

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 側孔を色々に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) when a number of holes are opened
in random patterns

MIYABI SUGIHARA TAICHIRO MIMURA and MASAHIRO SHIOZAKI

1. 概 要

側孔を如何様に開いても風琴管が発生する音は、管長一定ならば振動数は圧力を大きくすると共に少しく多くなり、圧力一定ならば管長が長くなる程、振動数が少くなる。全補正係数 C_0 は管長が一定ならば圧力 p と $C_0 = \frac{k_0}{p m_0}$ 、圧力一定ならば管長 l と $C_0 = \frac{K_0}{l n_0}$ なる関係が略成立する。但し k_0, m_0, K_0, n_0 は常数である。又1側孔を開いて管長を一定にし、次にその直下の側孔を1個、更にその下の側孔を1個と云う風に次々と側孔の数を増した場合は、振動数は始めの3孔位までは側孔の数が増すと共に多くなるがそれ以上、下の側孔を開いても殆ど変わらない。又1側孔を開いて管長を一定にし、側孔1個置いて次の1孔を開いた場合と2個置いて次の1孔を開いた場合とでは、振動数は前者が後者より少しく多い。側孔の総面積は同じでも始め開いた側孔に近い孔を開いた方が影響が大きい。

2. 実験方法

前実験題目に於て述べたと同一の風琴管を用い同様の方法が用いられた。本実験に於ては (i) 側孔番号6と4、5と3の如く1個置きに2個宛開いた場合と、(ii) 側孔番号6、65、654の如く開孔数を漸次増加した場合及び (iii) 側孔番号64、643の如く種々に開いた場合につき測定した。

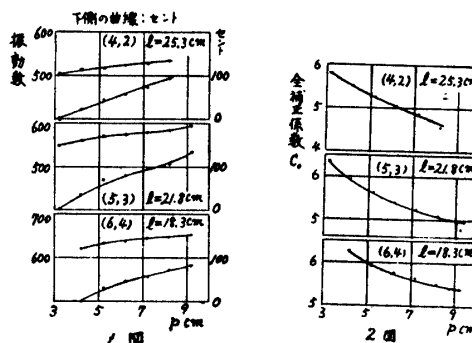
3. 実験結果及びその考察

i) 側孔番号を1個置きに2個宛開いた場合

実験結果の一例をI表に示す。此表から本実験の圧力範囲内では振動数が圧力の増加と共に少しく多くなり音程にして十二平均律の半音余りである。又側孔食出量¹⁾は圧力に殆ど無関係と思われるからその平均値を取り、それを管の半径1.5cmで除して側孔補正係数を求めた。

I 表

気温, 音速		21.8°C, 344.08 m/sec					
開側孔番号		5, 3					
管長 l cm		21.8					
圧力 (水柱) pcm	歌口食出量 q_m cm	振動数 N1/秒	音程 セント	波長 λ cm	$\lambda/2-l$ cm	全補正係数 C_0	側孔食出量 q_h cm
3.2	5.89	549.3	0	62.64	9.52	6.35	3.63
4.2	5.31	560.4	34.6	61.4	8.9	5.93	3.59
5.2	4.91	569.0	70.0	60.47	8.435	5.62	3.525
6.2	4.58	575.3	80.0	59.81	8.105	5.40	3.525
7.2	4.34	580.3	95.0	59.29	7.845	5.23	3.505
8.2	4.12	583.8	105.4	58.94	7.67	5.31	3.55
9.2	3.94	593.7	134.6	57.96	7.18	4.79	3.24
平均							3.509
側孔補正係数 Ch							2.273

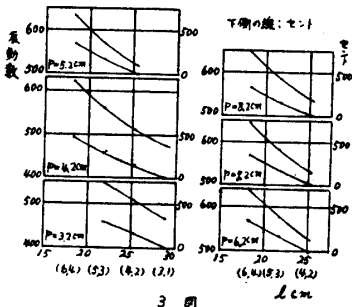


実験結果を1図に示す。音程は振動数の最小の音を基準に取りセント²⁾で表してある。音程変化は約半音位であ

II 表

開孔番号	管長	k_0	m_0
6, 4	18.3 cm	8.508	0.208
5, 3	21.8	8.412	0.242
4, 2	25.3	7.947	0.254

る。次に圧力と全補正係数³⁾との関係を2図に示す。圧力pの増加と共に全補正係数 C_0 は小さくなり此間に $C_0 = \frac{k_0}{p m_0}$ が略成立する。但し k_0 及び m_0 は常数でその値をII表に示す。管長が増すと共に k_0 は漸減し m_0 は漸増する。圧力一定に於て管長と振動数及び音程との関係を3図に示す。此図から管長が長くなれば振動数が少くなり、最低音を基準にして音程をセントで示せば本実験の管長変化の範囲内では、圧力 $p=4.2\text{cm}$ の場合は使用された音が4個であるから2音半位高くなるが他は使



III 表

圧力 pcm	K_0	n_0	圧力 pcm	K_0	n_0
3.2	9.648	0.536	6.2	7.458	0.413
4.2	8.610	0.500	7.2	7.280	0.435
5.2	7.693	0.415	8.2	7.268	0.477

用された音が3個であるから1音半位である。次に側孔補正係数と管長との関係を4図に示す。更に圧力一定の場合全補正係数 C_0 と管長 l との関係は概略的に $C_0 = \frac{K_0}{l n_0}$ が成立する。但し K_0 及び n_0 は常数でその値はIII表に示されてある。此表では K_0 は圧力増加と共に減少

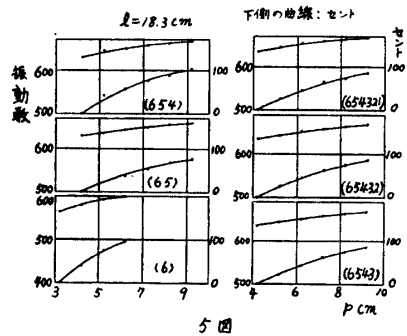
IV 表

気温, 音速		21.8°C 344.08 m/sec					
開孔番号		6, 5, 4					
管長/cm		18.3					
圧力 (水柱) pcm	歌口食 出量 $Q_m \text{ cm}^3$	振動数 N / 秒	音程 セント	波長 λ cm	$\lambda/2 - l$ cm	全補正係数 C_0	側孔食 出量 $Q_h \text{ cm}^3$
4.2	5.31	629.0	0	54.7	9.05	6.03	3.74
5.2	4.91	644.3	41.6	53.4	8.4	5.6	3.49
6.2	4.58	650.0	56.8	52.94	8.17	5.45	3.59
7.2	4.34	657.6	77.0	52.32	7.86	5.24	3.52
8.2	4.12	661.5	87.2	52.02	7.71	5.14	3.59
9.2	3.94	667.6	103.1	51.54	7.47	4.98	3.53
平均							3.577
側孔補正係数 Ch							2.384

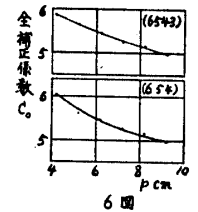
するが n_0 はまちまちである。

ii) 管長を一定にして開孔数を増加する場合

本実験は管長を一定にして、例えば第6孔を開き次に第6孔と第5孔を開くと云う様に次々と1孔宛増して全孔を開ける。次に第5孔から始めた場合及び第4孔から始めた場合の実験である。その結果の一例をIV表に示す此表は側孔 6, 5, 4 を開いた場合で圧力が増すに従い振動数が少しく増す。又側孔食出量は圧力に殆ど関係がないからその平均を取り前述と同様にして側孔補正係数を求めた。IV表と類似の表が尚外に5個あるが之を省略して管長一定の場合に圧力と振動数及び音程との関係を5



図に示す。図から見て圧力が増せば振動数が多くなり、その音程は本実験の圧力範囲では最低音を基準に取り約半音である。次に全補正係数と圧力との関係の一例を6図に示す。圧力が大きくなるに従い全補正係数は小さくなる。管長が一定の場合、全補正係数 C_0 と圧力 p との間に概略的に $C_0 = \frac{k_0}{p m_0}$ が成立する。但し k_0 及び m_0 は常数でその値をV表に示す。又圧力一定に於て開孔数と振動数との関係の一例をVI表に示す。開孔数が (6, 5, 4) より多くなれば振動数は殆ど同じでその差は



V 表

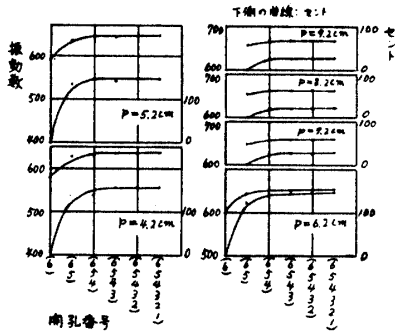
管長 $l=18.3\text{cm}$

開孔番号	k_0	m_0
(6)	10.67	0.237
(6, 5)	8.463	0.224
(6, 5, 4)	8.262	0.229
(6, 5, 4, 3)	8.190	0.222
(6, 5, 4, 3, 2)	7.921	0.215
(6, 5, 4, 3, 2, 1)	7.853	0.208

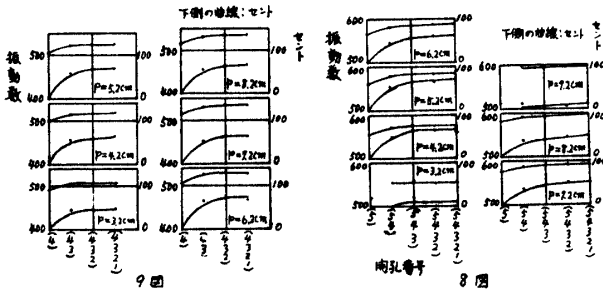
実験誤差の範囲に入るものと思われる。1孔の直径は1.5cmであるからその面積は $0.5625\pi \approx 1.766\text{cm}^2$ であり、5孔を開けば 1.6875π となる。管の半径が1.5cmであるから管の直截面積は 2.25π となり、此面積に比

VI 表
管長 $l=18.3\text{cm}$

圧力 開孔番号	4.2cm		6.2cm	
	振動数 N 1/秒	音程 セント	N	セント
(6)	580.3	0	599.0	0
(6, 5)	629.0	139.5	642.4	121.1
(6, 5, 4)	629.0	139.5	650.0	141.4
(6, 5, 4, 3)	634.6	154.9	650.0	141.4
(6, 5, 4, 3, 2)	634.6	//	651.7	146.0
(6, 5, 4, 3, 2, 1)	634.6	//	651.7	146.0



7 図



8 図

VII 表

開孔番号	k_0	m_0
(5)	8.859	0.254
(5, 4)	7.911	0.245
(5, 4, 3)	7.372	0.205
(5, 4, 3, 2)	7.275	0.208
(5, 4, 3, 2, 1)	7.233	0.215

VIII 表

開孔番号	k_0	m_0
(4)	8.151	0.200
(4, 3)	7.291	0.214
(4, 3, 2)	7.057	0.213
(4, 3, 2, 1)	7.000	0.209

IX 表
管長 $l=18.3\text{cm}$

開孔番号	側孔補正 係数 C_h
(6)	3.976
(6, 5)	2.575
(6, 5, 4)	2.384
(6, 5, 4, 3)	2.367
(6, 5, 4, 3, 2)	2.350
(6, 5, 4, 3, 2, 1)	2.343

して3孔を開けた場合の総面積は75%となる。側孔の面積が此程度になれば之以上孔を開いて面積を増しても音の高さに余り大きい影響はない。尚実験結果を7図に示す。

次に第5孔開から始めて第5,4孔開と云う風に1孔宛を増加した場合の実験結果を8図に示す。此図に於ても第5孔開よりも第5,4孔開の方が少しく振動数が増加するが第5,4,3孔以上に開孔数が増加しても振動数は殆ど変わらない。又第4孔を開き次に第4,3孔と云う様に1孔宛増加した場合の結果を9図に示す。此場合も前の場合

X 表
管長 $l=21.8\text{cm}$

開孔番号	側孔補正 係数 C_h
(5)	2.582
(5, 4)	2.086
(5, 4, 3)	1.996
(5, 4, 3, 2)	1.997
(5, 4, 3, 2, 1)	1.969

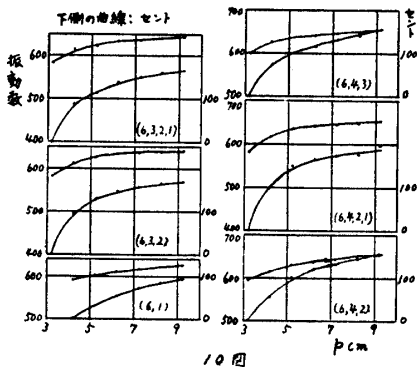
XI 表
管長 $l=25.3\text{cm}$

開孔番号	側孔補正 係数 C_h
(4)	2.582
(4, 3)	1.873
(4, 3, 2)	1.779
(4, 3, 2, 1)	1.766

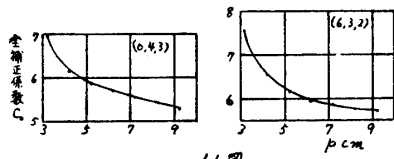
XII 表

気温, 音速		21.8°C		344.08 m/sec			
開側孔番号		6, 4, 3					
管長 l cm		18.3					
圧力 (水柱) pcm	歌口食 出量 qm Cm	振動数 N 1/秒	音程 セント	波長 λ cm	$\lambda/2-l$ cm	全補正 係数 C_0	側孔食 出量 qh Cm
3.2	5.89	599.0	0	57.44	10.42	6.95	4.53
4.2	5.31	624.9	73.3	55.06	9.23	6.15	3.92
5.2	4.91	634.6	99.9	54.22	8.81	5.87	3.90
6.2	4.58	640.5	116.0	53.72	8.56	5.71	3.98
7.2	4.34	646.1	131.0	53.26	8.33	5.55	3.99
8.2	4.12	650.0	141.4	52.94	8.17	5.45	4.05
9.2	3.94	655.7	156.6	52.48	7.94	5.29	4.00
						平均	4.053
						側孔補 正係数 C_h	2.702

と同様第4,3,2孔開より孔を多くしても振動数に殆ど変化がない。第5孔から始めた場合も第4孔から始めた場合も全補正係数 C_0 と圧力 p との関係は第6孔から始めた場合と同様である。今 k_0 及び m_0 の値を示せばVII表及びVIII表の如くなる。次に以上3種の場合につき側孔補正係数 C_h と開孔番号との関係をIX, X及びXI表に示す。此等の表から開孔番号1個の場合に比して2個の場合は側孔補正係数が相当小さくなるが、2個と3個の場合は前者に比して後者が僅かに小さい。更に3個以上ともなれば側孔補正係数は殆ど変化がない。即ち定常波の



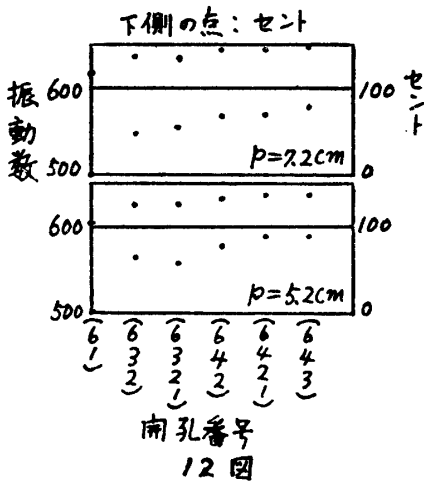
10 図



11 図

表 XIII

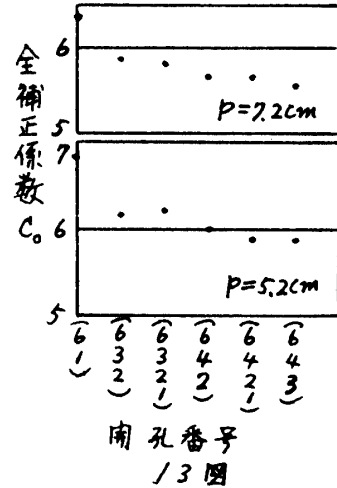
開孔番号	k_0	m_0
(6, 1)	10.440	0.247
(6, 3, 2)	9.305	0.247
(6, 3, 2, 1)	7.518	0.223
(6, 4, 2)	8.113	0.234
(6, 4, 2, 1)	8.788	0.224
(6, 4, 3)	8.376	0.208



12 図

腹が管長に沿って側孔から食出る量が殆ど変わらないことで側孔の数を多く開いても或程度側孔の総面積が大きくなればそれ以上は腹の食出量が変わらない。

iii) 開孔番号 (6, 4), (6, 4, 3) の如く種々に変えた場合
開孔番号 (6, 4, 3) の場合の実験結果の一例を XII 表に示す。XII 表の如きものを開孔数の色々な場合につき作り、此等につき管長一定の場合、圧力と振動数及び音程との関係を図に示せば 10 図の如くなる。図から見て圧力が増



13 図

加するに従い振動数が多くなり、最低音を基準にして此圧力変化の範囲では最高 1 音位である。管長一定の場合全補正係数と圧力との関係の一例を 11 図に示す。全補正係数 C_0 と圧力 p との間に近似的に $C_0 = \frac{k_0}{p m_0}$ が成立する。但 k_0 及び m_0 は常数でその値を XIII 表に示す。又開孔番号と振動数及び音程との関係を 12 図に、開孔番号と全補正係数との関係を 13 図に示す。此等の図を見れば開孔番号 (6, 4, 2), (6, 4, 2, 1) 及び (6, 4, 3) は殆ど同一と見做して差支えない。

今までのべた如く側孔の総面積が或値以上になれば開孔番号より下位の 1 孔を余計に開いても振動数に殆ど影響がない。

文 献

- 1) 杉原 雅, 三村泰一郎, 西京大学学術報告 第 2 巻第 4 号 11, 15 (1957)
- 3) " " " "
- 2) " " " 第 2 巻第 3 号 3 (1956)