

# 等しい大きさの六個の側孔を有する金属製風琴管（一端開）の側孔一個宛を、連続二個宛を、連続三個宛を開けた場合の側孔の補正

杉原 雅・三村泰一郎・塩崎 雅央

The correction of the six equal-sized side-holes of a metal flue organ pipe (open at one end): 1) when one hole is opened consecutively by itself, 2) when two consecutive holes are open, 3) when three consecutive holes are open.

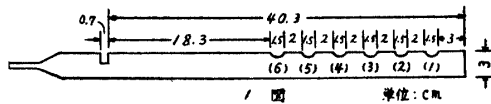
MIYABI SUGIHARA, TAICHIRO MIMURA and MASAHIRO SHIOZAKI

## 1. 概 要

側孔1個宛、連続2個宛、連続3個宛開けた場合何れも管長が長い方が短い方よりも空気タンクの圧力が大きい時に倍音が出易い。又圧力変化が水柱にして3.2cmから9.2cmに変れば音程が圧力と共に増し最高半音から1音の $\frac{3}{4}$ 位に達する。全補正係数及び側孔補正係数に就ては此等を夫々  $C_0$ ,  $C_h$  とし同一管長の場合タンクの圧力を  $p$  とすれば  $C_0 = \frac{k_0}{p m_0}$  が略成立する。但し  $k_0, m_0$  は或常数である。又圧力一定の場合、管長を  $l$  とすれば  $C_0 = \frac{K_0}{l m_0}$  及び  $C_h = \frac{K_h}{l m_h}$  が略成立する。

## 2. 実験方法

1図の如き6個の等しい大きさの側孔を有する金属製風琴管に、空気タンクから一定圧  $p$  の気流を送り発生する



音をマイクロフォンを通してオシロスコープに送り既知の振動数とのリサージュの図形により振動数を測る<sup>1)</sup>。又気温  $\theta$  を測り  $(331 + 0.6\theta) \frac{m}{sec}$  を以て測定時の音速とし、之を振動数で除して波長  $\lambda$  を求める。吹口（以後之を歌口と云う）の下端から側孔の上端までの距離を管長とし之を  $l$  で表せば、 $\frac{\lambda}{2} - l$  が定常波の腹の部分の歌口及び側孔から管長に沿って外方に食出た量である。此量を管の半径で除した数を全補正係数と云い  $C_0$  で表す。歌口から腹が食出た量即ち歌口補正量<sup>2)</sup> を管の半径で除した数を歌口補正係数と云い之を  $C_m$  で表し、側孔から腹が食出た量を管の半径で除した数を側孔補正係数と云い之を  $C_h$  で表す<sup>3)</sup>。  $C_0$  及  $C_h$  が  $p, l$  と如何に関係するかを求める。

## 3. 実験結果及考察

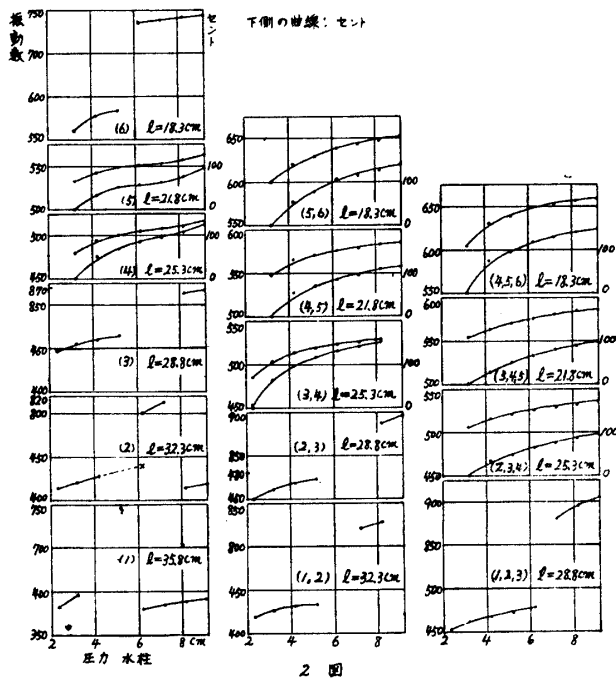
実験結果の一例をI表に示す。表から見て本実験の圧

I 表

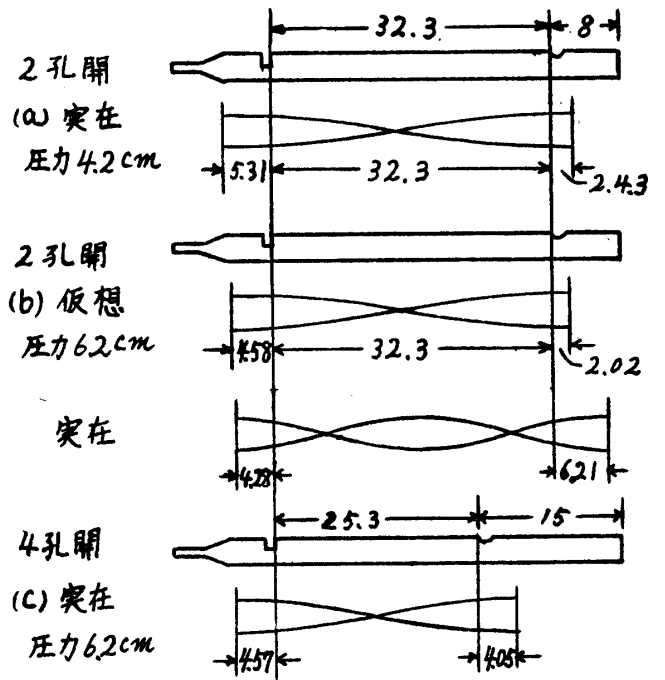
気温・音速 側孔の位置、 管長 $l$ cm	18.9°C		342.34 m/sec		25.3		25.3		25.3		25.3	
	振動数 N1/秒	音程 セント	波長 $\lambda$ cm	側孔 食出量 cm	全補正 係数 $C_0$	側孔 食出量 cm	側孔 食出量 cm	側孔 食出量 cm	側孔 食出量 cm	側孔 食出量 cm	側孔 食出量 cm	側孔 食出量 cm
2.3	6.68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.2	5.89	480.3	71.28	10.34	6.89	4.45	70.69	10.045	6.7	3.365	503	5.67
4.2	5.31	494.9	69.17	9.285	6.19	3.975	68.06	8.73	5.82	2.84	512.5	5.67
5.2	4.91	500	68.47	8.935	5.96	4.025	66.80	8.1	5.4	2.79	515.8	5.67
6.2	4.58	504.5	67.86	8.63	5.75	4.05	66.15	7.775	5.18	2.865	520.6	5.67
7.2	4.34	507.8	67.42	8.41	5.61	4.07	65.56	7.48	4.99	2.90	525.2	5.67
8.2	4.12	511	66.99	8.195	5.46	4.075	65.18	7.29	4.86	2.95	528.3	5.67
9.2	3.94	515.8	66.37	7.885	5.26	3.945	64.80	7.1	4.73	2.98	531.5	5.67
											平均	2.691
											$C_h$	1.794

力変化の範囲では振動数が圧力増加と共に少しく大きくなり、音の高さは最低音を基準に取れば半音から一音の $\frac{3}{4}$ 程度に変わる。又管内に生ずる定常波の腹が歌口から管に沿って外方に食出る量は先に報告した値<sup>4)</sup>を用いて側孔から管端へ腹が食出る量を計算したが、圧力変化に殆ど関係がないから平均値を取り、それを管の半径1.5cmで除して側孔補正係数とした。開孔番号第4孔1個を開いた場合に比して第4孔の次の孔第3孔をも開けば側孔食出量が前者の72%位に減じ、更に第4孔の下の2孔、即ち第3孔、第2孔を開けば第4孔のみの場合の66%位となる。第4孔の下の孔を開けることにより側孔食出量が減ずることは側孔の面積を増したことになるから当然の結果である。

管長を一定に保ち圧力と振動数との関係を2図に示す。尚ほ原音のみ発生している場合は最低音を基準にして音



程をセントで示す。図中(1)(2)の如く( )を附した数字は開孔番号である。此圧力変化の範囲では管長が長い場合が短い場合に比して倍音が出易い。3図(a)に於て第2孔開で圧力4.2cmの場合に生ずる定常波を示し、(b)図の上は圧力6.2cmの場合に原音が出るものと仮定して2図(左側の下から2番目の点線の部分参照)から曲線を延長して求めれば490振動となり、此振動数で音速 $342.34 \frac{m}{sec}$ を除して波長を求めて仮想定常波を示した。(b)図の下は2倍音から計算して描いたものである。此場合定常波の腹が歌口から食出た量は“一端開の金属製風琴管の一側孔の補正”<sup>5)</sup>にある所の圧力6.2cmのときの補正量4.28を用いた。(b)図の上下を比較すれば倍



3 図

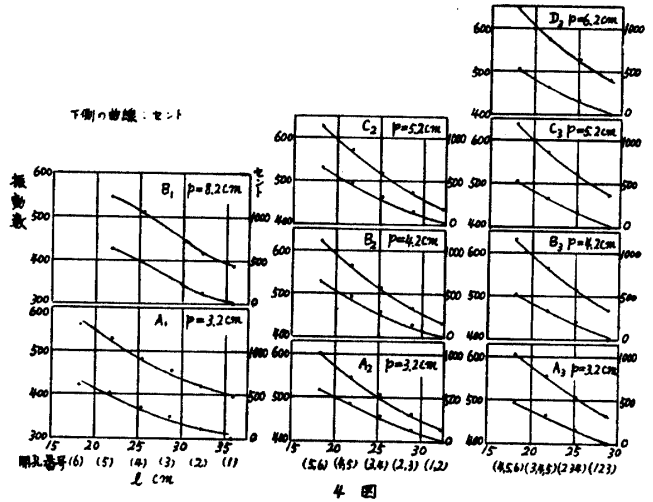
音になるためには定常波の腹が側孔から管端の方に多く引出されて居るのが解る。然るに(c)図は第4孔開の場合で、此時生ずる原音の定常波が示されてある。その定常波の腹は側孔から管端の方に相当多く食出て居るが管端からは可なり入込んで居る。従って之以上多く食出て2倍音になることは此程度の圧力では無理であろうと思われる。即ち管長が短い場合、腹の側孔からの食出量は比較的多いが管端から遙かに奥にあることが2倍音の出にくい理由であろうと考えられる。尚ほ2図を詳細に見るに、管長一定ならば、振動数は原音につき圧力が大きい程多い。その音程は振動数の最小の音を基準にして、此圧力範囲では100セントから150セントで十二平均律の1音の $\frac{1}{2}$ 乃至 $\frac{3}{4}$ だけ高くなる。同じ管長25.3cmの場合につき、振動数は、同じ圧力ならば開側孔が1個より2個、2個より3個の方が多くなる。之は定常波の腹が側孔から管端の方へ食出る量が小さい結果であって、此事については既に述べた所である<sup>6)</sup>。

圧力一定に於て管長と振動数、音程、全補正係数及び側孔補正係数との関係の一例をII表に示す。II表中開孔数1は1孔宛、2は連続2孔宛、3は連続3孔宛を漸次開いて管長を変化したもので、圧力一定の場合同じ管長でも開孔数の多い方が少い方よりも振動数が少しく多くなる。管長が短くなれば振動数が多くなり最低の振動数の音を基準にすれば、1孔開の場合、管長が35.8cmから18.3cmに変れば601.1セントで十二平均律の3音高

II 表

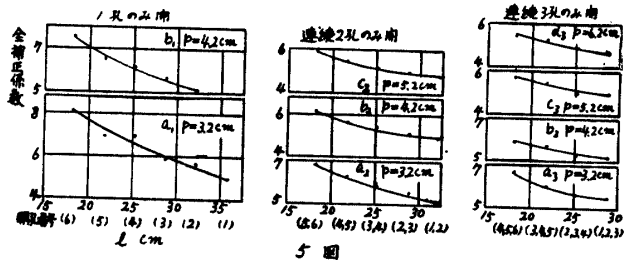
気温, 音速 圧力(水柱) Pcm 歌口食出量 qm Cm 開孔数	18.9°C		342.34 m/sec		11		12		13		14		15		16			
	3.2	5.89	3.2	5.89	3.2	5.89	3.2	5.89	3.2	5.89	3.2	5.89	3.2	5.89	3.2	5.89		
振動数 N 1/秒	560.4	533.0	480.3	454.8	420.2	396	601	589.6	547.6	503	460.8	427.5	601	589.6	547.6	503	460.8	427.5
音程 セント	601.1	514.3	334.1	239.6	102.7	0	547.6	428.6	281.5	129.8	0	0	547.6	428.6	281.5	129.8	0	0
波長 λ	61.09	64.23	71.28	75.27	81.47	86.45	61.09	62.52	68.06	74.29	80.08	86.45	61.09	62.52	68.06	74.29	80.08	86.45
λ/2-l	12.245	10.315	10.34	8.835	8.435	7.425	12.245	10.18	8.73	8.345	7.74	7.425	12.245	10.18	8.73	8.345	7.74	7.425
全補正係数 C <sub>0</sub>	8.16	6.88	6.89	5.89	5.62	4.95	8.16	6.31	5.82	5.56	5.16	4.95	8.16	6.31	5.82	5.56	5.16	4.95
側孔食出量 qh Cm	6.355	4.425	4.45	2.945	2.545	1.535	6.355	3.57	2.84	2.455	1.85	1.535	6.355	3.57	2.84	2.455	1.85	1.535
側孔補正係数 C <sub>h</sub>	4.237	2.95	2.967	1.963	1.697	1.025	4.237	2.38	1.893	1.637	1.233	1.025	4.237	2.38	1.893	1.637	1.233	1.025
管長 l cm	18.3	21.8	25.3	28.8	32.3	35.8	21.8	25.3	28.8	32.3	35.8	35.8	21.8	25.3	28.8	32.3	35.8	35.8
λ/2-l	10.005	9.085	8.51	8.25	8.25	8.25	10.005	9.085	8.51	8.25	8.25	8.25	10.005	9.085	8.51	8.25	8.25	8.25
C <sub>0</sub>	6.67	6.06	5.67	5.5	5.5	5.5	6.67	6.06	5.67	5.5	5.5	5.5	6.67	6.06	5.67	5.5	5.5	5.5
qh	4.115	3.195	2.62	2.36	2.36	2.36	4.115	3.195	2.62	2.36	2.36	2.36	4.115	3.195	2.62	2.36	2.36	2.36
C <sub>h</sub>	2.743	2.13	1.747	1.573	1.573	1.573	2.743	2.13	1.747	1.573	1.573	1.573	2.743	2.13	1.747	1.573	1.573	1.573

くなり, 2孔開の場合, 管長が 32.3cm から 18.3cm となれば 589.6 セントで 3音弱高くなり, 3孔開の場合, 管長が 28.8cm から 18.3cm となれば 466 セントで 2音余高くなる。次に 1孔宛, 連続2孔宛, 連続3孔宛開いた場合, 圧力一定に於て管長と振動数及び音程との関係の一例を 4 図に示す。管長が同じならば圧力の大きい方が音が少し高い。1孔開の場合管長が 35.8cm から

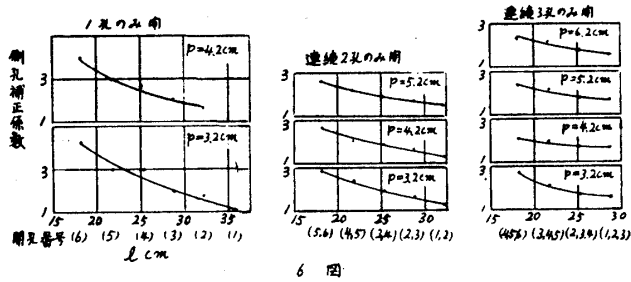


18.3cm に変れば圧力 3.2cm のとき A<sub>1</sub> に見る如く約 3音高くなり圧力 8.2cm のときは B<sub>1</sub> に見る如く管長が 35.8cm から 21.8cm に変れば約 3音高く, 連続2孔開の場合 A<sub>2</sub> B<sub>2</sub> C<sub>2</sub> に見る如く管長が 32.3cm から 18.3cm に変れば約 3音高くなる。連続3孔開の場合管長が 28.8cm から 18.3cm に変れば A<sub>3</sub> B<sub>3</sub> C<sub>3</sub> D<sub>3</sub> に見る如く約 2音半高くなる。同じ圧力同じ管長の場合 1孔開より 2孔開の方が音が少し高くなり, 2孔開と 3孔開とでは殆ど変りがない。

圧力一定の場合に於て管長と全補正係数及び側孔補正係数との関係の一例を夫々 5 図及び 6 図に示す。何れも管長が長くなれば補正係数は小さくなる。全補正係数



$C_0$  と管長  $l$  との間に  $C_0 = \frac{K_0}{ln_0}$  が概略的に成立する。但し  $K_0 n_0$  は夫々常数でその数値を III 表に示す。III 表は原音のみにつき記し 2 倍音及び測定に現れなかったものについては省かれて居る。表中 [ ] 印は実験記録が少



く稍信用が足りないもので参考に供するのみとし平均値には之が省かれて居る。1孔のみ開かれて居る場合は連続2孔、連続3孔が開かれて居る場合に比して  $K_0$  及び  $n_0$  の値が大きい。2孔開の場合は3孔開の場合に比して  $K_0$  及び  $n_0$  の値が少し大きい。之は1孔開の場合は管内に生ずる定常波の腹が側孔から管端の方へ食出る量が大きく、2孔、3孔と側孔の面積が増すにつれて食出量が減ずることを意味する。側孔補正係数  $C_h$  と管長  $l$  との関係は  $C_h = \frac{K_h}{l n_h}$  が略成立する。但  $K_h$  及び  $n_h$  は常数でその値をIV表に示す。此表に於ても2倍音及び振動数が測定出来なかつたものを省き原音のみにつき記し

III 表

$$C_0 = \frac{K_0}{l n_0}$$

開孔数 圧力 pcm	1		2		3	
	$K_0$	$n_0$	$K_0$	$n_0$	$K_0$	$n_0$
3.2	60.93	0.693	26.04	0.460	20.55	0.390
4.2	49.75	0.652	21.39	0.424	16.43	0.349
5.2	51.43	0.672	18.22	0.387	16.96	0.373
6.2			17.81	0.394	17.78	0.402
7.2			16.74	0.376	18.89	0.430
8.2			19.07	0.429	17.69	0.413
9.2					18.37	0.431
平均	54.04	0.672	21.88	0.424	17.98	0.371

た。〔 〕印はIII表同様記録数少く信用程度が低いので参考に記したまでである。従って平均値は上の5列のみに

IV 表

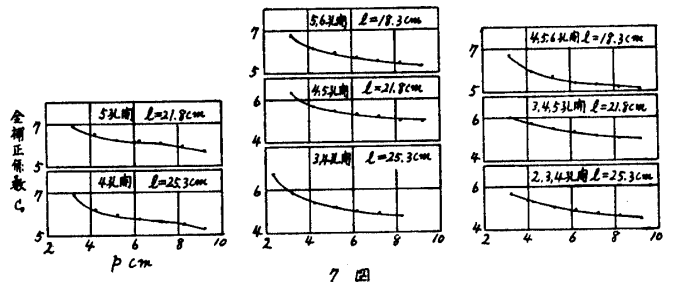
$$C_h = \frac{K_h}{l n_h}$$

開孔数 圧力 pcm	1		2		3	
	$K_h$	$n_h$	$K_h$	$n_h$	$K_h$	$n_h$
3.2	535.8	1.674	110.2	1.268	84.92	1.190
4.2	284.4	1.478	66.07	1.116	13.96	0.655
5.2	260.6	1.438	55.09	1.043	27.67	0.843
6.2			51.96	1.017	34.84	0.902
7.2			54.28	1.035	43.93	0.982
8.2			75.44	1.140	41.58	0.957
9.2					44.60	0.982
平均	360.3	1.530	77.12	1.142	42.18	0.896

つき取った。1孔のみ開かれた場合は連続2孔、連続3孔開かれた場合に比して  $K_h$  及び  $n_h$  が相当に大きい。又2孔開の方は3孔開の方に比して  $K_h$  及び  $n_h$  が少し大きい。次に管長が 18.3cm, 21.8cm 及び 25.3cm の場合の側孔補正係数の一例をV表に示す。此表から管長が長くなれば側孔補正係数が小さくなり管長が同じなら

V 表

開孔数 管長 l cm	1	2	3
	側孔補正係数 $C_h$	$C_h$	$C_h$
18.3	—	2.691	2.457
21.8	3.071	2.262	2.226
25.3	2.723	—	1.794



VI 表

$$C_0 = \frac{k_0}{p m_0}$$

開孔数 管長 l cm	1			2			3		
	開孔番号	$k_0$	$m_0$	開孔番号	$k_0$	$m_0$	開孔番号	$k_0$	$m_0$
18.3	6			5 6	8.943	0.249	4 5 6	8.668	0.248
21.8	5	8.796	0.199	4 5	7.949	0.221	3 4 5	7.901	0.219
25.3	4	8.276	0.204	3 4	7.660	0.227	2 3 4	7.306	0.225
28.8	3	〔7.574〕	〔0.211〕	2 3	〔7.437〕	〔0.241〕	1 2 3	〔7.236〕	〔0.235〕
32.3	2			1 2	6.887	0.220			
25.8	1								

ば側孔の数が増せば側孔補正係数が小さくなることが解る。

管長一定の場合、全補正係数と圧力との関係の一例が7図に示されてある。何れも圧力が増大するに従い全補正係数は小さくなる。全補正係数を  $C_0$  とし圧力を  $p$  とすれば  $C_0 = \frac{k_0}{p m_0}$  が概略的に成立する。但  $k_0$  及び  $m_0$  は常数でその値をVI表に示す。表中〔〕印は実験記録の数が少いため信頼度が稍小さいことを示す。此表から管長が長くなるに従い  $k_0$  は減少しているが  $m_0$  は大した変化がないことが解る。全補正係数と圧力との関係は屢々既に別の論文に記載した<sup>7)</sup>

文 献

- 1) 三村泰一郎 西京大学学術報告(理学及家政学)  
第2巻, 第2号, 6 (1956)  
杉原雅, 三村泰一郎 // //  
第2巻, 第2号, 12 (1956)
- 2), 4), 5) 杉原雅, 三村泰一郎 // //  
第2巻, 第4号, 11 (1957)
- 3) // // // //  
第2巻, 第4号, 18 (1957)
- 6) // // // //  
第2巻, 第4号, 19 (1957)
- 7) // // // //  
第2巻, 第4号, 17, 22, 25, (1957)