

冷却器の装備法

(第5報：翼内装備の場合)

所員 西 脇 仁 一
嘱託 水 町 長 生

目 次

1 緒 言.....	357
2 冷却器を翼内に装備した場合の装備効率.....	358
3 実験用模型.....	362
4 実験方法.....	363
5 実験結果並に之に對する考察.....	364
5.1 通過風速比.....	366
5.2 導風路の損失係數.....	366
5.3 模型翼の揚抗曲線.....	368
5.4 通過風速比と翼の抵抗係數との關係.....	368
5.5 金網の抵抗係數と翼の抵抗係數との關係.....	371
5.6 金網の抵抗係數と翼の揚力係數との關係.....	372
6 装備効率.....	374
7 干渉抵抗.....	376
7.1 抵抗の變化として考へた場合.....	376
7.2 揚力の變化として考へた場合.....	380
8 結 語.....	383

1. 緒 言

冷却器の装備法として、これを胴體に装備した場合については色々理論的及び實驗的に研究され、その結果、冷却器としては溫度上昇率の大きいもの(70~80%)が得になり且つ出口は冷却器前面積の $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{5}$ 位に絞つた方がよいことが分つてゐる。然るに最近翼内に装備する方法が行はれ實用されてゐる状態である。この際問題になるのは冷却器を翼の何れの部分に取付けたらよいか即ち冷却空氣の取入口及び排出口の撰定問題、導風路の形狀及び如何なる絞り方を採用したらよいか等の問題である。而してこの際翼の方としては出来る限り翼の抵抗係數が増大せず、又揚力係數が減少しないことが望ましい。従つて翼の抵抗係數の増大、揚力係數の減少及び冷却器からの放熱量等を考慮して最も効率のよい装備法があるわけである。こ

れを見出すために各種の装備模型を製作し風洞実験を行ひ、この結果を基にして装備効率を求め各種装備法の優劣を論じ、更にかゝる如く冷却器を翼内に装備した場合に胴体内装備等の場合に比較して本質的に優れてゐるか否かについて検討した。

2. 冷却器を翼内に装備した場合の装備効率

一般に冷却器を飛行機に装備する場合に如何なる條件を満足するものが最も優秀な装備法であるかについては、飛行機の性能上からは勿論のこと、あらゆる方面から検討しなければならないのであるが、或一定の熱量を放散する場合にこの冷却のために消費される馬力が小さいといふことは冷却器の装備法の優秀性を示す一つの有力な指標であることは明らかである。冷却器を胴体内に装備した場合は冷却のために消費される馬力は抵抗馬力として表はされ容易に求めることが出来る。冷却器を翼内に装備した場合は一般には翼の抵抗係数が増大すると共に揚力係数が減少する。従つてこの時冷却器を装備したために費される消費馬力は飛行状態が與へられて始めて求めることが出来る。即ちこの時の消費馬力は飛行機の翼面荷重や翼面馬力等に関係する。以下冷却器を翼内に装備した場合の装備効率として或基準翼に冷却器を装備し、取付け前と取付け後に於て翼面荷重を一定に保つといふ條件を基礎にして装備効率を求めよう。

W = 飛行機全體の重量 kg

T_0 = 冷却器を翼内に装備しない時のプロペラ推力 kg

T = 冷却器を翼内に装備した時のプロペラ推力 kg

S_0 = 冷却器を翼内に装備しない時の翼面積 m^2

S_R = 冷却器を翼内に装備した時、冷却器を取付けてある部分の翼面積 m^2

S_1 = 冷却器を翼内に装備した時、冷却器を取付けてない部分の翼面積 m^2

C_{x0}, C_{z0} = 冷却器を翼内に装備しない時の翼の抵抗係数及び揚力係数

C_{x1}, C_{z1} = 冷却器を翼内に装備した時、冷却器を取付けてある部分の翼の抵抗係数及び揚力係数

C_{x1}, C_{z1} = 冷却器を翼内に装備した時、冷却器を取付けてない部分の翼の抵抗係数及び揚力係数

b = 冷却器を取付けてある部分の翼の翼幅 m (第1圖)

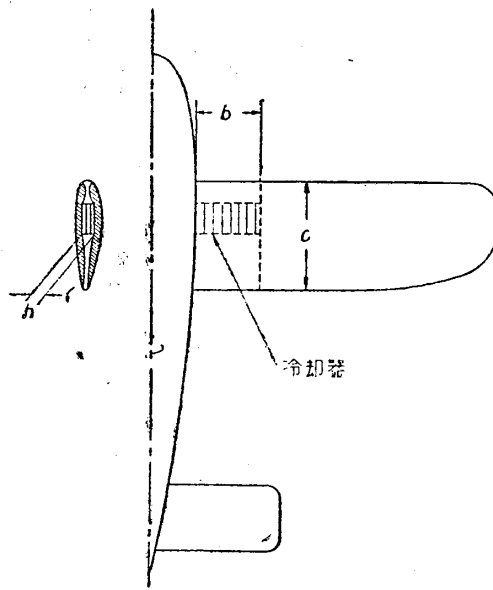
c = 冷却器を取付けてある部分の翼の弦長 m

h = 冷却器の高さ m

A_R = 冷却器の前面積 m^2

$$= b \times h$$

W_1 = 冷却器の單位前面積當りの含水重量 kg/m^2



第 1 圖

W_R = 冷却器の全含水重量, kg

$$= W_1 \times A_R$$

ϕ = 冷却器部の通過風速比

$$= \frac{w_R}{w_0}$$

w_0 = 一般流の風速 m/s

w_R = 冷却器部の風速 m/s

Q = 放熱馬力

η_{th} = 冷却器の温度上昇率

$$= \frac{\text{冷却空気の温度上昇}}{\text{冷却空気の入口温度と冷却器の平均温度との差}}$$

θ = 冷却空気の入口温度と冷却器の平均温度との差 °C

c_p = 空気の定圧比熱 kcal/kg

とすれば、冷却器を翼内に装備しない時は次の諸式が成立する。

$$T_0 = \frac{1}{2} \rho w_0^2 S_0 C_{x0} + D_f \dots\dots\dots(1)$$

$$W = \frac{1}{2} \rho W_0^2 S_0 C_{z0} \dots\dots\dots(2)$$

茲に D_f は翼以外の部分の抵抗である。

第1表 A型測定結果

出口絞り比	原 型	2.33:1					2.33:1					2.33:1			
		2 枚					1 枚					ナ シ			
		C_{Z1}	C_{X1}	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w
α															
-4°		-0.1594	0.0084	-0.1682	0.01379	0.079	11.61	-0.1762	0.0144	0.084	5.83	-0.1600	0.01360	0.030	0
0°		0.0255	0.0067	-0.0280	0.01930	0.158	9.30	-0.0346	0.02101	0.180	4.69	-0.0181	0.02121	0.194	0
4°		0.2141	0.01827	0.0815	0.03248	0.237	8.20	0.1152	0.03043	0.267	4.09	0.1783	0.02624	0.293	0
8°		0.4150	0.04311	0.2598	0.04937	0.256	8.00	0.3090	0.04872	0.338	3.83	0.3962	0.04797	0.392	0
12°		0.6387	0.08105	0.4189	0.07841	0.267	7.90	0.4900	0.08253	0.329	3.87	0.6079	0.08546	0.381	0

第2表 B型測定結果

出口絞り比	原 型	3 : 1					3 : 1					3 : 1			
		2 枚					1 枚					ナ シ			
		C_{Z1}	C_{X1}	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w
α															
-4°		-0.1570	0.0045	-0.1949	0.02978	—	—	-0.2028	0.02944	—	—	-0.2020	0.03297	—	0
0°		0.0280	0.00272	-0.0152	0.02193	0.1002	10.8	-0.0211	0.02246	0.1369	4.9	-0.0229	0.02415	0.2065	0
4°		0.2167	0.01425	0.1518	0.02686	0.1695	9.10	0.1208	0.02587	0.1998	4.42	0.1439	0.02375	0.2514	0
8°		0.4181	0.03916	0.2888	0.03608	0.1762	8.99	0.2902	0.03603	0.2097	4.38	0.2839	0.03366	0.2653	0
12°		0.6355	0.07700	0.4163	0.04889	0.1780	8.97	0.4097	0.04964	0.2095	4.37	0.4121	0.04485	0.2621	0

出口絞り比	原 型	4 : 1					4 : 1					4 : 1			
		2 枚					1 枚					ナ シ			
		C_{Z1}	C_{X1}	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w
α															
-4°		-0.1570	0.0045	-0.1916	0.02984	—	—	-0.1779	0.02945	—	—	-0.1398	0.02963	—	0
0°		0.0280	0.00272	-0.0146	0.02135	0.0792	11.60	-0.0150	0.02150	0.0794	5.93	-0.01566	0.02120	0.1529	0
4°		0.2167	0.01425	0.1431	0.02312	0.1422	9.66	0.1633	0.02569	0.1474	4.87	0.1558	0.02223	0.1964	0
8°		0.4181	0.03916	0.2874	0.03344	0.1471	9.53	0.3004	0.03466	0.1541	4.80	0.2996	0.03172	0.1990	0
12°		0.6355	0.07700	0.4214	0.04442	0.1486	9.52	0.4252	0.04744	0.1548	4.79	0.4025	0.04568	0.1989	0

出口絞り比	原 型	5 : 1					5 : 1					5 : 1			
		2 枚					1 枚					ナ シ			
		C_{Z1}	C_{X1}	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w
α															
-4°		-0.1570	0.0045	-0.1930	0.02861	—	—	-0.1937	0.02974	—	—	-0.1871	0.02947	—	0
0°		0.0280	0.00272	-0.0141	0.02031	0.0450	13.6	-0.02581	0.01968	0.0531	6.72	-0.0022	0.02189	0.1188	0
4°		0.2167	0.01425	0.1506	0.02324	0.1255	10.75	0.1400	0.02210	0.1374	4.89	0.1275	0.02182	0.1623	0
8°		0.4181	0.03916	0.2861	0.03007	0.1291	9.98	0.2872	0.03274	0.1437	4.84	0.2845	0.03080	0.1685	0
12°		0.6355	0.07700	0.4114	0.04039	0.1317	9.90	0.4059	0.04542	0.1453	4.83	0.4104	0.03271	0.1707	0

第3表 C型測定結果

出口絞り比	原 型	2.20 : 1					2.20 : 1					2.20 : 1			
		2 枚					1 枚					ナ シ			
		C_{Z1}	C_{X1}	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w
α															
-4°		0.06938	0.01917	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0°		0.1401	0.02259	0.1145	0.03586	0.1908	9.30	0.1087	0.03616	0.2302	4.50	0.09636	0.02948	0.3572	0
4°		0.2496	0.03613	0.2137	0.04716	0.2008	9.13	0.2046	0.04795	0.2423	4.42	0.2071	0.04051	0.3689	0
8°		0.3754	0.05770	1.3336	0.06921	0.2050	9.08	0.3376	0.06718	0.2488	4.39	0.3314	0.06303	0.3793	0
12°		0.5024	0.08529	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

出口絞り比	原 型	3.14 : 1					3.14 : 1					3.14 : 1			
		2 枚					1 枚					ナ シ			
		C_{Z1}	C_{X1}	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w
α															
-4°		0.06938	0.01917	0.0246	0.0296	0.1436	10.22	0.0155	0.02925	0.1750	4.89	0.00792	0.02643	0.2625	0
0°		0.1401	0.02259	0.08005	0.03151	0.1496	10.05	0.0850	0.03244	0.1821	4.82	0.07484	0.02946	0.2688	0
4°		0.2496	0.03613	0.2031	0.04436	0.1660	9.76	0.1987	0.04401	0.1891	4.77	0.1926	0.04003	0.2841	0
8°		0.3754	0.05770	0.3323	0.06559	0.1670	9.74	0.3066	0.05995	0.1954	4.71	0.3264	0.06108	0.314	0
12°		0.5024	0.08529	0.4579	0.09289	0.1764	9.53	0.4375	0.07947	0.2006	4.68	0.4514	0.08901	0.3021	0

出口絞り比	原 型	5.50 : 1					5.50 : 1					5.50 : 1			
		2 枚					1 枚					ナ シ			
		C_{Z1}	C_{X1}	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w	C'_{Z1}	C'_{X1}	φ	C_w
α															
-4°		0.06938	0.01917	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0°		0.1401	0.02259	0.07095	0.03383	0.1097	11.11	0.06764	0.02944	0.1336	5.32	0.06022	0.02763	0.1780	0
4°		0.2496	0.03613	0.1774	0.03869	0.1172	10.88	0.1717	0.03797	0.1487	5.13	0.1728	0.03778	0.1877	0
8°		0.3754	0.05770	0.2902	0.05608	0.1355	10.42	0.2888	0.05627	0.1489	5.13	0.3023	0.05699	0.1940	0
12°		0.5024	0.08529	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

次に冷却器を翼内に装備した場合に、冷却器を装備してある部分の翼と装備してない部分の翼との間には近似的に干渉はないものとする。然る時は、

$$T' = \frac{1}{2} \rho w_0^2 (S_R C_{x1}' + S_1 C_{x1}) + D_f \dots\dots\dots (3)$$

$$W + W_R = \frac{1}{2} \rho w_0^2 (S_R C_{z1}' + S_1 C_{z1}) \dots\dots\dots (4)$$

従つて冷却器を装備したために生じたプロペラ推力の増加 ΔT は、

$$\Delta T = T' - T_0$$

$$= \frac{C_{x0}}{C_{z0}} W_R + \frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R \left\{ (C_{x1}' - C_{x1}) + \frac{C_{x0}}{C_{z0}} (C_{z1} - C_{z1}') \right\} \dots\dots\dots (5)$$

となる。故にこの時の消費馬力の増加 ΔP は、

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta T \times w_0 / 75 \\ &= \frac{w_0}{75} \left[\frac{C_{x0}}{C_{z0}} W_R + \frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R \left\{ (C_{x1}' - C_{x1}) + \frac{C_{x0}}{C_{z0}} (C_{z1} - C_{z1}') \right\} \right] \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

而してこの時の放熱馬力 Q は、

$$Q = \varphi w_0 F_R \rho g c_p \theta \eta_{th} \times 5.691 \dots\dots\dots (7)$$

となる。従つてこの時の単位放熱馬力當りの冷却消費馬力を求むるにこれを $1/\eta$ と

1), (5) 式の誘導方法

(1) 式から

$$T = \frac{1}{2} \rho w_0^2 (S_R C_{x0} + S_0' C_{x0}) + D_f \dots\dots\dots (1')$$

但し $S_0 = S_R + S_0'$

(2) 式から

$$W = \frac{1}{2} \rho w_0^2 (S_R C_{z0} + S_0' C_{z0}) \dots\dots\dots (2')$$

(3) と (1)' から

$$\Delta T = \frac{1}{2} \rho w_0^2 \{ (C_{x1}' - C_{x0}) S_R + S_1 C_{x1} - S_0' C_{x0} \}$$

冷却器を翼内に装備した時冷却器を装備してない部分の翼の揚力係数及び抵抗係数は、冷却器を翼内に装備しない場合の翼の揚力係数及び抵抗係数に等しいとすれば

$$\Delta T = \frac{1}{2} \rho w_0^2 \{ (C_{x1}' - C_{x1}) S_R + C_{x0} (S_1 - S_0') \}$$

又同じく (2)' と (4) から

$$W_R = \frac{1}{2} \rho w_0^2 \{ (C_{z1}' - C_{z1}) S_R + C_{z0} (S_1 - S_0') \}$$

上の二式から $(S_1 - S_0')$ を消去すれば

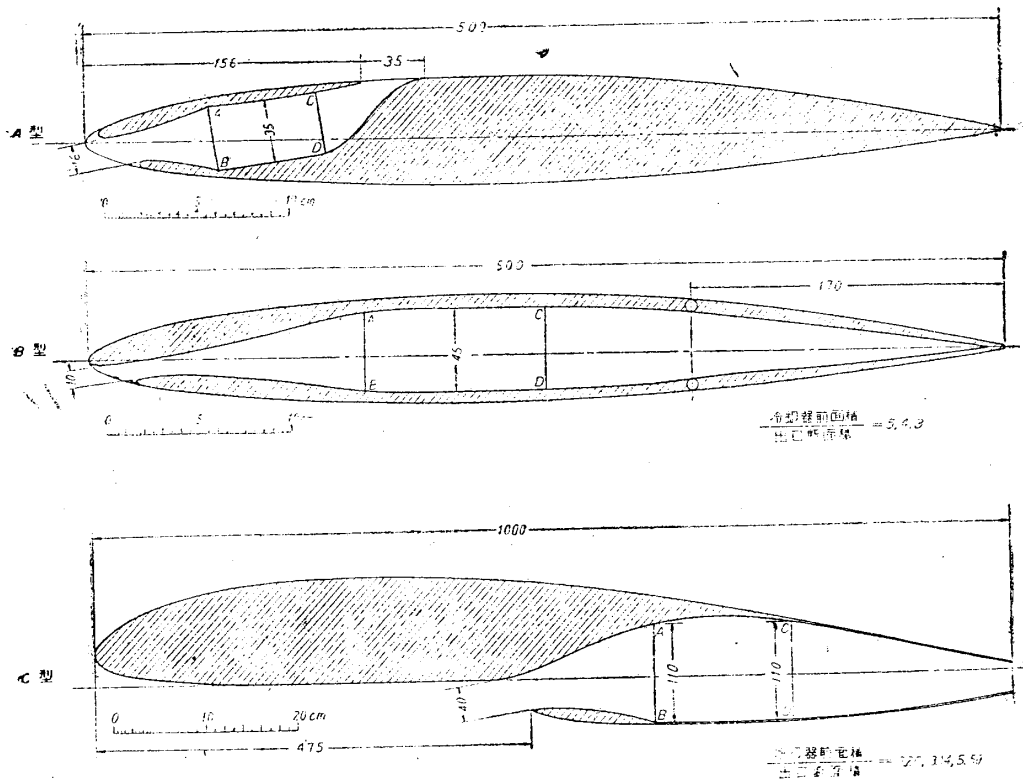
$$\Delta T = \frac{C_{x0}}{C_{z0}} W_R + \frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R \left\{ (C_{x1}' - C_{z1}) + \frac{C_{x0}}{C_{z0}} (C_{z1} - C_{z1}') \right\}$$

おけば、

$$\begin{aligned} \frac{1}{\eta} &= \frac{\text{冷却消費馬力}}{\text{放熱馬力}} \\ &= \frac{\Delta P}{Q} \\ &= \frac{1}{427 \rho g c_p \theta} \left[\frac{C_{r0}}{C_{z0}} \frac{W_1}{\varphi \eta_{th}} + \frac{1}{2} \frac{\rho w_0^2}{\varphi \eta_{th}} \cdot \frac{c}{h} \left\{ (C_{x1}' - C_{x1}) + \frac{C_{r0}}{C_{z0}} (C_{z1} - C_{z1}') \right\} \right] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(8)$$

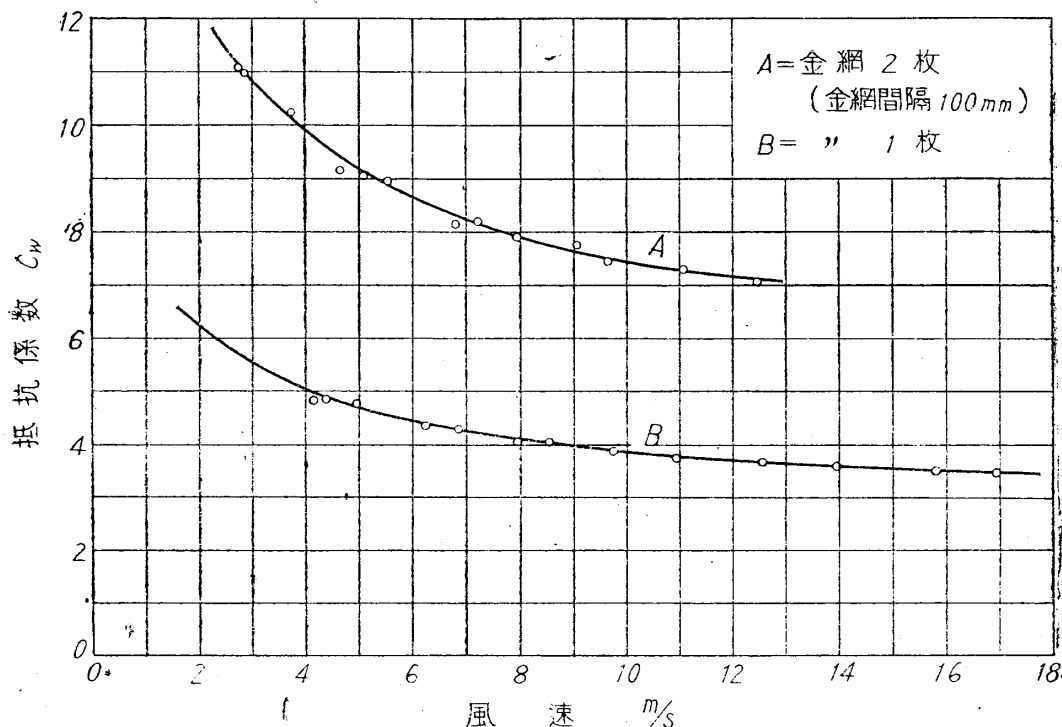
となる。従つてこの $1/\eta$ が小さいもの程冷却器の装備方法としては優秀なものであると考へることが出来る。而して (8) 式の [] 内の第1項は冷却器の重量に基くもので、第2項は翼の抵抗係数の増加及び揚力係数の減少に基くものである。この式を用ひ温度上昇率の異なる各種の冷却器を装備した場合の通過風速比、抵抗係数及び揚力係数を測定することにより装備効率を求めることが出来る。

3. 実験用模型



第2圖 実験用模型

実験に使用した風洞模型を第2圖に示す。A型は翼の前線から冷却空気を取入れ、ABCDなる冷却器を通り弦長の35%附近にて翼上面に吹き出す方式で、B型は同じく翼前線から取入れ翼内を貫流し後縁から吹き出す方式で、後方出口面積は冷却器前面積の $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ の三通りに絞り方を變化させた。又C型は翼の下面にて弦長50%附近より取入れ後縁から吹き出す方式で、後方出口は冷却器前面積の $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{5}$ の三通りに絞り方を變へて出口絞りの影響を調べた。本実験では冷却器の代りにAB及びCDなる部分に金網を入れて行つた。第3圖に實



第3圖 実験に使用した金網の抵抗係数

験に使用した金網の抵抗係数を示す。茲に金網の抵抗係数とは金網による静壓降下を金網前の動壓にて除した値である。従つて冷却器の温度上昇率と抵抗係数との間の關係が分つて居れば、金網の抵抗係数を知ることにより逆にその時對應する冷却器の温度上昇率を知ることが出来る。

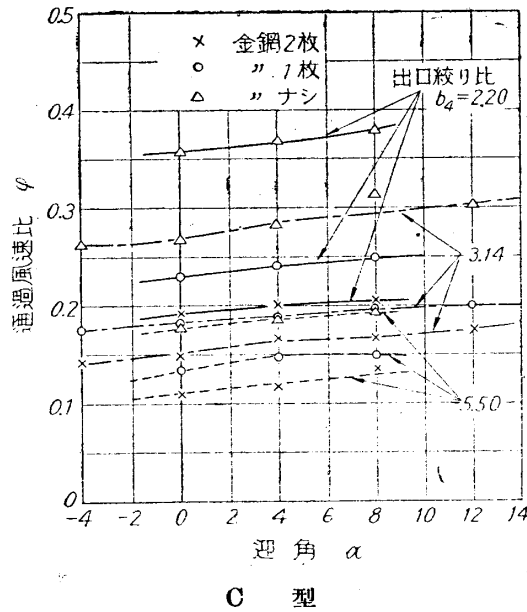
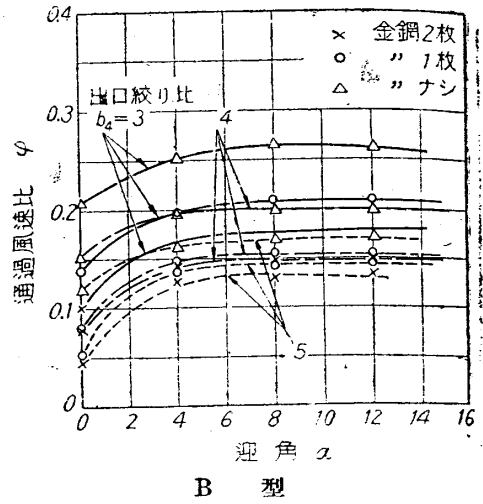
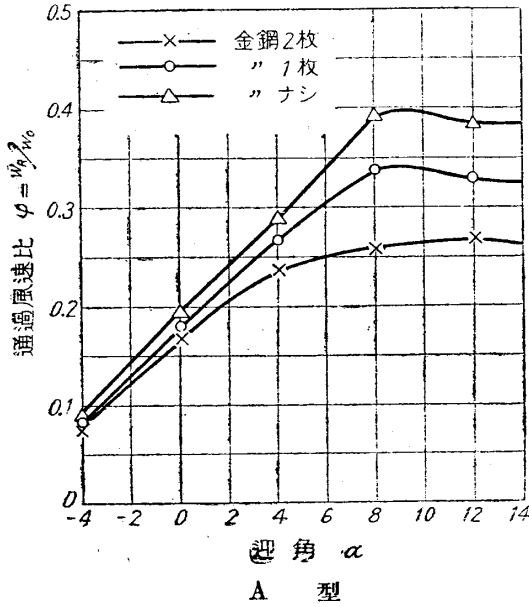
4. 実験方法

二次元的な空氣流にするために模型には凡べて側板を取付けて實驗した。

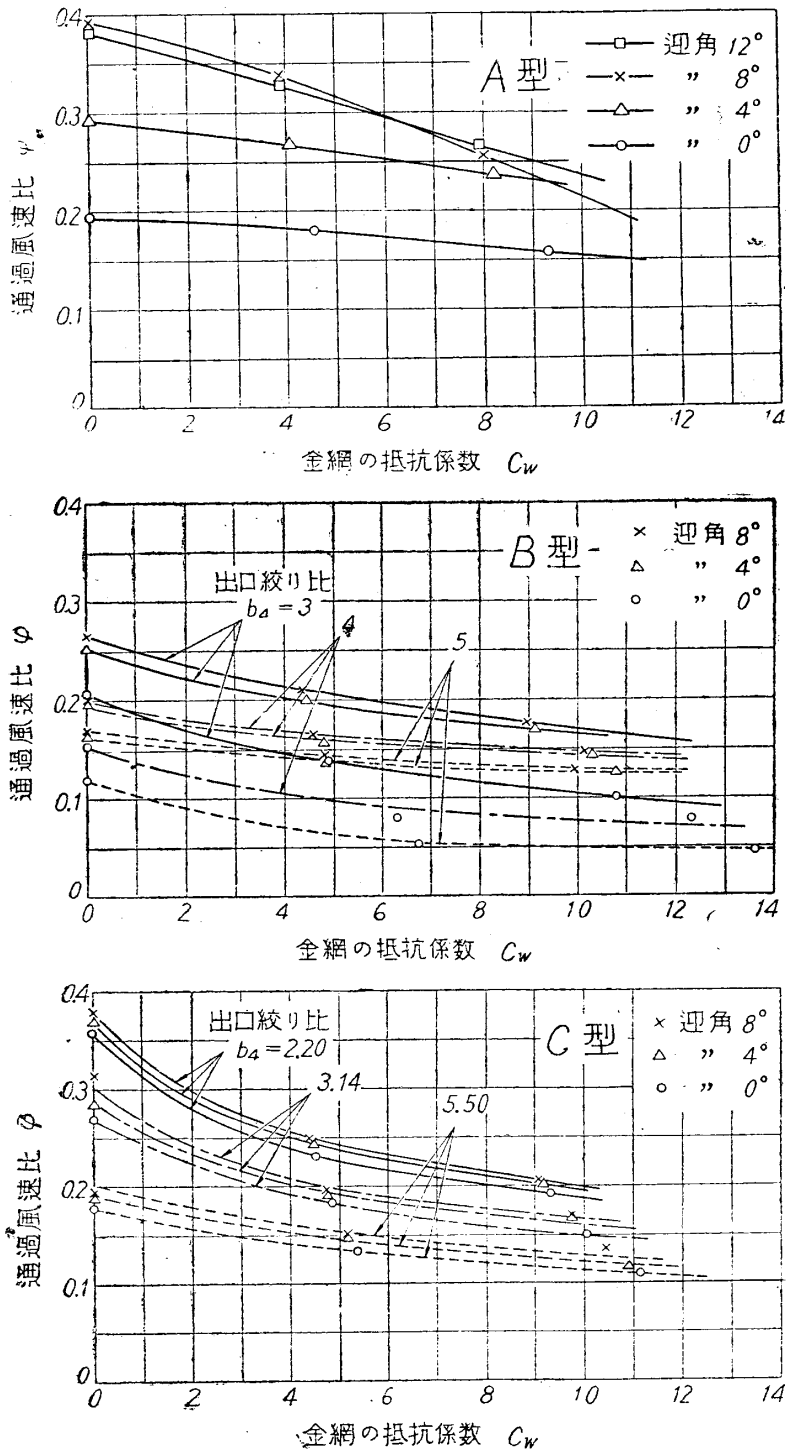
抵抗と揚力は風洞天秤を使用して測定し、導風路内の冷却空氣通過風量は、ピトー管により冷却器部又は導風路の出口の風速分布を測定し、この風速分布から求め

た。金網は2枚の場合、1枚の場合及び取去つた場合の各について行つた。
 風洞風速は約 25~30 m/s である。

5. 實驗結果並に之に對する考察



第 4 圖 迎角と通過風速比との關係



第5圖 金網の抵抗係数と通過風速比との関係

測定結果は纏めて第1表、第2表及び第3表に示す。

5.1 通過風速比

冷却器部の通過風速比 $\varphi = \frac{w_R}{w_0}$ と迎角 α との関係を第4圖に示す。A型は迎角によつて非常に變化し迎角の増大に伴つて増加するのは導風路出口部の壓力が迎角と共に減少するためだと思はれる。B型及びC型は迎角による變化は割合に小さく特にC型は迎角によつては殆んど變化しない。

第5圖は迎角一定なる場合の金網の抵抗係數と通過風速比との關係である。

5.2 導風路の損失係數

導風路内にて失はれる水頭損失を h_d とすれば、

$$h_d = C_i \frac{\rho}{2} w_R^2 \dots \dots \dots (9)$$

にて表はされる。但し w_R は冷却器部を通る風の速度である。

今

C_w = 冷却器の抵抗係數

b_1 = 導風路の入口絞り比

$$= \frac{A_R}{A_1}$$

b_4 = 導風路の出口絞り比

$$= \frac{A_R}{A_4}$$

A_R = 冷却器部斷面積

A_1 = 導風路入口斷面積

A_4 = 導風路出口斷面積

とすれば、冷却器部の通過風速比 φ は次の如くなる。

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{w_R}{w_0} \\ &= \sqrt{\frac{1}{C_w + b_1^2 + C_i}} \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

又損失係數 C_i は次の如く表はされる。

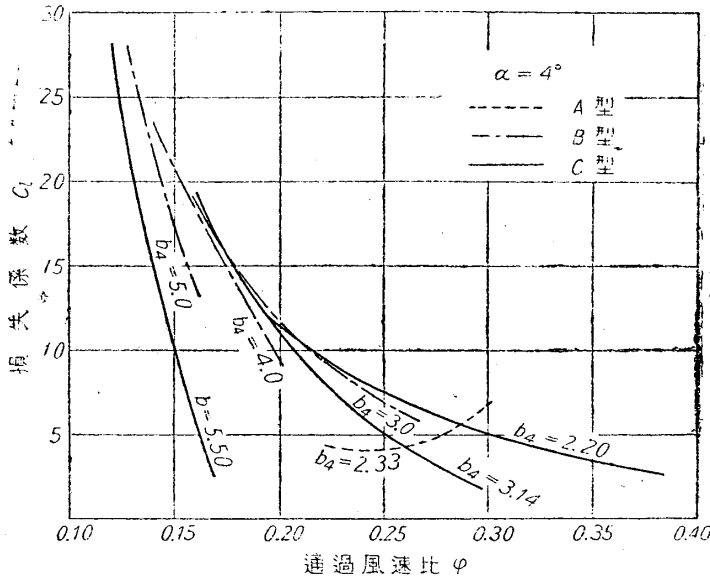
$$C_i = (b_1^2 + 1) \frac{c_{12}}{2} + (b_4^2 + 1) \frac{c_{34}}{2} \dots \dots \dots (11)$$

但し c_{12} 及び c_{34} は夫々導風路入口部及び出口部における損失係數である。

(10)式に於て實驗から φ , C_w 及び b_1 が分るから同式から C_i を求めることが出

1) 西脇, 水町: 送風機冷却の理編的考察。(航研報告, 第262號, 昭和18年7月),

2) 同上, 西脇: 冷却器備の裝備法(第1報), (航研報告, 第221號, 昭和16年11月),



第6圖 導風路の損失係數

来る。迎角 $\alpha=4^\circ$ なる場合の C_i を求めると第6圖の如くなる。各曲線は出口絞り比を一定にして金網の抵抗係數を變へて通過風速比を變へた場合であつて、金網の抵抗係數が大きくなり通過風速比が減少するに従ひ損失係數 C_i が大きくなるのは、通風量が減少するに従ひ導風路入口部における流れの擴大が大きくなり、そのため入口導風路に於て剝離、渦等に基く損失が大きくなることに基因するものと思はれる。B型或はC型は入口面積を模型の場合よりも更に大きくとつておればこの損失は更に小さく出来たであらう。第7圖は各種の冷却器を装備した場合の損失係數を示す。同圖には同時に(10)式の分母の内譯を示す。

C_e は一般に(11)式にて表はされるが、同式にて b_1 及び b_4 が與へられると c_{12} 及び c_{34} が變化しない範圍では一定となるべきである。A型及びB型では通常の冷却器を装備する範圍では大體一定である。故にかゝる場合は c_{12} 及び c_{34} は大體一定と見て差支へないやうである。C型に於ても b_4 が小さい場合は C_i の變化は比較的の小さいが、 b_4 が大きくなるに従ひ同一 b_1 及び同一 b_4 にても C_i の變化は非常に大きい。これは b_4 を大きくして通過風速比を非常に小さくした場合は入口部における剝離や渦が増大するためであらう。又第6圖に於て通過風速比が一定の所で比較するに、B型及びC型に於ても、 b_4 が小さくて冷却器の抵抗係數が大きい場合と b_4 が大きくて冷却器の抵抗係數が小さい場合とでは通過風速比は同一で

1) 第6節 裝備効率を参照

も b_4 を大きくして出口を絞つた場合が損失係数は小さい。これは通過風速比とは冷却器部の平均風速と一般流の風速との比であつて、見掛けの平均通過風速比は同一であつても b_4 が大きい場合と小さい場合とでは導風路の風速分布状態が異り、 b_4 を大きくして出口を絞つた場合が風速分布状態が均一になるためだと思はれる。

5.3 模型翼の揚抗曲線

第8圖に模型翼の揚抗曲線を示す。A型は夫々金網を2枚、1枚及び取去つた場合で、B型及びC型は更にその上に出口絞り比を色々に變へた場合である。A型は前述せる如く導風路自身の損失係数が小さく、又後述する如く干涉抵抗が非常に大きいため導風路における金網の抵抗係数従つて通風量の影響を非常に受けるが、B型及びC型は導風路を設けたための影響が非常に大きく通風量の多少は前者程は影響を及ぼさない。然し何れの場合も冷却器の抵抗係数が大きくなる程翼としての性能は悪くなつてゐる。

5.4 通過風速比と翼の抵抗係数との關係

導風路内を通る風の運動量の變化に基く抵抗 D は次の式にて表はされる。

$$D = \frac{1}{2} \rho w_0^2 A_R \cdot 2\varphi (1 - b_4 \varphi) \dots \dots \dots (12)$$

但し

- A_R = 冷却器部斷面積
- w_0 = 一般流の風速
- φ = 冷却器部通過風速比

この抵抗 D を翼の抵抗係数に換算し、これを C_{xR} とすれば、

$$C_{xR} = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R}$$

但し

S_R = 翼面積

然る時は上の二式なら、

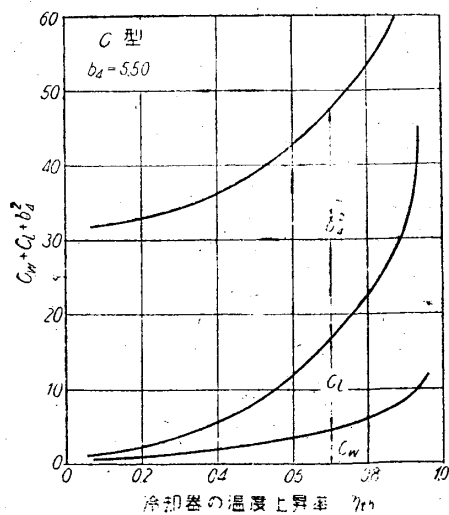
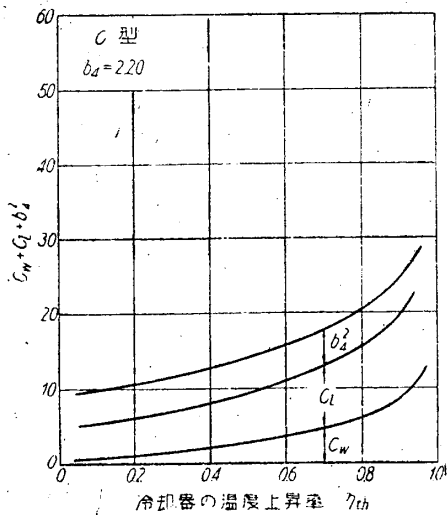
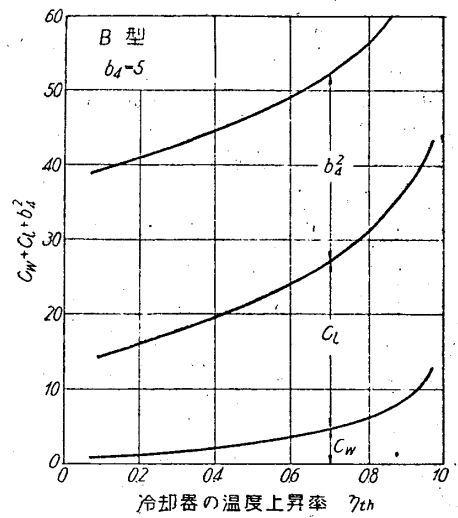
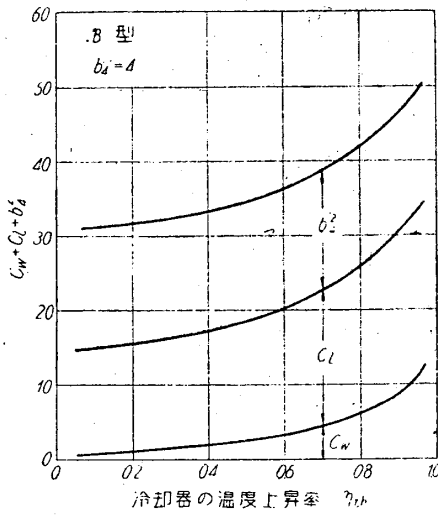
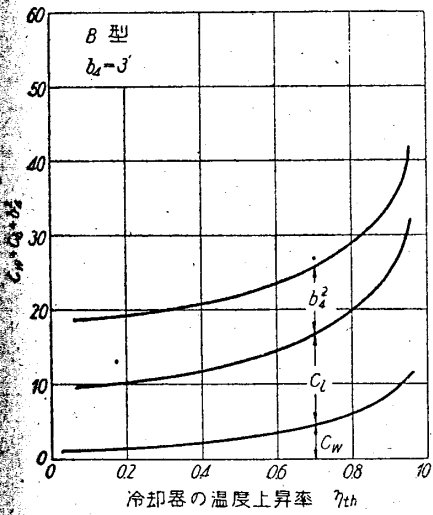
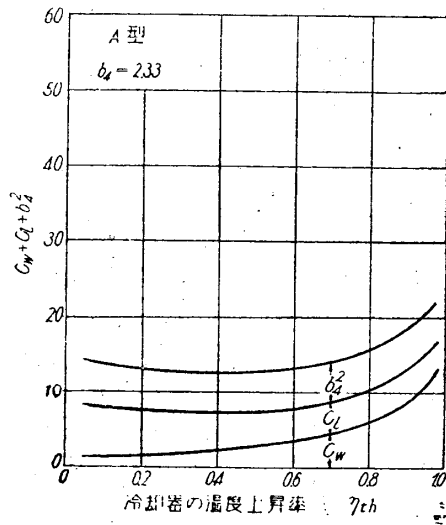
$$C_{xR} = \frac{h}{c} \cdot 2\varphi(1 - b_4 \varphi) \dots \dots \dots (13)$$

但し

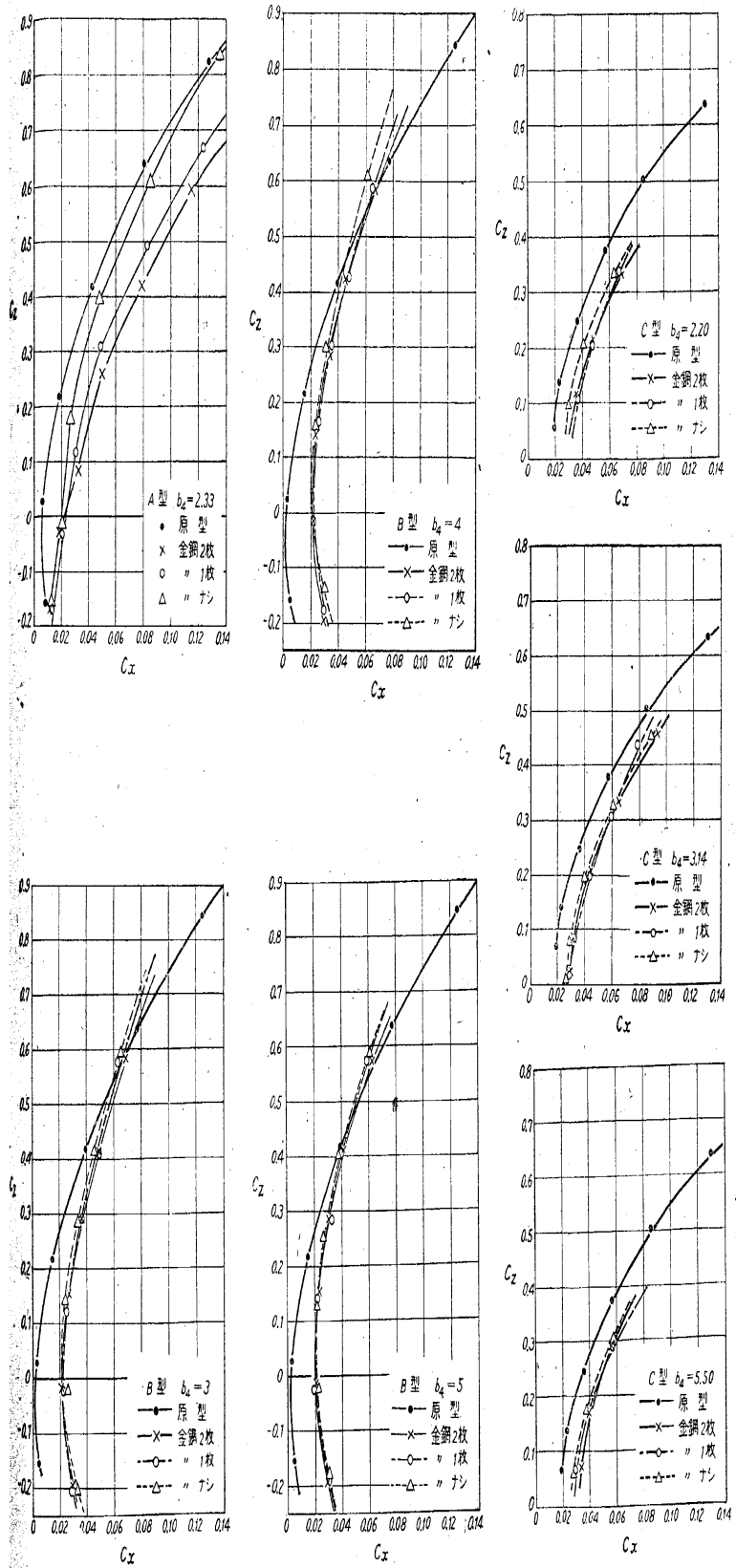
- c = 翼の弦長
- h = 冷却器部の高さ

迎角 $\alpha = 4^\circ$ なる場合につき上式から φ と C_{xR} との關係を求めると第9圖の點線のやうになる。即ち C_{xR} は導風路を流れた風のみ運動量の變化に基く抵抗を示

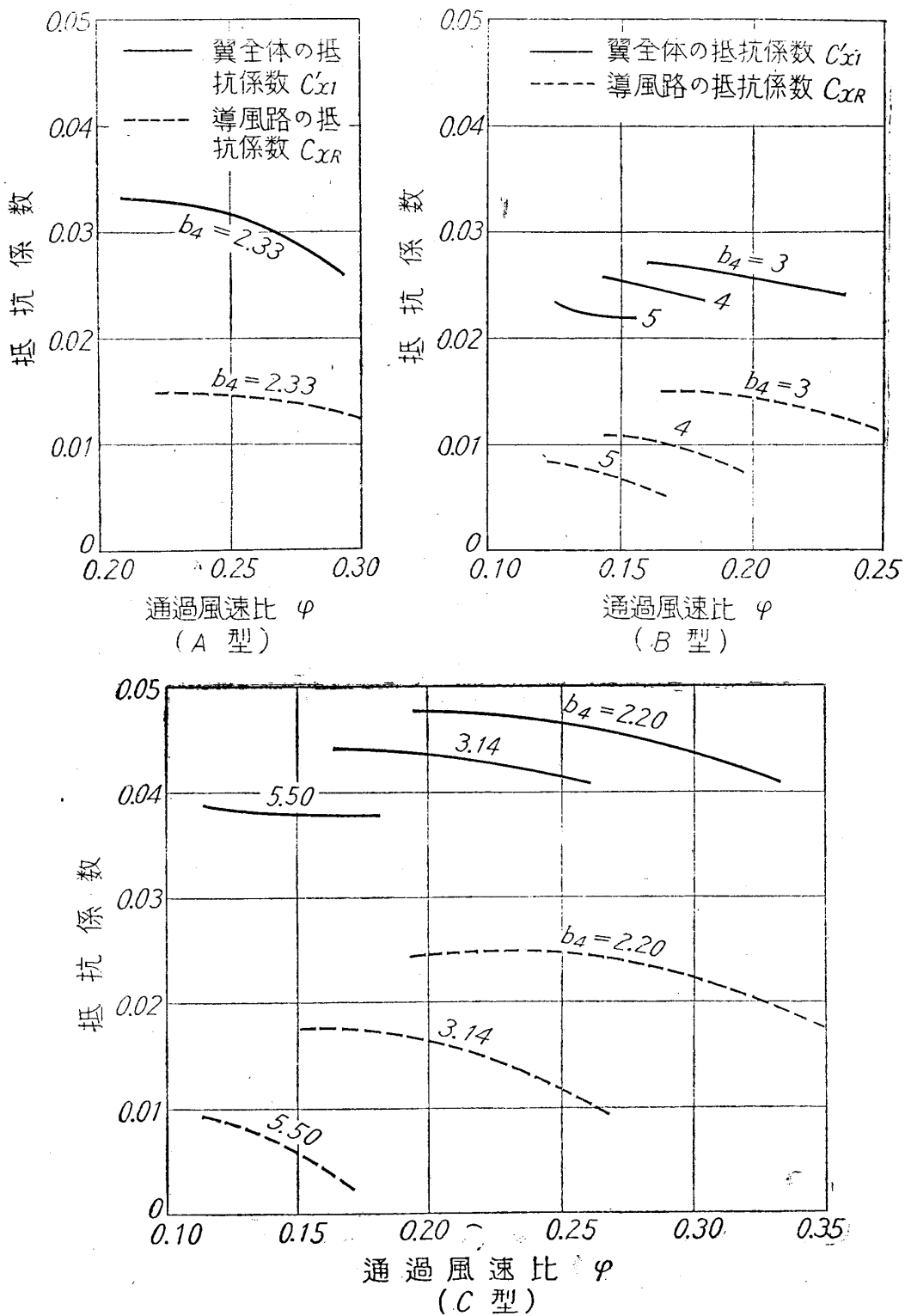
1) 西脇：冷却器の裝備法（第1報），前掲



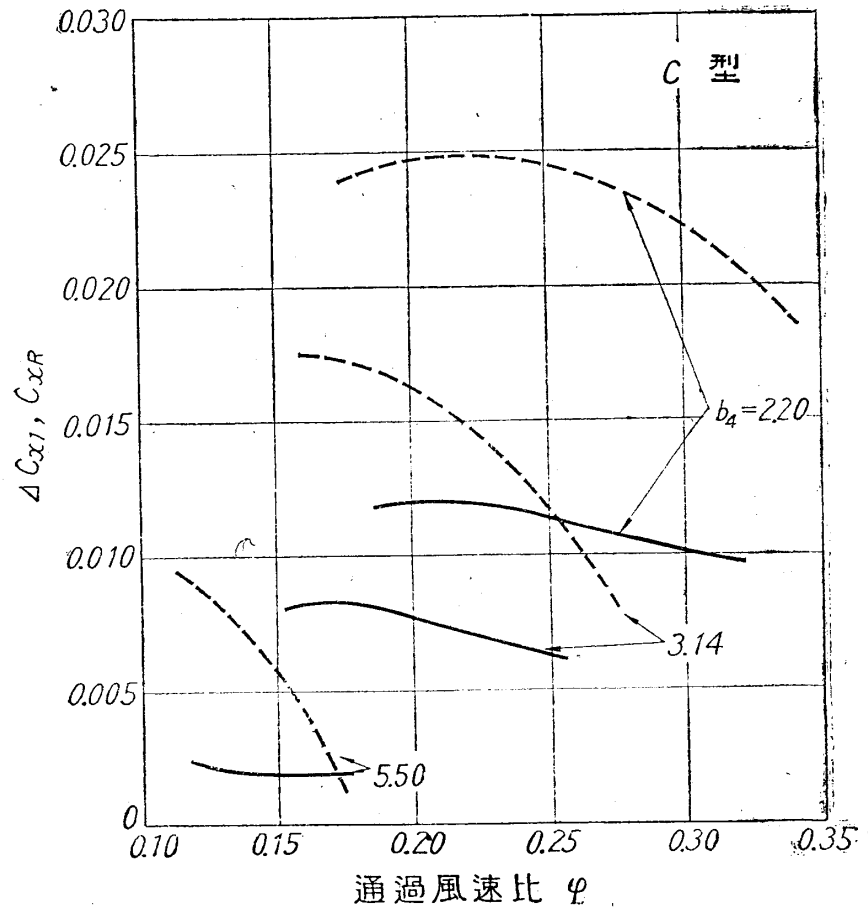
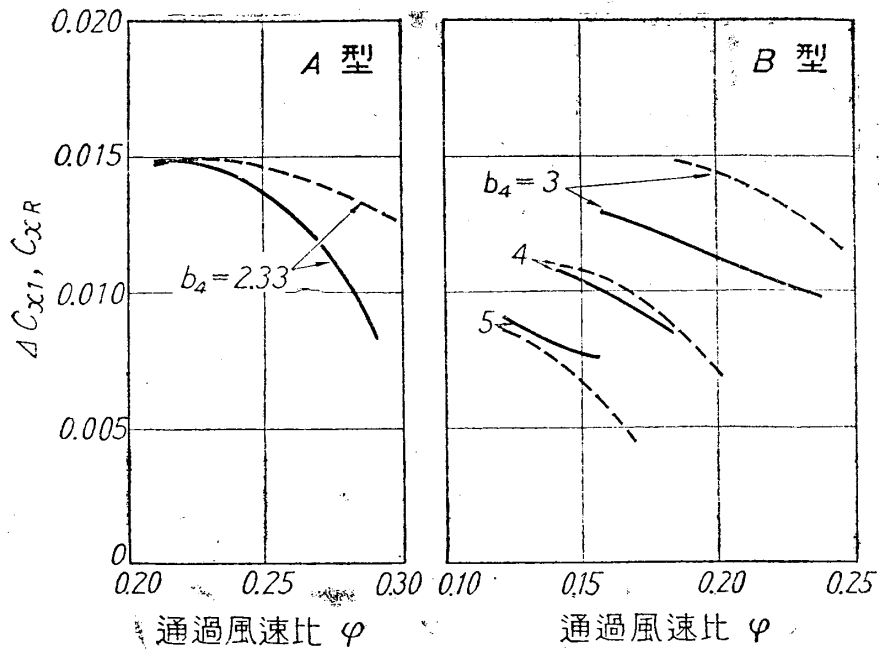
第 7 圖



第8圖 翼の揚抗曲線



第 9 圖 翼の抵抗係数と導風路の抵抗係数



第 10 圖 増加抵抗係数及び導風路の抵抗係数

し、實線は翼全體の抵抗係数であつて、實線と點線との差が導風路を流れた風以外の流れによる抵抗を表はし、これが翼表面の抵抗及び揚力を生ずるための抵抗となつてゐる。而してこの導風路以外の抵抗は導風路の出口を絞る程大きくなつてゐる。従つて導風路内を流れる風による抵抗は同一通過風速比に對して出口を絞る程勿論減少するが、翼全體としては大して減少しない。胴體内に冷却器を装備する場合は導風路の出口は冷却器前面積の $\frac{1}{5}$ 位に絞つた方が最も得になるが、翼内に装備する場合は以上の理由により絞りを大きくすることは大して得にならない。この點胴體内装備の場合と若干相違する。而してこのことは後述する装備効率に於ても明瞭に表はれてゐる。

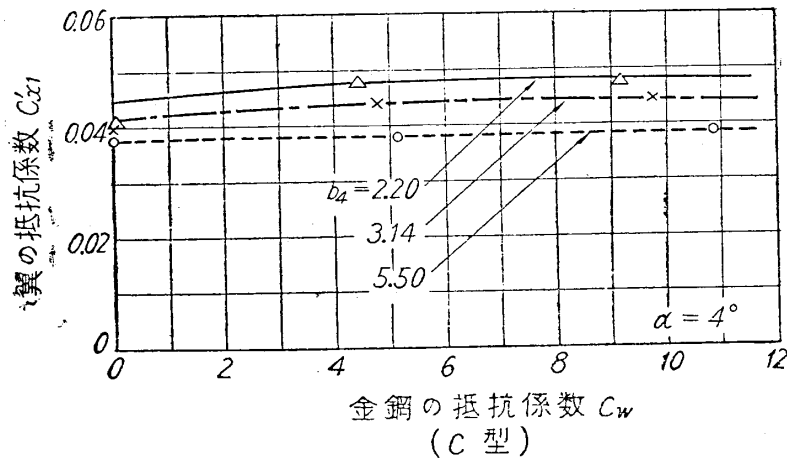
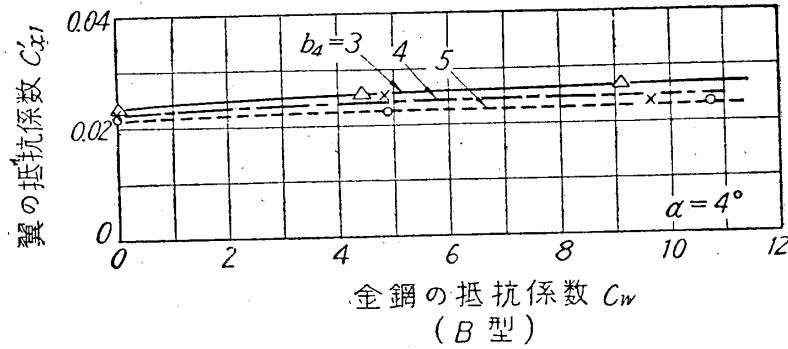
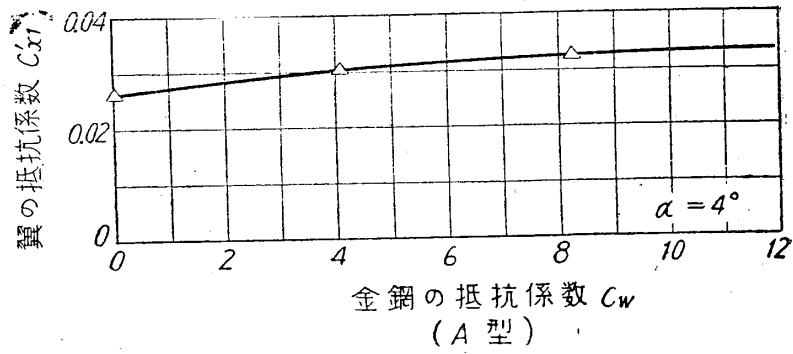
第9圖の實線は翼全體の抵抗係数を表はしてゐるが、原型翼に導風路を設けこの中に風を流したために原型翼に比較して、どれだけ抵抗が増加してゐるかを見るに、 C_{d1} を原型翼の抵抗係数、 C_{d1}' を冷却器装備翼の抵抗係数とし

$$\Delta C_{d1} = C_{d1}' - C_{d1}$$

を各通風速比に對して描けば第10圖の實線のやうになる。同圖の點線は前圖と同じく導風路内を流れた風の運動量の變化に基づく抵抗 C_{dR} である。即ち或原型翼に全然干渉を及ぼすことなく導風路を設けた場合には原型翼に比し點線だけ抵抗は増加すべきであるが、實際の場合は實線だけ抵抗は増加してゐる。従つて抵抗のみを考へれば、 ΔC_{d1} が C_{dR} よりも小さい時には、翼内に装備した場合が全然別個に導風路を設けた場合よりも得になり、逆に ΔC_{d1} が C_{dR} よりも大きい時には翼内に装備した場合は不利となる。然しこれは抵抗のみから考へた場合であつて、實際に翼内に装備する場合は揚力の變化も大きいから勿論この揚力の變化を合せて考慮しなければならない。而してこの揚力の變化は後述するやうに、冷却器を翼内に装備した場合は一般に原型に比較し殆んど何れの場合も揚力係数が減少する。従つて ΔC_{d1} が C_{dR} よりも大きい所では、他の装備方法に比較し全面的に不利であつて、 ΔC_{d1} が C_{dR} よりも小さい範囲内に於てのみ翼内装備が有利な範囲があることになる。而してこれらの間の諸關係については後述する干渉抵抗の所で更に詳細に論ずる。

5.5 金網の抵抗係数と翼の抵抗係数との關係

迎角 $\alpha = 4^\circ$ なる場合の金網の抵抗係数と翼の抵抗係数との關係を第11圖に示す。 A 型は金網の抵抗係数が増加すると翼の抵抗係数も可成り大きくなるが、 B 型及び C 型ではその増加の割合が比較的に少い。即ち A 型は温度上昇率の高い冷却器を装備すると翼の抵抗係数もそれに従つて次第に増大するが、 B 型及び C 型では冷却器の温度上昇率が高くても翼の抵抗係数は大して増大しない。従つて翼の抵抗係数のみから考へると A 型は冷却器の温度上昇率が比較的に低い所が適し、 B 型及

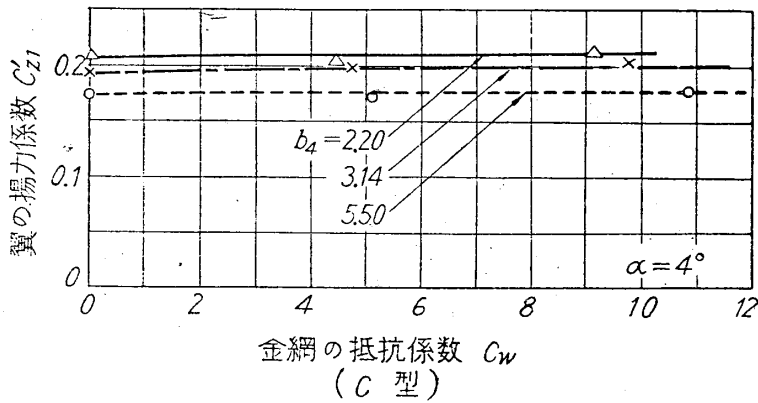
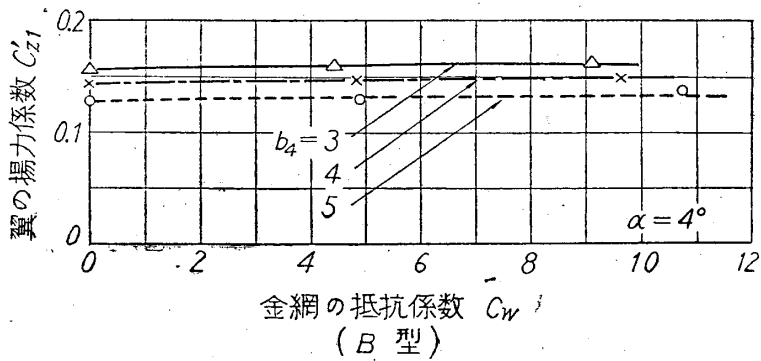
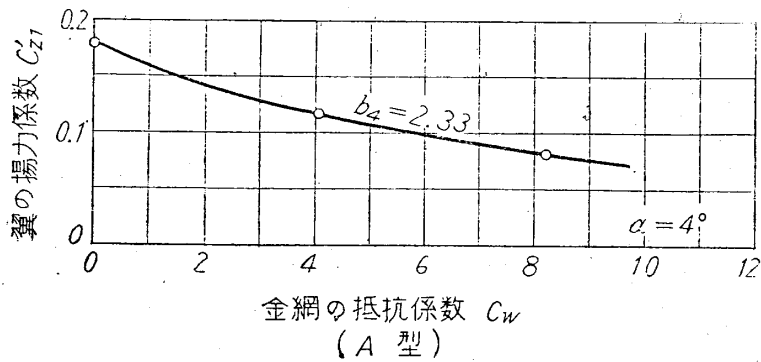


第11圖 金網の抵抗係数と翼の抵抗係数との関係

び C 型では温度上昇率の高い所が適してゐることが分る。然しこれについては更に翼の揚力係数、通過風速比等について合せて考慮しなければならない。

5.6 金網の抵抗係数と翼の揚力係数との関係

迎角 $\alpha = 4^\circ$ なる場合の金網の抵抗係数と翼の揚力係数との関係を第12圖に示す、



第12圖 金網の抵抗係数と翼の揚力係数との関係

A型は金網の抵抗係数が大きい場合揚力係数の減少が非常に著しいが、B型及びC型では金網の抵抗係数によつては殆んど変化を受けない。従つて揚力係数の側から考へてもA型は冷却器の温度上昇率の比較的に低い所が適し、B型及びC型は温度上昇率の高い所が得になる。故に温度上昇率の低い所が適してゐるA型は、B型或はC型に較べて装備效率が悪いことはこれらから大體推定されることである。

6. 装備効率

本実験に於ては冷却器の代用として金網を使用してゐるので、金網(或は冷却器)の抵抗係数と冷却器の放熱量との間の関係を知ることが必要である。冷却器の抵抗係数 C_w と温度上昇率 η_{th} との間には多数の実験結果から次の如き実験式が導かれた。

$$C_w = \frac{1}{f^2} \left(0.13 + 2.04 \log_e \frac{1}{1-\eta_{th}} \right) \dots\dots\dots (14)$$

但し f は冷却器の通過面積比であつて、本計算に於ては $f=0.7$ とした。

次に冷却器の重量であるが、冷却器の単位前面積當りの含水重量 W_1 は

$$W_1 = 0.1 + 3.43 \log_e \frac{1}{1-\eta_{th}} \text{ kg/dm}^2 \dots\dots\dots (15)$$

にて表はされる。

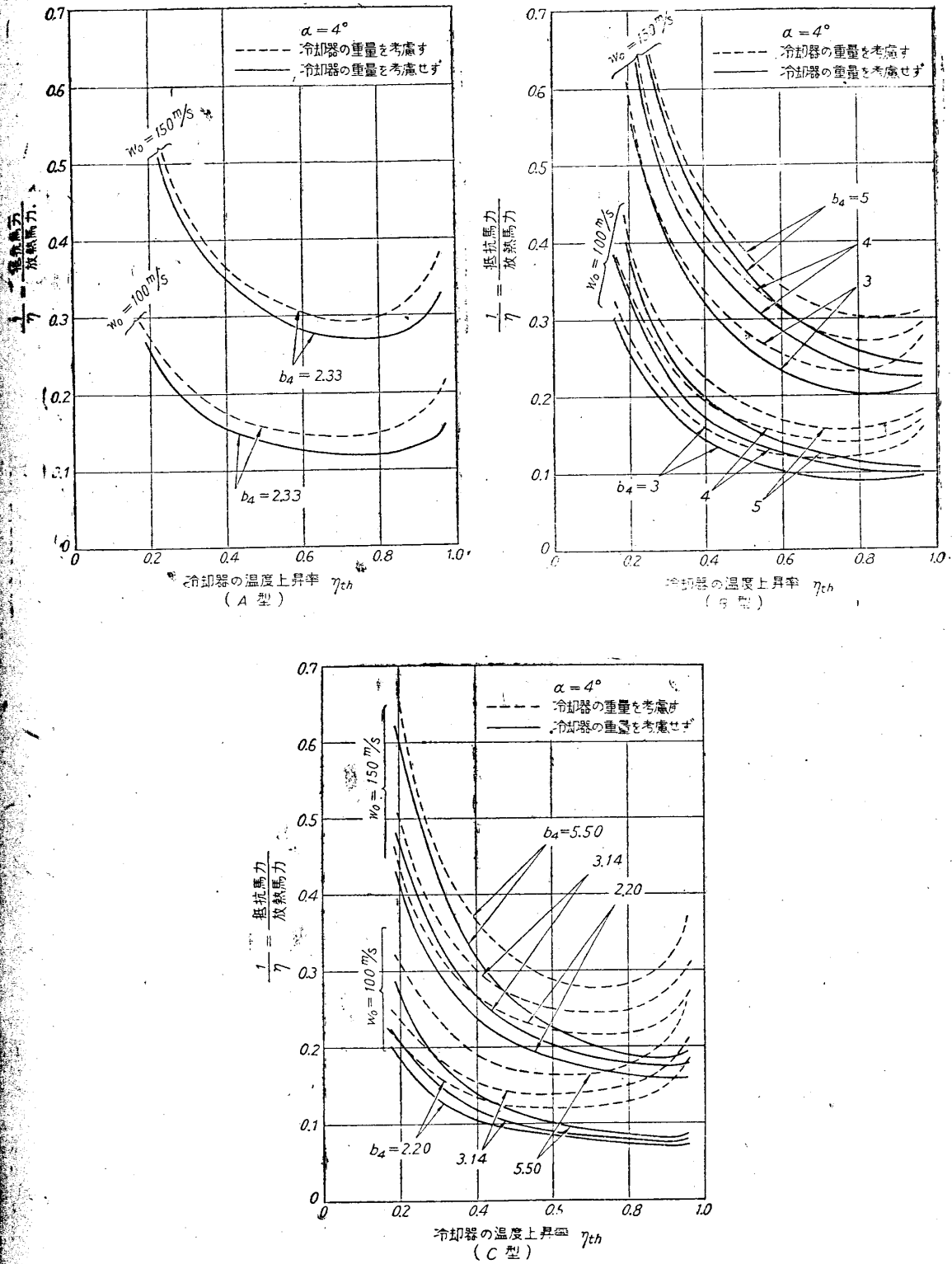
(14)及び(15)の兩式から各種の温度上昇率の冷却器の抵抗係数と重量が分り、一方第5圖、第11圖及び第12圖から冷却器の抵抗係数と通過風速比、翼の抵抗係数及び翼の揚力係数との関係が分るから、装備せる冷却器の各温度上昇率に対する通過風速比、翼の抵抗係数及び翼の揚力係数が分る。これらの値を(8)式に入れることによつて冷却器の各温度上昇率に対する装備効率を求めることが出来る。

今地上標準大氣に於て冷却器と冷却空氣との平均温度差 $\theta=65^\circ\text{C}$ なる時、 $w_0=100 \text{ m/s}$ 及び $w_0=150 \text{ m/s}$ なる場合につき装備効率を求めると第13圖のやうになる。但し何れも迎角 $\alpha=4^\circ$ の場合である、同圖の實線は冷却系の抵抗のみを考へた場合即ち(8)式の〔 〕の中の第2項のみを考へた場合で、點線は更に冷却器の重量を考へた場合で(8)式の〔 〕内の第1項と第2項の和である。

これらの圖を比較するに冷却器の重量を考慮せず冷却系の抵抗のみを考へる時はC型が若干優秀でA型が一番悪い。第6圖及び第7圖から分る如くB型は導風路の損失係数がC型よりも大きい。これはB型は導風路が翼の前縁から後縁迄延びておりその結果導風路が長いためである。従つてB型は通風量が減少し、又導風路外の抵抗は第10圖に示す如くB型はC型よりも大きく、更にC型は通風量が大きく導風路の損失が小さいために結局に於てC型の方が優れてゐることになる。A型は導風路が短いため第6圖及び第7圖に示す如く導風路の損失係数は少いが導風路外の抵抗が割合に大きく更に第12圖に示す如く翼の揚力係数の低下が著しいためにA型は他の型式よりも装備効率は悪くなつてゐる。又A型は温度上昇率の

1) 西脇：冷却器の装備法(第3報)(航研報告、第239號、昭和17年9月)。

2) 同上、



第 13 圖 裝備 效率

地上標準大気にて冷却空気と冷却器との平均温度差 $\theta = 65^\circ\text{C}$ の場合

大きい冷却器を装備すると空気流量が著しく減少し、揚力係数が非常に減少してくる。その結果温度上昇率の大きい冷却器を装備しても装備効率は大してよくなる。以上の理由により A 型は餘り優秀な装備方法とは云へない。B 型及び C 型は冷却器の温度上昇率の高いものを装備しても翼の揚力係数は殆んど變化せず抵抗係数は僅かに増大するに過ぎないから温度上昇率が高い場合程装備効率はよくなつてゐる。冷却系の抵抗のみから云へば A 型は $\eta_{th}=70\%$ 、B 型及び C 型は $\eta_{th}=80\sim 90\%$ 附近が優秀である。

冷却器の重量による影響であるが、これは (8) 式の第 1 項により表はされる。この影響を少なくするには勿論 C_x/C_z が出来るだけ小さいと同時に $\varphi \times \eta_{th}$ が大きいことが望ましい。A 型は導風路の抵抗少く通風量が大きいため重量による影響は他の型式に比して小さい。C 型では重量による影響が他の型式よりも大きい、これは C 型は翼の形状が A 型及び B 型と異り翼自身の C_x/C_z が大きいためである。従つて同一翼型を用ひておれば重量による影響はそれ程大きくはならず更によくなるのではないかと推定される。

次に冷却系の出口絞りの影響であるが、導風路内を流れる風による抵抗は、翼内に冷却器を装備した場合であつても勿論出口を絞つた程同一通過風速比に對して減少するが第 9 圖及び第 10 圖に示す如く導風路外の抵抗は出口を絞るに従ひ幾分増大しその結果翼全體の抵抗係数は出口を絞つても大して減少せず、又後述する如く出口を絞るに従ひ揚力係数の減少が著しく、更に又通風量の減少による放熱量の減少が大きいため、結局に於て冷却器を翼内に装備する場合は、出口を小さく絞つても得にはならない。

7. 干渉抵抗

7-1 抵抗の變化として考へた場合

冷却器を装備する場合考へなければならないことは、導風路内を流れる流れの運動量の變化に基く抵抗及び導風路を設け冷却風を流すために導風路の抵抗以外に生じた抵抗である。今この後者を干渉抵抗とし次のやうに表はす。

D' を冷却器を装備しこれを冷却しつつある時の翼の全抵抗とし、 D_0 を導風路を設けざる基本翼の全抵抗とすれば、導風路を設け冷却するために生じた全抵抗の増加は、

$$\Delta D = D' - D_0$$

となる。而してこの ΔD は更に導風路を流れる流れの運動量の變化に基く抵抗 D_R 、冷却系の重量増加に基く抵抗 D_W 及びそれ以外の抵抗 D_I とに分けられる。

$$\Delta D = D_R + D_W + D_I$$

この D_I を干渉抵抗と名付ける。

胴体内に冷却器を装備した場合は増加抵抗 ΔD は殆んど大部分は導風路内の流れの抵抗 D_R と重量抵抗 D_W であつて干渉抵抗 D_I は極く僅かである。

翼内に冷却器を装備した場合は見掛けの抵抗が増加すると同時に揚力が變化するから、この揚力の變化に基く抵抗を包含した全抵抗について上述のことを考へなければならぬ。

冷却器を翼内に装備した場合の全増加抵抗は (5) 式により與へられる。

即ち

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{C_{x0}}{C_{z0}} W_R + \frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R \left\{ (C'_{x1} - C_{x1}) + \frac{C_{x0}}{C_{z0}} (C_{z1} - C'_{z1}) \right\} \\ &= \frac{C_{x0}}{C_{z0}} W_R + \frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R \left\{ \Delta C'_{x1} + \frac{C_{x0}}{C_{z0}} \Delta C'_{z1} \right\} \dots\dots\dots (5') \end{aligned}$$

但し

$$\begin{aligned} \Delta C'_{x1} &= \text{抵抗係数の増加} \\ &= C'_{x1} - C_{x1} \\ \Delta C'_{z1} &= \text{揚力係数の減少} \\ &= C_{z1} - C'_{z1} \end{aligned}$$

一方導風路内を流れる流れの運動量の變化に基く抵抗係数は (13) 式にて表はされ、

$$C_{xR} = \frac{h}{c} \cdot 2\varphi (1 - b_4\varphi) \dots\dots\dots (13)$$

となる。従つて (5') の全増加抵抗を重量に基く抵抗、導風路の抵抗及び干渉抵抗の三抵抗に分けると、

$$\Delta T = \underbrace{\frac{C_{x0}}{C_{z0}} W_R}_{D_W} + \underbrace{\frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R C_{xR}}_{D_R} + \underbrace{\frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R \left\{ \Delta C'_{x1} - C_{xR} + \frac{C_{x0}}{C_{z0}} \Delta C'_{z1} \right\}}_{D_I} \dots\dots (5'')$$

従つて、

$$\begin{aligned} D_I &= \frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R \left\{ \Delta C'_{x1} - C_{xR} + \frac{C_{x0}}{C_{z0}} \Delta C'_{z1} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R C_{x0} \left\{ \frac{\Delta C'_{x1} - C_{xR}}{C_{x0}} + \frac{\Delta C'_{z1}}{C_{z0}} \right\} \end{aligned}$$

或は、

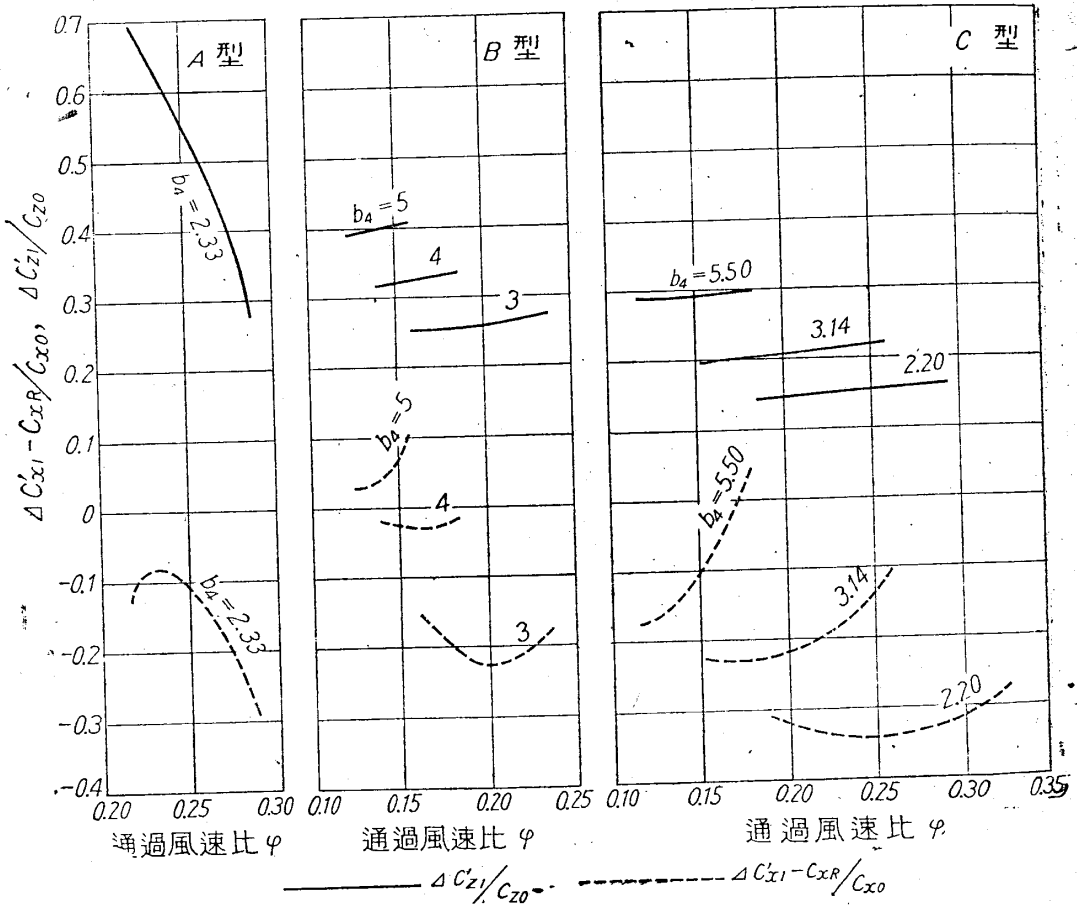
$$D_{0,R} = \frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R C_{x0}$$

とすれば

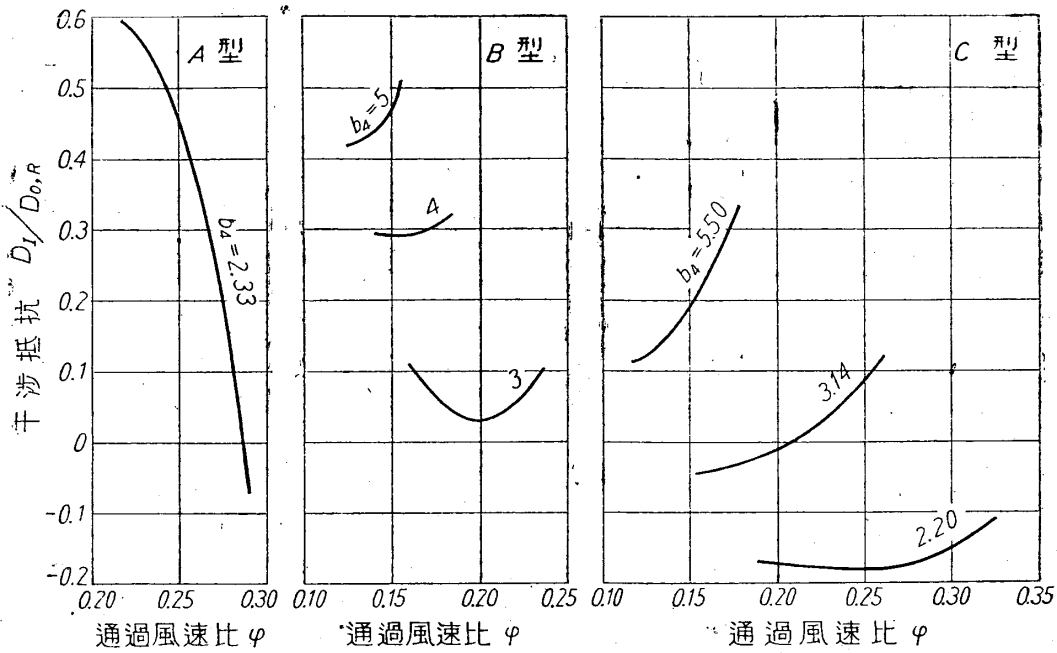
$$\frac{D_I}{D_{0,R}} = \frac{\Delta C'_{x1} - C_{xR}}{C_{x0}} + \frac{\Delta C'_{z1}}{C_{z0}} \dots \dots \dots (16)$$

冷却器を翼内に装備すると見掛けの揚力係数は原型の揚力係数に比し通常減少するから $\Delta C'_{z1}$ は大體正の値となる。従つて $\Delta C'_{z1}$ が C_{zR} よりも大きい範囲では D_I は常に正の値となり胴体内装備等の場合の如く D_I が殆んど零なる場合に比較して、かゝる場合は翼内装備の方が干渉抵抗が大きいことになる。今 $\frac{\Delta C'_{x1} - C_{xR}}{C_{x0}}$

と $\frac{\Delta C'_{z1}}{C_{z0}}$ との関係を各型について圖示すれば第14圖のやうになる。同圖に於て實線は $\frac{\Delta C'_{z1}}{C_{z0}}$ を示し、點線は $\frac{\Delta C'_{x1} - C_{xR}}{C_{x0}}$ を表はす。 $\frac{\Delta C'_{x1} - C_{xR}}{C_{x0}}$ と $\frac{\Delta C'_{z1}}{C_{z0}}$ との和即ち $\frac{D_I}{D_{0,R}}$ を第15圖に示す。



第 14 圖



第15圖 干渉抵抗

第15圖に於て $\frac{D_I}{D_{0,R}}$ が正なる場合は干渉抵抗が實際に存在する場合で、この時はかかる導風路を翼に無関係においた場合よりもこの干渉抵抗だけ餘分に抵抗は増加する。 $\frac{D_I}{D_{0,R}}$ が負なる場合は斯の如く翼内に導風路を設けると翼と別個に導風路をおいた場合よりも却つて抵抗は減少することになる。従つてこの時は、

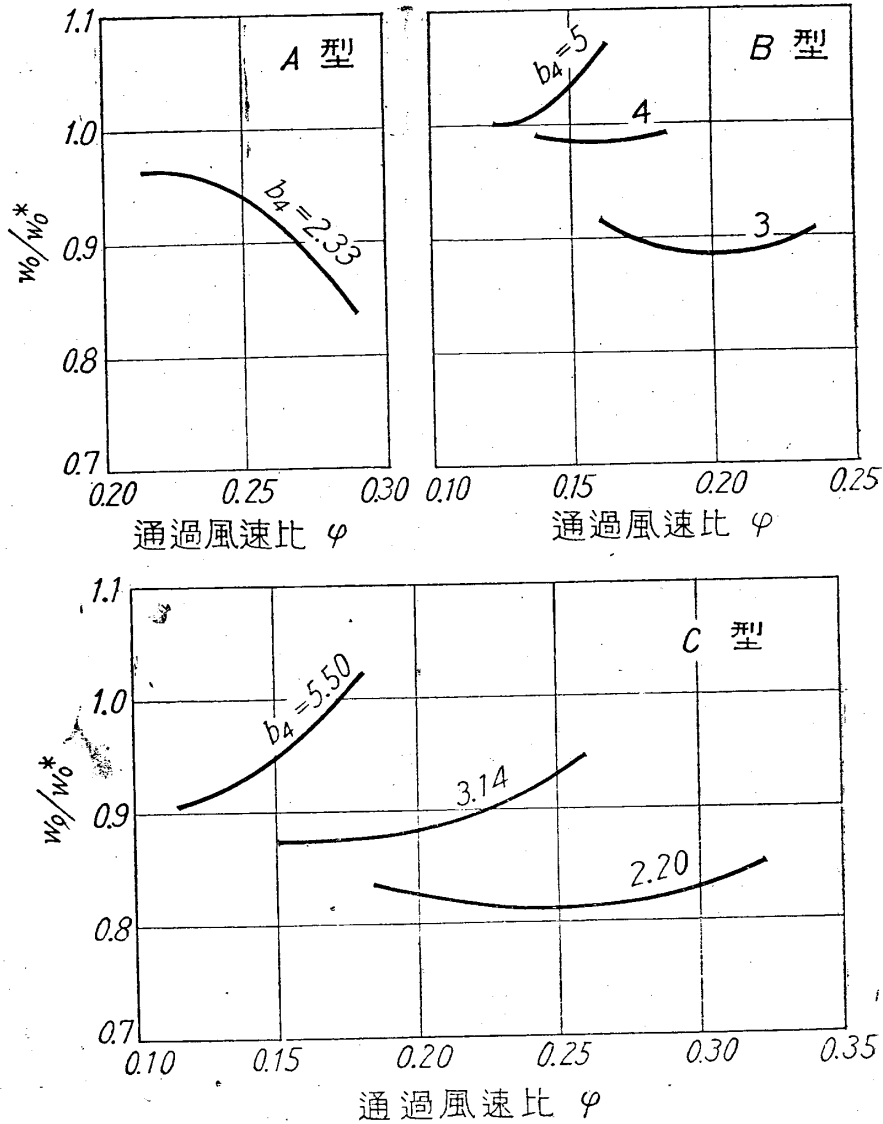
$$\frac{D_I}{D_{0,R}} \begin{cases} \geq 0 \\ < 0 \end{cases} \dots\dots\dots (17)$$

なる判定をすることによりその良否を知ることが出来る。

A型は通過風速比が大きい場合即ち温度上昇率の小さい冷却器を装備した場合は $\frac{D_I}{D_{0,R}}$ は負になり有利であるが、冷却器の温度上昇率を大きくし通過風速比が小さくなつた場合は $\frac{D_I}{D_{0,R}}$ は正となり且つ急激に干渉抵抗は増大する。B型は何れの場合も正となり不利であつて、特に出口を絞るに従つて干渉抵抗は増大する。C型は出口を小さく絞つた場合は干渉抵抗は正となるが、出口を大きくした場合は負となり、導風路を單獨に設けた場合よりも却つて抵抗は減少することになる。これは翼下面の流速が減速し下面の正圧増大が大きくなり揚力係数の減少が比較的の小さいためだと思はれる。又この場合も同一出口絞り比に於ては通過風速比が小さい場合程即ち冷却器の温度上昇率が大きい場合程干渉抵抗は減少してゐる。

7.2 揚力の變化として考へた場合

翼に導風路を設け冷却器を取付けた場合の全體の抵抗係数は C_{r1}' で、その中導風路を流れる流れによる抵抗係数は C_{rR} であるから、導風路を流れる流れ以外の流れによる抵抗は $(C_{r1}' - C_{rR})$ となる。即ちこれが導風路以外に働く抵抗となる。今この抵抗を原型の翼型にて一部分流れが外部に取去られたために（導風路内に流れは取去られるから）、翼に當る流速が變じたものとしてこの風速の變化を求めて見る。即ち、



第 16 圖

$$C_{x1}' - C_{xR} = C_{xW}'$$

とすれば、 C_{xW}' は導風路以外の翼の抵抗係数となり次式を得る。

$$\frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R C_{xW}' = \frac{1}{2} \rho w_0^{*2} S_R C_{x0} \dots\dots\dots(17)$$

即ち w_0^* は冷却器装備翼の導風路以外の抵抗に等しい抵抗を示す時原型翼に當る流れの風速である。上式から

$$\frac{w_0^*}{w_0} = \sqrt{\frac{C_{xW}'}{C_{x0}}} \dots\dots\dots(18)$$

C_{x0} 及び C_{xW}' は実験から分るから(18)式から $\frac{W_0^*}{W_0}$ が分る。これを圖示すれば第16圖のやうになる。

冷却器を翼内に装備した時、翼内を流れた流れのみの抵抗を別に考へれば、結局抵抗のみからは w_0^* なる風速にて原型翼に生ずる抵抗と同一であるから、もしこの時に翼内を流れた流れが揚力に全然影響を及ぼさないならばこの時生すべき揚力は $\frac{1}{2} \rho w_0^{*2} S_R C_{z0}$ となる。この揚力を風速 w_0 なる場合の揚力係数に換算すれば、

$$\frac{1}{2} \rho w_0^{*2} S_R C_{z0} = \frac{1}{2} \rho w_0^2 S_R C_z^*$$

即ち、

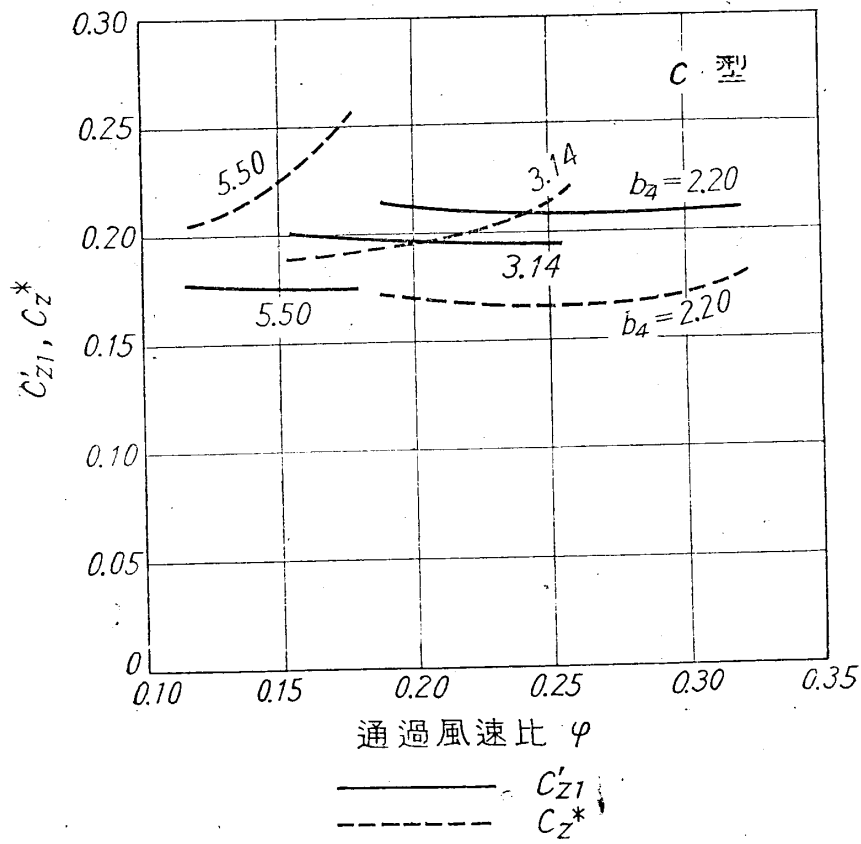
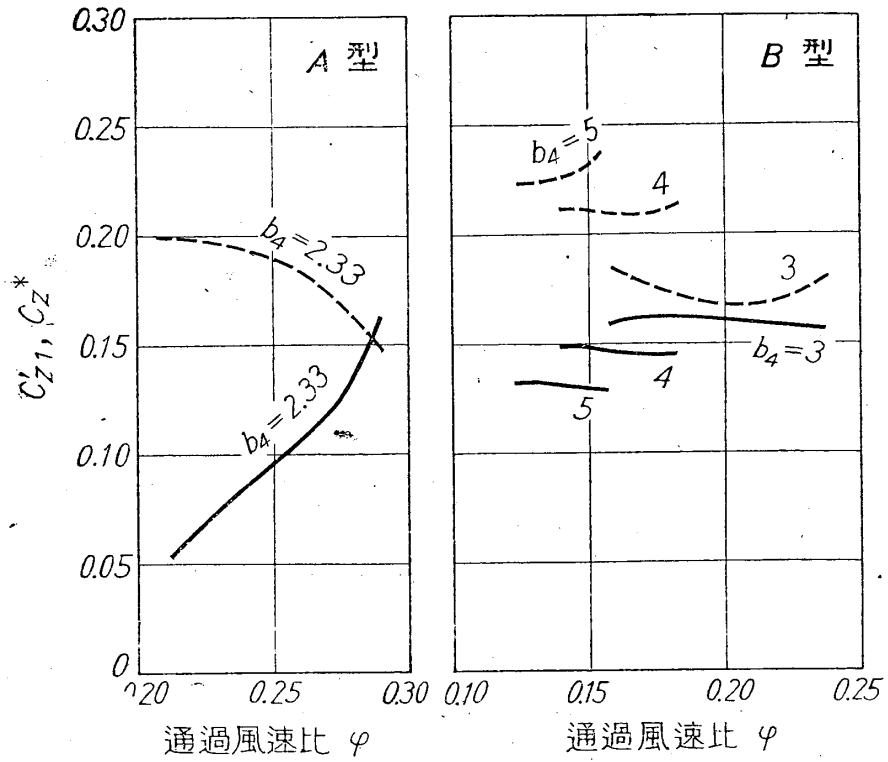
$$C_z^* = C_{z0} \frac{w_0^{*2}}{w_0^2} = C_{z0} \frac{C_{xW}'}{C_{x0}} \dots\dots\dots(19)$$

即ち導風路内を流れた流れが揚力に全然影響を及ぼさないならば風速 w_0 なる時測定さるべき揚力係数は C_z^* となる。然るに實際に於ては導風路内の流れが揚力にも影響を及ぼすので實際に測定された揚力係数は C_{z1}' となつてゐる。従つて C_z^* と C_{z1}' と比較して C_{z1}' が C_z^* よりも大きい時は導風路内の流れは揚力を増大する如く影響を及ぼし、 C_{z1}' が C_z^* よりも小さい時は揚力を減少させる如く影響を及ぼしてゐることが分る。即ち導風路内の流れが揚力に對してこれを増大させる如く作用してゐるか、減少させる如く作用してゐるかは次の判定式から分る。

$$C_{z1}' \begin{matrix} \geq \\ < \end{matrix} C_z^* \dots\dots\dots(20)$$

C_{z1}' と C_z^* の比較を第17圖に示す。

A型では $\varphi=0.285$ 以下では $C_{z1}' < C_z^*$ で導風路内の流れは揚力を減少させる如き作用を及ぼしてゐて、 $\varphi=0.285$ 以上で始めて揚力を増加させる如く作用することが分る。B型では何れの場合も $C_{z1}' < C_z^*$ でこの場合は導風路内の流れは何れも揚力を減少させる如く作用してゐる。C型では $b_4=2.20$ なる場合は何れも $C_{z1}' > C_z^*$ でこの時は揚力は増大し、 $b_4=3.14$ なる場合は $\varphi=0.208$ 以下では $C_{z1}' > C_z^*$ で揚力は増大してゐるが $\varphi=0.208$ 以上では $C_{z1}' < C_z^*$ で揚力は減少



第 17 圖

してゐる。 $b_1=5.50$ なる場合は常に $C_{z1}' < C_z^*$ でこの場合は揚力は常に減少してゐることが分る。又 C 型に於ても出口は出来るだけ絞らない方が有利であつて、もしもこのやうに C 型を使へば C 型は優秀な装備法である。

以上に於ては干渉抵抗を、(1) 抵抗の變化として考へた場合 (2) 揚力の變化として考へた場合、の二つに分けて考察した。即ち抵抗の變化として考へた場合は、

$$\frac{D_I}{D_{0,R}} \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} 0 \dots\dots\dots(17)$$

を考へることにより、これが正なる場合は實際に干渉抵抗が存在し、負なる場合は導風路を單獨につけた場合よりも却つて抵抗は減少するといふことが分つた。又揚力の變化として考へた場合は、

$$C_{z1}' \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} C_z^* \dots\dots\dots(20)$$

を考へることにより、 $C_{z1}' < C_z^*$ なる場合は導風路内の流れは揚力を減少させる如く作用し、 $C_{z1}' > C_z^*$ なる場合は揚力を増大させる如く作用することが分つた。然し (17) 及び (20) なる兩式による判定は、 $\frac{C_{z0}}{C_{z0}} = \frac{C_{z1}}{C_{z1}}$ なる場合は實は同一なることを云つてゐるのである。何となれば、(16)式より

$$\begin{aligned} \frac{D_I}{D_{0,R}} &= \frac{\Delta C_{z1}' - C_{z,R}}{C_{z0}} + \frac{\Delta C_{z1}'}{C_{z0}} \\ &= \frac{C_{z1}' - C_{z1} - C_{z,R}}{C_{z0}} + \frac{C_{z1} - C_{z1}'}{C_{z0}} \\ &= \frac{C_{z1}' - C_{z,R}}{C_{z0}} - \frac{C_{z1}'}{C_{z0}} \\ &= \frac{C_{z,W}'}{C_{z0}} - \frac{C_{z1}'}{C_{z0}} \\ &= \frac{1}{C_{z0}} \left(C_{z0} \frac{C_{z,W}'}{C_{z0}} - C_{z1}' \right) \\ &= \frac{1}{C_{z0}} (C_z^* - C_{z1}') \end{aligned}$$

即ち $\frac{D_I}{D_{0,R}} \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} 0$ は $C_{z1}' \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} C_z^*$ なることに對應することが分る。

8. 結 語

以上述べたことから分ることは冷却器を翼内に装備した場合は導風路内の流れによる抵抗の外に導風路外の干渉抵抗が相當重要な要素になる。導風路内を流れる流れによる抵抗は理論的に推定することが出来るが、導風路外の干渉抵抗については

今の所実験的に見出すより外に方法がない。

本実験に使用した各種の装備方法を一般的に比較すれば、*C*型の装備方法が最優秀と考へられるがこれは導風路内の損失が少いと同時に干渉抵抗が少いことに基因するものであつて、このやうな装備方法を用ふれば胴体内に装備した場合等よりも全抵抗は却つて減少させることが出来る。*B*型は干渉抵抗が非常に大きく導風路内の損失も大きく優秀な方法ではない。*A*型は導風路内の損失は割合に少いが干渉抵抗の變化が大きく特に温度上昇率の高い冷却器を装備すると干渉抵抗が大きくなる。*B*型及び*C*型は温度上昇率は出来る限り高い方がよい。(18. 8. 4)