンクの図面は [硝子製風琴管の一端閉の場合の吹口補正について]<sup>(1)</sup> を、振動数測定装置については [陰極線オシロスコープによる周波数測定並びに波形撮影に於ける一例]<sup>(2)</sup> を見られたい。

音の振動数測定時の気温  $\theta$  を測り  $0^\circ\text{C}$  に於ける音速  $331 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$  に  $(1+0.6\theta)$  を乗じたものが測定時の音速で之を  $v$  とし、振動数  $N$  で  $v$  を割れば波長  $\lambda$  が得られる。一端開の風琴管から発する音は原音の外に 2 倍音、3 倍音等が出る。吹口から側孔の中心までの距離を  $l$  とし之を便宜のため管長と呼ぶことにする。管内に生ずる定常波の腹は吹口から外方に、又側孔から管端の方にはみ出て居るから両方を合せて  $l$  からはみ出た量を求めた。之を全補正量と呼ぶことにする。原音については相隣る 2 個の腹の間の距離が此音波の半波長であるから、全補正量は

$$\frac{\lambda}{2} - l$$

2 倍音については

$$2 \cdot \frac{\lambda}{2} - l$$

一般に  $m$  倍音については

$$m \cdot \frac{\lambda}{2} - l$$

である。全補正量を管の半径  $r$  で除したものが全補正係数である。

本実験では吹口と管端との距離は一定で 40.3 cm であり、その管の途中に種々の大きさの側孔を設け、且その孔の位置を管の軸に沿って移動させた。実験の仕方は管長を一定にし更に気流の圧力を一定にして、側孔の大きさを変えて振動数を測定し、次に管長一定のままに気流の圧力を別の大きさにして側孔の大きさを変えて振動数を測り、

1) 西京大学学術報告 第二巻第二号 p. 12

2) " " " p. 6

次には管長を別の長さにして、気流の圧力を一定にし、側孔の大きさを變えて振動数を測り、又気流の圧力を別の値にして側孔の大きさを變えて振動数を測定した。それ故

全体を綜合すれば管長、気流の圧力、側孔の大きさを種々に變えた場合の振動数を測定したのである。

3. 実験結果及其の考察

第 I 表 (その一)

気温 22.5°C, 管長 (吹口から側孔までの距離) 26.5 cm, 音速 344.5 m/sec

番号	孔の直径	圧力 2.3 cm (水柱)					3.2 cm						
		振動数	原音倍音	波長	$\frac{\lambda}{2} - l$	全補正係数	振動数	原音倍音	波長	$\frac{\lambda}{2} - l$	全補正係数		
1	2.5mm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
2	3.4	404.2/秒	1	85.23cm	16.115cm	10.74	420.2/秒	1	81.98cm	14.49cm	9.66		
3	6	418	1	82.41	14.705	9.8	441.5	1	78.03	12.515	8.34		
4	8	437	1	78.83	12.915	8.61	453.5	1	75.96	11.48	7.65		
5	10	444.5	1	77.50	12.25	8.17	462	1	74.56	10.78	7.19		
6	12	452.5	1	76.13	11.565	7.71	473.8	1	72.71	9.855	6.57		
7	13.5	454.5	1	75.79	11.395	7.6	477.5	1	72.14	9.57	6.38		
8	16	462	1	74.56	10.78	7.19	485.5	1	70.95	8.975	5.98		
9	18	466	1	73.92	10.46	6.97	490.8	1	70.19	8.575	5.73		
10	20	466	1	73.92	10.46	6.97	498.7	1	69.08	8.04	5.36		
		圧力 4.2cm (水柱)					5.2 cm						
1	2.5mm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
2	3.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
3	6	449.2	1	76.69	11.845	7.9	—	—	—	—	—		
4	8	463.2	1	74.37	10.685	7.12	471.2	1	73.11	10.055	6.7		
5	10	472.6	1	72.89	9.945	6.63	477.6	1	72.13	9.565	6.38		
6	12	483	1	71.32	9.16	6.11	488.2	1	70.56	8.78	5.85		
7	13.5	489.5	1	70.37	8.685	5.79	493.5	1	69.80	8.4	5.6		
8	16	496.1	1	69.44	8.22	5.48	500	1	68.90	7.95	5.3		
9	18	501.7	1	68.66	7.83	5.22	506.2	1	68.05	7.525	5.02		
10	20	507.6	1	67.87	7.435	4.96	515.7	1	66.80	6.9	4.6		
		圧力 6.2cm (水柱)					7.2 cm						
番号	孔の直径	振動数	原音倍音	波長	$\frac{\lambda}{2} - l$	$\lambda - l$	全補正係数	振動数	原音倍音	波長	$\frac{\lambda}{2} - l$	$\lambda - l$	全補正係数
1	2.5mm	755.2/秒	2	45.61cm		19.11cm	12.74	762.6/秒	2	45.17cm		18.67cm	12.45
2	3.4	762.6	2	45.17		18.67	12.45	770.4	2	44.71		18.21	12.14
3	6	785	2	43.88		17.38	11.59	796	2	43.28		16.78	11.19
4	8	—	—	—	—	—	—	819	2	42.06		15.56	10.37
5	10	485.6	1	70.94	8.97cm		5.98	834	2	41.30		14.8	9.87
6	12	492.2	1	69.99	8.495		5.66	497.3	1	69.27	8.135cm		5.42
7	13.5	498.7	1	69.08	8.04		5.36	501.7	1	68.66	7.83		5.22
8	16	506.2	1	68.05	7.525		5.02	509.5	1	67.61	7.305		4.87
9	18	509.4	1	67.63	7.315		4.88	515.8	1	66.79	6.895		4.60
10	20	519	1	66.37	6.685		4.46	523	1	65.87	6.435		4.29

第 I 表 (その二)

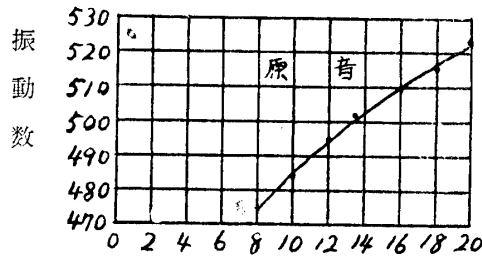
番号	孔の直径	8.2 cm						9.2 cm					
		振動数	原音倍音	波長	$\frac{\lambda}{2}-l$	$\lambda-l$	全補正係数	振動数	原音倍音	波長	$\frac{\lambda}{2}-l$	$\lambda-l$	全補正係数
1	2.5mm	768.4/秒	2	44.83cm		18.33cm	12.22	772.4/秒	2	44.60cm		18.1cm	12.07
2	3.4	776.4	2	44.37			11.91	780	2	44.16		17.66	11.77
3	6	802	2	42.95			10.97	811	2	42.47		15.97	10.65
4	8	825.6	2	41.72			10.15	*834	2	41.30		14.80	9.87
5	10	844	2	40.81			9.54	850.6	2	40.50		14.00	9.33
6	12	865.2	2	39.81			8.87	872	2	39.50		13.00	8.66
7	13.5	506	1	68.08	7.54cm		5.03	887	2	38.83		12.33	8.22
8	16	514.3	1	66.98	6.99		4.66	519	1	66.37	6.685		4.46
9	18	519	1	66.37	6.685		4.46	523	1	65.87	6.435		4.29
10	20	528.3	1	65.20	6.1		4.07	530	1	65.00	6.00		4.00

I 表 振動数と側孔の大きさとの関係

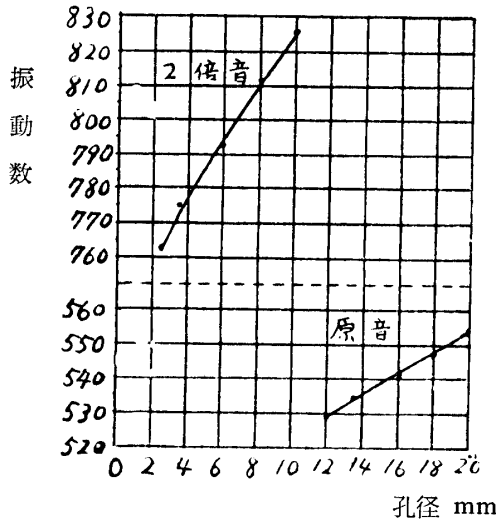
$$N=Kh^n, (N: 1/\text{sec}, h: \text{mm})$$

番号			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
管長			18.5cm	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5	25.5	26.5	27.5
圧力 3.2cm 水柱	原音	K					347	352			361	
		n					0.155	0.143			0.108	
4.2cm	原音	K	443	336	363	381			358	361	364	
		n	0.19	0.203	0.167	0.135			0.113	0.125	0.11	
5.2cm	原音	K			383		375		356	392		
		n			0.15		0.14		0.145	0.10		
6.2cm	原音	K			402	377		392				
		n			0.14	0.15		0.12				
	2倍音	K			728							
		n			0.022							
7.2cm	原音	K				376	420	427	415			
		n				0.16	0.105	0.092	0.093			
	2倍音	K				725	706	703				
		n				0.033	0.045	0.058				
8.2cm	原音	K					372					
		n					0.15					
	2倍音	K					740		708			648
		n					0.033		0.06			0.095
9.2cm	2倍音	K							693	697	716	
		n							0.09	0.091	0.084	

上記の方法により得られた結果の一例をI表に示す。此表を見れば圧力が水柱で 2.3cm から 5.2cm までは何れも原音が出、6.2cm から 9.2cm までは側孔の小さい間は 2 倍音が出、側孔が大きくなり或値以上では原音が出る。原音、2 倍音共何れも孔が大きくなるに従い振動数が増加する。管長を変えた場合も大体同様である。尚側孔の大きさと振動数との関係の一例を 2 図に示す。此



水柱圧力 4.2 cm 孔径 mm  
管 長 25.5 cm



水柱圧力 8.2 cm  
管 長 24.5 cm

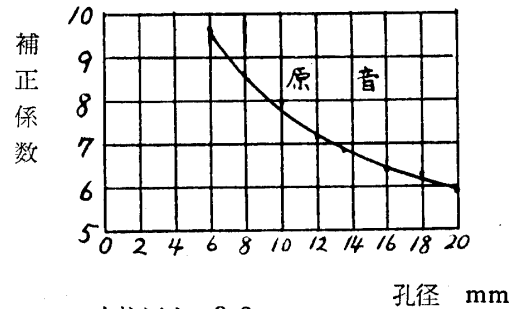
第 2 図

様な曲線から見て振動数を  $N$ ，側孔の直径を  $h$  とし， $K$ ， $n$  を或常数とする場合

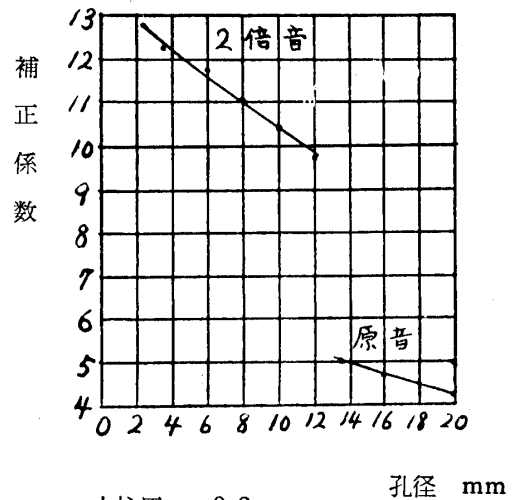
$$N = Kh^n$$

の関係が成立するものと見做して測定値につき試してみた所大体に於て此関係が成立する様に思われる。  $N$  を  $\frac{1}{秒}$ ，  $h$  を mm 単位を用いて  $K$ ，  $n$  の値を記せば I 表の如くなる。此表から見て原音は  $K$  の値が大体に於て 300 ~ 400 程度であり 2 倍音は 600 ~ 700 程度である。  $K$  は振動数に於て居る量だから 2 倍音の方が原音より大きいのは当然である。又  $n$  は原音では大体 0.1 ~ 0.2 であるが 2 倍音では 0.09 ~ 0.03 程度である。  $n$  は側孔の大きさに於ける量で、側孔の大きが増す場合、2 倍音が原音よりも音の高くなり方が緩かであることを示す。

又側孔の大きさと全補正係数との関係を図に画いた。その一例を 3 図に示す。側孔の直径が増せば全補正係数は



水柱圧力 3.2 cm  
管 長 22.5 cm



水柱圧力 9.2 cm  
管 長 25.5 cm  
第 3 図

漸次減ずる。之についても全補正係数を  $C$ ，側孔の直径を  $h$  とし， $k$ ， $n$  を夫々或常数として

$$C = \frac{k}{h^n}$$

なる関係が成立するものと仮定して若干の測定値につき試した。その結果は極めて略的にこの関係が成立する様に思われる。此場合の  $k$  と  $n$  との値を II 表に示す。

II 表を見れば  $k$  の値は大体に於て管長が大きくなるにつれて小さくなる。之は全補正係数が管長が大きくなると共に小さくなることである。換言すれば、定常波が管長からはみ出る量が少いことを示して居る。又原音に比し 2 倍音が概略的に見て  $k$  が小さい。此事は原音に比し 2 倍音はその定常波が管長からはみ出る量が少いことである。原音に比し 2 倍音は  $n$  の値が一般に小であるから補正係数は側孔の大きさによる変化が原音に比して少いことである。

振動数と管長との関係については新たに実験をせずに既に得られた実験結果を、側孔の大きさ一定、圧力一定の場合、管長の変化に対し振動数の変化が見られるように

■ 表 全補正係数と側孔の大きさとの関係  
 $C=k/h^n$  (h : mm)

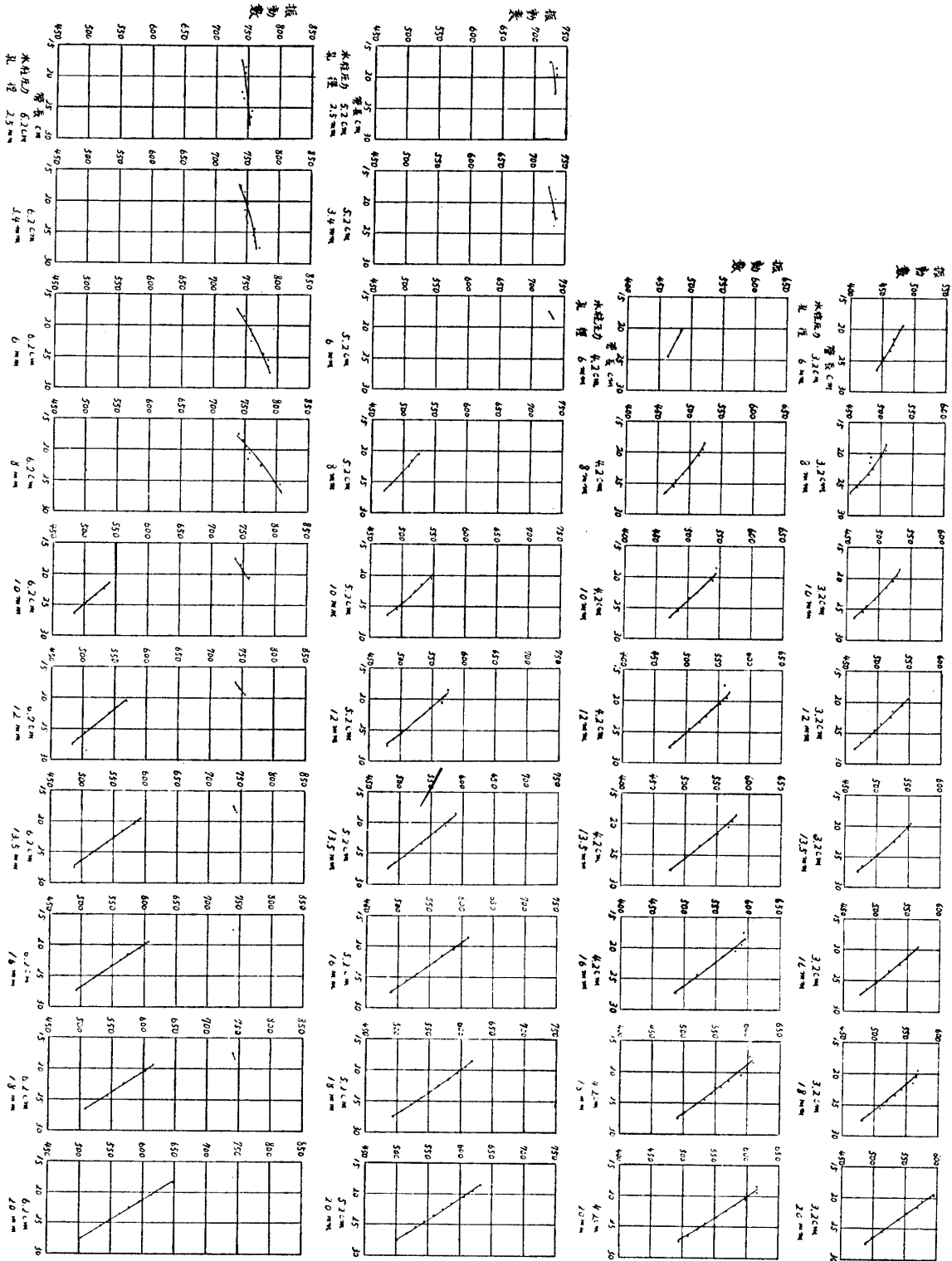
番 号			1	2	3	4	5	6	7	8	9
管 長			19.5cm	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5	25.5	26.5	27.5
圧力 2.3cm 水柱	原音	k								15.5	
		n								0.269	
3.2cm	原音	k				19.7	19.0	19.5			18.0
		n				0.401	0.388	0.422			0.415
4.2cm	原音	k	24.8	24.5	22.1				16.6	16.8	
		n	0.466	0.482	0.459				0.392	0.413	
5.2cm	原音	k	26.2		22.3	20.5	18.6	18.0	16.0		15.5
		n	0.502		0.483	0.462	0.439	0.441	0.401		0.348
6.2cm	原音	k		21.4						13.1	
		n		0.459						0.343	
	2倍音	k		17.5							
		n		0.022							
7.2cm	原音	k		18.5				15.6	16.6		
		n		0.458				0.407	0.434		
	2倍音	k	18.1	17.3				15.6	14.9		
		n	0.014	0.018				0.107	0.137		
8.2cm	原音	k				17.5	17.1	13.7		17.8	16.8
		n				0.406	0.434	0.373		0.252	0.285
	2倍音	k				16.3	16.3	16.9			
		n				0.072	0.101	0.164			
9.2cm	原音	k			25.8				13.5	16.9	15.6
		n			0.562				0.377	0.265	0.27
	2倍音	k			16.8				16.0		
		n			0.048				0.187		

IV 表 圧力 7.2 cm (水柱)

番号	管 長	孔の直径 2.5 mm	振 動 数									
			3.4	6	8	10	12	13.5	16	18	20	
1	17.5cm	746.5/秒	750	746.5	746.5	746.5	746.5	746.5	746.5	746.5	750	746.5
2	18.5	754.6	754.6	752	752	757.4	754.6	752	757.4	757.4	757.4	757.4
3	19.5	755	760	757	760	757	765	762.2	614	625	636.7	636.7
4	20.5	760	762.5	765	767.5	770	575.4	584	595.5	604.6	617.5	617.5
5	21.5	752	757.2	765	767.5	777	559	565.5	578.5	589	599	599
6	22.5	757.2	762	775	782.3	792	546	554.2	567.2	572	584	584
7	23.5	760	762.5	779.5	794	806	535.6	541.5	550.7	559	565.5	565.5
8	24.5	760	767.5	787.5	802	511	523	531.5	538.6	544.5	551	551
9	25.5	767.5	772.5	794.6	811.5	830	507.7	517.5	523	531.2	537.2	537.2
10	26.5	762.6	770.4	796	819	834	497.3	501.7	509.5	515.8	523	523
11	27.5	770	775	800	819	838.6	488.2	492.3	497.2	501.7	506.2	506.2

組直して、それについて調べた。その組直された記録の一例をIV表に示す。此の表の如き記録を各気流の圧力につき求め之を図に示せば4図の如くなる。4図から見て原音については管長が長くなると共に振動数が減ずるが2倍音はその反対に管長が長くなるにつれて振動数が増

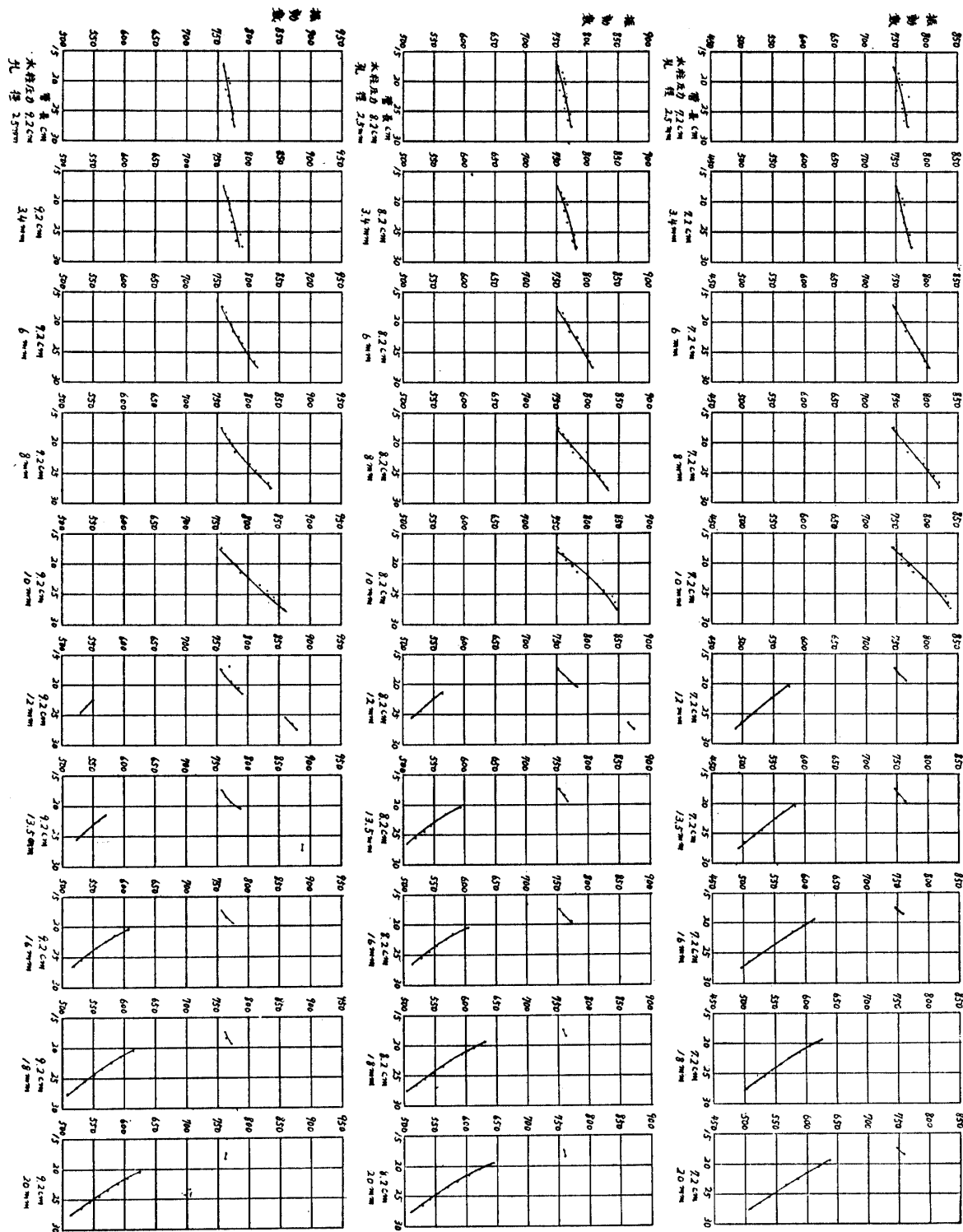
して居る。一端開の風琴管の場合には原音、2倍音共何れも管長が長くなれば振動数が減ずるが今の場合には側孔があるために此様な結果となった。その理由を考えるに、5図に示す如く原音の場合側孔がなければ点線で示す如き定常波が出来るが、吹口と側孔との距離が短かければ



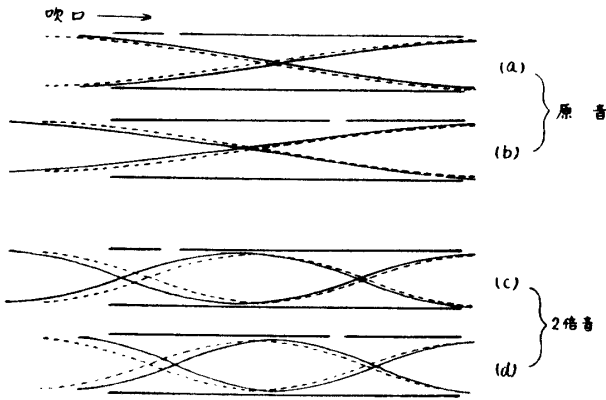
第 4 図

(a) の如く側孔の影響により腹の部分が少しでも側孔の方へ近よろうとする結果、実線で示す如く定常波が幾分右の方へ移動する。従って定常波の相隣る2個の腹の間の距離が幾分小さくなるから音波の波長が幾分短くなる。それ故振動数が幾分大きくなり音が高くなる。然るに

(b) の如く吹口と側孔との距離が長くなれば側孔が少しでも右端の腹を早く大きくしようとして実線で示す如く定常波を左へずらそうとする。それ故波長が長くなり振動数が減じて音が低くなる。2倍音の場合も同様な観点から考える。即ち側孔のない場合の管の定常波を点線で



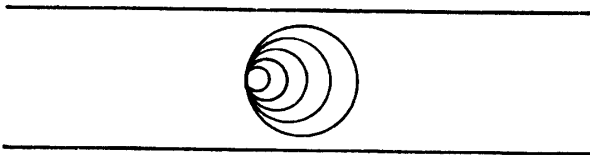
第 4 図



第 5 図

示せば側孔があることにより側孔が少しでも早く腹を大きくしようと働いて吹口と側孔との距離が短い場合は(c)の如く実線で示す定常波が長くなり、吹口と側孔との距離が長い場合は(d)の実線で示す如く定常波が短くなる。従って吹口と側孔との距離が長くなれば振動数が増加し音が高くなるものと考えられる。

以上述べた管長は吹口の下端から側孔の中心までの距離であったが参考までに6図の如く吹口の下端から大さ



第 6 図

の異なる各側孔の上端までの距離を同じくして振動数を測定した。その結果を7図に示す。側孔が大きくなると共に振動数が増加することは今迄の管長の場合と同様である。7図の場合振動数を  $N$ 、側孔の直径を  $h$  とし、 $K$ 、 $n$  を夫々或常数とすれば

$$N = Kh^n$$

の関係が成立すると仮定し両辺の対数を取り

$$\log N = \log K + n \log h$$

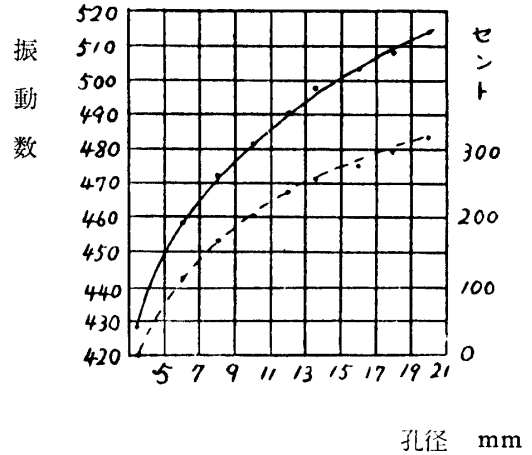
として  $\log N$  と  $\log h$  との直線関係を測定値につき検して見た所直線関係が良く成立した。此場合の  $K$  と  $n$  と

管長 26.5 cm

水柱圧力 4.2 cm

..... セント

—— 振動数



第 7 図

の値は夫々 339 及 0.14 となる。此の場合管長として吹口から側孔の中心までの距離を用いた場合と比較して側孔の大きさと振動数との関係は側孔の大きさが本実験に用いた所の直径 2.3 mm~20 mm の程度では大した違いはなかった。

尚楽器製作者や音楽愛好家のために7図に示す振動数の最小の値を標準に取り音程をセントで示せば点線で示す如くなる。大体 300 セントであるから最高の音が最低の音に比して1音半程高いと云うことになる。セントについては「一端開の金属製風琴管の吹口補正について」の論文に詳細が記してある。

(1956年10月受理)