



Title	風洞による着氷の研究 : IV. 風洞による翼型への着氷研究 (2)
Author(s)	高野, 玉吉; TAKANO, Tamakichi
Citation	低温科学, 5, 37-50
Issue Date	1950-12-25
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17470">https://hdl.handle.net/2115/17470</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	5_p37-50.pdf



## 風洞による着氷の研究 IV.\* 風洞による翼型への着氷の研究. (2)

高野玉吉

(北海道大學理學部 物理學教室)  
(低溫科學研究所 純正物理學部門)

(昭和23年5月受理)

### I. 緒言

本報告では前報の研究で不明であつた點や、疑問に思れた點を解決すると共に、氣象條件と着氷との關係を綿密に調べ、翼型着氷の實際の捕捉率を求めて、實機の着氷へと研究をすめた。

今回の研究で、實驗上前回と異なる所は、次の諸點である。翼型並びに實驗方法には何等變りはない。

- 1) 風洞の吸込口を南側とした。
- 2) 風速測定には四鹽化炭素を入れたu字管を用ひた。
- 3) 翼型は對稱翼に近いR型のみを用ひ、迎角を常に零とした。
- 4) 翼型表面のアルミニウム板の部分と木の部分とは同じ曲率平面とした。
- 5) 常に同一の氣象條件の下で風速を三段に變へた。
- 6) 着氷の顯微鏡的觀察を實施した。<sup>(1)</sup>
- 7) 霧水量は霧粒の大きさ及び單位體積中の個數より算出した。<sup>(2)</sup>
- 8) 着氷の重量測定には化學天秤を用ひた。

### II. 氣温と着氷の關係

氣温の高低によつて着氷の型が大體決定されることは既報の通りであるが、前回及び今回の實驗から風洞による着氷は、氣温との關係を大凡次の如く結論することが出来る。

- 1) 氣温が $-5^{\circ}\text{C}$ 以下 ( $T \leq -5$ ) では粗氷型となり風速の増加と共に不透明となる。  
氣温が $-5^{\circ}\text{C}$ 及至 $-3^{\circ}\text{C}$ の間では、風速が大なるとき、(30m/sec以上)は粗氷と雨氷の中間の型(粗氷~雨氷とかく)となり、風速が小なるとき(30m/sec~20m/sec)は雨

\* 北海道大學低溫科學研究所業績 第96號

氷型となる。

- 2) 気温が $-3^{\circ}\text{C}$ 以上 ( $T \geq -3$ ) の場合には雨水型から霰型に變り、霧粒の凍結しきれない部分は風壓により附着面を流れる。
- 3) 気温が $0^{\circ}\text{C}$ 以上 ( $T \geq 0$ ) の場合でも風速が大きい時には ( $60\text{m/sec}$ 以上) 着氷は生ずるが、霧粒が非常に細かい時には (半徑  $2\mu$  以下) 着氷は殆んど生じない。

第 1 表

月日	時刻	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	風速 ( $\text{m/sec}$ )	成長速度 ( $\text{mm/min}$ )	氷型	霧粒 半徑 ( $\mu$ )	霧水量 ( $\text{gr/m}^3$ )	着氷 範圍 ( $\text{mm}$ )	着氷量( $\text{gr/cm}^2/\text{sec}$ )		着氷 時間 ( $\text{min}$ )
									木	アルミ ニウム	
3.27	14.55	-4.3	22	0.15	粗氷霧	6(10)	0.22	11.5	0.008	0.007	15
	15.41	-5.3	44	0.21	粗氷	5(7)	0.11	28.0	0.012	0.012	〃
	16.04	-6.0	57	0.91	粗氷	5(7)	0.09	22.1	0.016	0.016	〃
5.29	05.25	-3.0	68	0.75	雨水	6(8)	0.17	27.0	0.109	0.09	8
	06.12	-2.8	48	0.40	〃	5(6)	0.24	17.0	0.035	0.034	〃
	06.57	-2.5	24	0.12	雨水 粗氷	5(5)	0.15	11.0	0.006	0.005	15
3.31	10.50	+0.5	81		雨水	6(6)	0.26				6
	11.05	0	56		〃	〃	〃				〃
	11.25	-0.1	29		雨水(霰)	〃	〃				〃
4.16	12.45	0	74	0.38	雨水	約 10					8
	13.05	0	52	0.06	〃						〃
	13.25	0	26		雨水(霰)	約 1					〃
	13.38	0	67	0.06	雨水						〃
4.21	08.30	-6.0	58	1.13	粗氷	5(7)	0.37	16.0	0.13	0.13	8
	09.10	-5.6	40	0.75	〃	〃	0.36	15.0	0.07	0.07	〃
	10.23	-5.2	19	0.25	粗氷 霧氷	〃	〃	9.0	0.013	0.013	〃
4.28	13.01	-2.0	51		雨水	7(8)	0.83	55.0	0.37	0.35	5
	13.31	-2.2	35		〃	6(7)	0.44	35.0	0.333	0.121	〃
	14.01	-2.2	16		〃	〃	0.43	19.0	0.025	0.025	〃
4.29	06.04	-2.7	58	0.71(木)	雨水 粗氷			39.0(木)	0.128	0.093	60
			35	0.53(アルミ ニウム)		32.0 (アルミニ ウム)					
3.28	17.25	-5.1	86	着氷有無試験							5

着氷を支配する氣象條件としては気温、風速、霧水量等があげられるが、気温及び風速が着氷の條件をそなへていても、空氣中に霧粒が全然ない全く快晴の日には、如何に風洞を廻しても着氷は生じない。(第一表着氷有無試験参照) 気温が $0^{\circ}\text{C}$  以上でも着氷が生ずると云ふことは既に Don Mcneal<sup>(3)</sup> により報告されているが、空氣中の相對湿度が 100% 以下だと

すれば理論的には説明出来る。Don Mcneal は結氷の最高温度は  $+0.2^{\circ}\text{C}$  といっている。筆者の今回の実験では気温  $+0.5^{\circ}\text{C}$  で霧水量は  $0.26\text{gr}/\text{m}^3$  風速  $81\text{m}/\text{sec}$  の場合であつた。若し空気の相対湿度が100%より少し小さいとしても、風速が大きいため翼型前縁附近に於ては空気の断熱冷却により、水滴は氣化し凍結が起るものと考へられる。寫眞 No.5はこの時の着氷をライカの接寫装置で撮影したものであるが凍り切れない霧粒は風壓により、翼面を流れている。又霧粒の非常に細かい時で視程悪く、(視程は霧粒が小さくなる程悪くなる<sup>(4)</sup>)、着氷条件が充分備はつていて、當然着氷現象があつてもよいと思はれた時でも、風洞を廻して着氷の生じないと云ふことがあつた。これは着氷の捕捉率は粒の直径の二乗で効いてくるから、霧粒が小さくなると捕捉率は極端に悪くなることによるものと思はれる。

### III. 風速と着氷量との關係

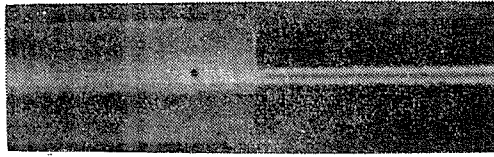
1) 着氷範圍，翼の迎角が増すと着氷範圍は増大するが同一の迎角でも着氷範圍は翼型によつて異なることは云ふ迄もない。これは各々の翼型の捕捉率が分れば必然的に知られることである。迎角一定 ( $\alpha=0$ ) の時R型についての風速と着氷範圍の關係を検べてみれば着氷しきれない霧粒が風壓のために押し流される様な場合は例外として一般に着氷範圍は着氷型の如何を問はず、風速に比例しその増加率は翼型により異なる値となる。今着氷範圍をR，風速をVとすれば  $R = CV$  であり、定数Cは翼型により各々決定される。又前回の實驗で各々の翼型の迎角が  $0^{\circ} + 4^{\circ} + 8^{\circ}$  の時、それ等の風速と着氷範圍の關係をみると、大體着氷範圍は風速の増加と比例の關係にある様にみえるが、これは迎角を増すことにより風洞風速が低下するためである。しかし結果からみると迎角の増加は着氷範圍を大ならしめ風速を低下させることになる。

2) 成長速度，風速と成長速度とは比例關係にあること、及び着氷のごくつき始めにはアルミニウムの方が成長速度の大きいこと、並びに翼型により成長速度(捕捉率)が異なること等については前回の研究で知られたが、今回の實驗で、どんな着氷型でも1mm以上伸びた氷を検べてみると、常に木の部分がアルミニウムの部分より伸び方が大きいことが分つた。長時間着氷させてみるとその差が可成著しくなる(寫眞 No. 20~No. 22 参照) 1時間連続着氷させてみると、着氷範圍は木の部分とアルミニウムの部分で、7mmの差を生じ、(木の部分が犬) 成長速度は木部の方が1分間0.71mmでアルミニウムの方は0.53mmとなり、0.18mm/min,の差を生じた。これは多量着氷の場合の材質の相異による影響として注目すべき事柄で、材質の熱傳導や、着氷の初期に於ける材質の表面の粗度が影響するものと思はれる。(本報告 III 参照)

R翼型について風速と成長速度との關係をみると、測定點のばらつきがみられるが測定點のばらつきは着氷型の相異によるものである。一般に粗氷型と雨水型ではちがつた傾向を示し雨水型では風速の變化に對しその變化は緩まんであり、粗氷型では鋭敏である。粗氷~雨

No. 1

正面



$$\times \frac{15}{45}$$

No. 2

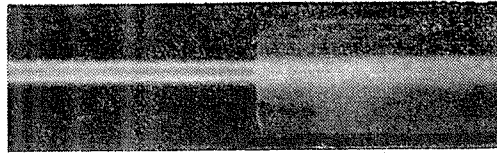
正面



$$\times \frac{9}{45}$$

No. 3

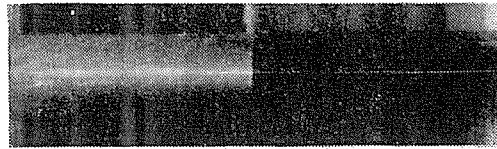
正面



$$\times \frac{15}{45}$$

No. 4

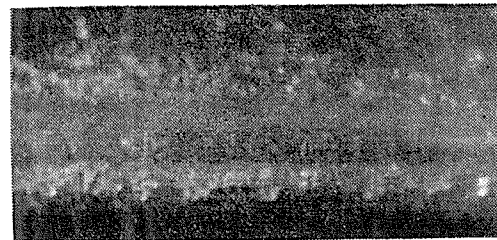
正面



$$\times \frac{10}{45}$$

No. 5

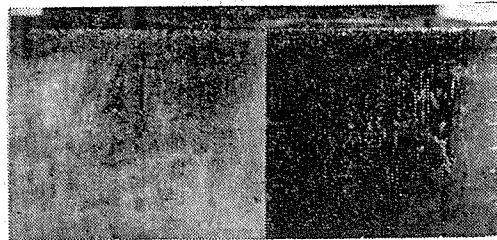
接寫



$$\times \frac{30}{45}$$

No. 6

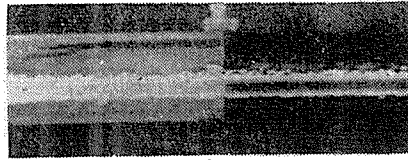
下面



$$\times \frac{10}{45}$$

No. 7

正 面



$$\times \frac{9}{4.5}$$

No. 8

正 面



$$\times \frac{1.0}{4.5}$$

No. 9

下 面



$$\times \frac{7}{4.5}$$

No. 10

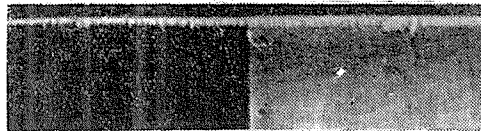
正 面



$$\times \frac{1.0}{4.5}$$

No. 11

上 面



$$\times \frac{1.0}{4.5}$$

No. 12

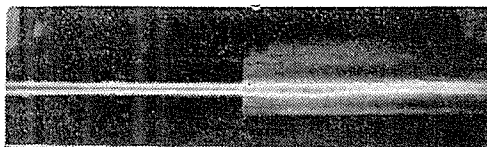
下 面



$$\times \frac{9}{4.5}$$

No. 13

正 面



$$\times \frac{1.0}{4.5}$$

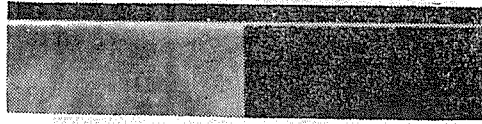
No. 14

上 面



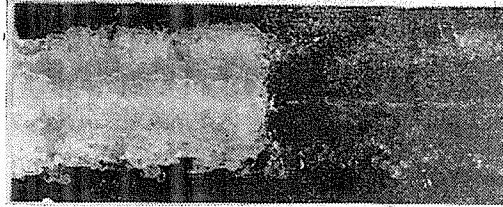
$$\times \frac{1.0}{4.5}$$

No. 15  
下 面



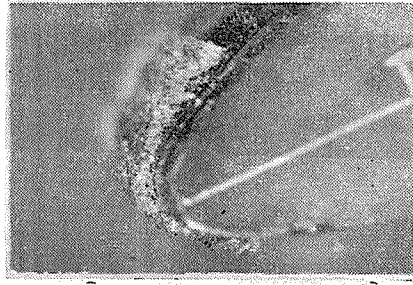
$$\times \frac{10}{45}$$

No. 16  
正 面



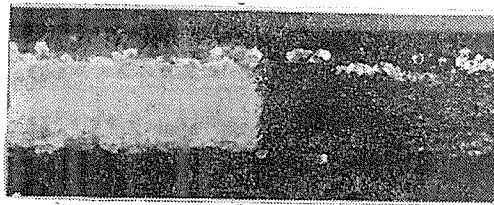
$$\times \frac{28}{45}$$

No. 17  
断 面  
(木)



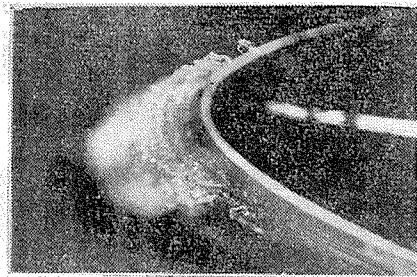
$$\times \frac{45}{45}$$

No. 18  
正 面



$$\times \frac{28}{45}$$

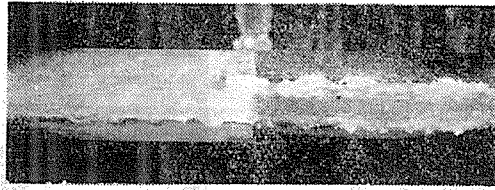
No. 19  
断 面  
(アルミニウム)



$$\times \frac{45}{45}$$

No. 20

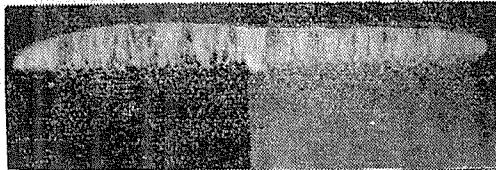
正面



$$\times \frac{11}{45}$$

No. 21

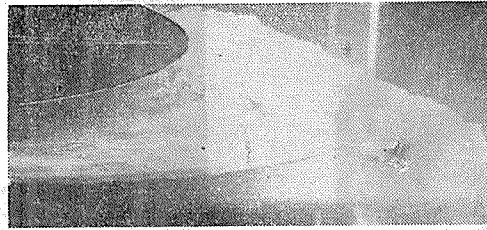
下面



$$\times \frac{8}{45}$$

No. 22

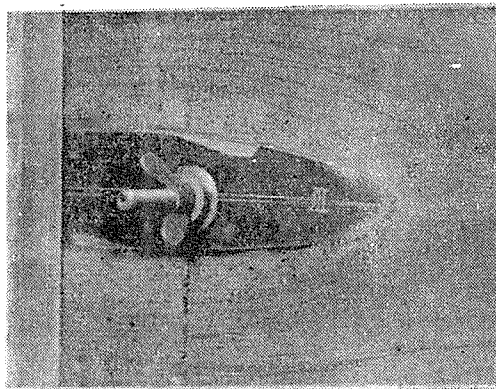
斜下面



$$\times \frac{20}{45}$$

No. 23

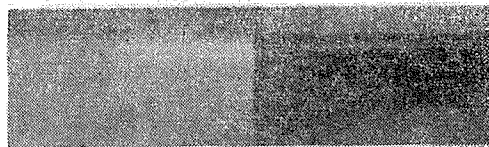
測定窓の流線



$$\times \frac{12}{45}$$

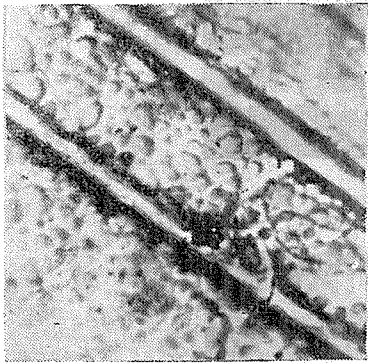
No. 24

正面



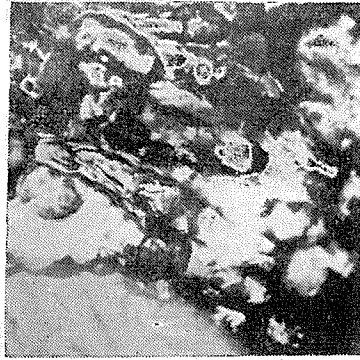
$$\times \frac{15}{45}$$

No. 25 (アルミニウム)



×28

No. 27



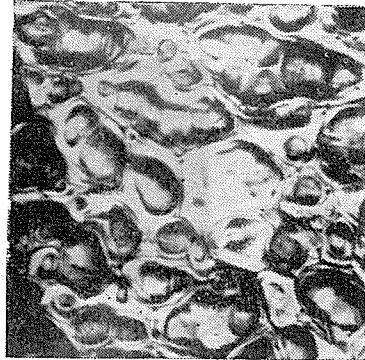
×27

No. 26 (木)



×28

No. 28



×27

氷型ではその中間に位置するもので、大體成長速度は風速に正比例して増大するものとみることが出来る。

3) 着氷重量 着氷量は捕捉率  $\alpha = f\left(\frac{Va^2}{r}\right)$  によつて決定されるが、同一翼型では 岐點の曲率半徑  $r$  は一定であるから、着氷量は風速と霧粒の大きさによつて決定される。

今第1表より風速と着氷重量との關係を検べてみると、同一實驗に於て一般に木の部分はアルミニウムの部分よりも、着氷重量が大きく風速の増加するほどこの差は甚だしい。今個々の曲線についての傾斜角を  $\beta$  とし  $\tan\beta = \frac{dW}{dV}$  とおけば  $\frac{dW}{dV}$  の大きくなるほど霧粒  $a$  の價が大きいとみてよい。(第1表参照) 3月29日の實驗では風速 68m/sec の木の部分とアルミニウムの部分の着氷重量差は最大で 0.15gr/cm であつた。この時の材質の表面をよくみると、アルミニウムの部分では、その表面が平滑で宛も熱いこての様なものゝ氷の面がなでられた様に、表面に細かい縞模様が入り、アバタが出来て凹んでいる。木の部分では反對にその表面に凸凹が出来て霧粒は一つ一つがとび出て氷結し、その粒の圓味がよくわかる。

VI. 寫眞版及び表の説明

今回の實驗では氣温が比較的高いため、多くは雨水型の着氷で典型的な粗氷型、或は霧氷型などはあまりみられなかつた。寫眞撮影には殆んどライカを用ひ、接寫装置を併用して着氷の細部をも觀察した。

第 2 表

寫眞版 No.	寫眞 No.	月日	氣温 (C°)	風速 (m/s)	氷 型	倍 率 (× 1/45)	附着力	備 考
I	1	3.27	-4.3	22	粗氷~霧氷	15	中	○岐點透明部分ノ巾 3mm
	2	"	-5.2	44	粗 氷	"	大	○" " 2mm
	3	"	-6.0	57	"	"	中	○" " 1.5mm
	4	3.31	+0.5	81	雨 氷	"	極小	
	5	"	"	"	"	30	"	○接寫撮影, 水滴流ル
	6	"	0	56	"	15	"	○水滴上下面共筋ヲ引イテ流レル
II	7	4.21	-6.0	58	粗 氷	9	大	
	8	"	"	"	"	12	大	
	9	"	"	"	"	11	大	
	10	"	-5.6	40	"	13	大	
	11	"	"	"	"	12	中	
	12	"	"	"	"	"	中	
	13	"	-5.2	19	粗氷~霧氷	11		
	14	"	"	"	"	12		
	15	"	"	"	"	13		
III	16	4.28	-2.0	51	雨 氷	28	小	
	17	"	"	"	"	45	小	○カビネ版撮影
	18	"	-2.2	35	"	28	小	
	19	"	"	"	"	45	小	
IV	20	4.29	-2.7	58	雨水~粗氷	11	大	○長時間着氷試験
	21	"	"	"	"	12	大	○" "
	22	"	"	35	"	20	大	○" "
	23	3.31	-0.1	29	雨水(曇)	12	極小	
	24	4.16	0	26	0	15	"	
V	25	3.27	-6.0	59	粗 氷	28×45		○顯微鏡寫眞
	26	"	"	"	"	"		○" "
	27	3.29	-3.0	16	雨 氷	38×45		○" "
	28	"	"	68	"	27×45		○" "

寫眞全般に亘つて一連番號を附し第2表にその分類を示した。表中附着力は大中小で表はしてある。この表で附着力大とは、着氷を翼型の上で指先で歪力を與へる様に押つけてみても容易に翼面からはなれない程度のもので、附着力小とはちよつと指先を觸れるとポロポロ

落ちる程度のものである。附着力中とはこの中間の強さをもつたもので、極小とは風圧のためまともに風を受ける部分にからうじて附いている程度のものである。この型の着氷は水分の多い雨水型に多い。着氷型で粗氷～霧氷又は雨水～粗氷とは各々その中間の型と云ふ意味である。

何れの寫眞もアルミニウムの部分と木の部分の境目を撮影したもので寫眞の向つて左側の地肌が白くみえる方がアルミニウム側である。紙面の關係上代表的なもののみについて以下説明する。

寫眞版 I) No. 1～No. 3 は同時刻の實驗のもので何れも翼型岐點部は透明でその兩側になるほど不透明となり、一番外側は小さい尾ひれ狀となつてゐる。

即ち氣溫が低いほど又風速が増して行くほど岐點部の透明度は減少して行き、(3mmから1.5mmとなつてゐる)着氷は霧氷型から粗氷型と變つて行く。この時の附着力は風速に大體比例する様であるが、これは氣溫が變らず着氷の性質が變化しない時のことである。No. 5 は着氷後直ちに風洞内で、接寫装置によりアルミニウムの岐點部分を撮影したもので、岐點部の着氷の様子がよく判る。この時の着氷は附着力が極めて弱く、風壓に耐えきれない部分は、着氷はじめてから5分位後で、一邊にちぎれとんだものである。No. 4 にみる様にまともに風をうける所では1本の細い筋となつて着氷が残つてゐる。No. 4, No. 5 の着氷は氣溫が0°C以上になつた時のものとして重要さがある。次第に氣溫が低下して行くと他の着氷の條件は變らないでも、全體の着氷量は増加して行く。寫眞 No. 6 は氣溫0°Cとなり No. 4 よりも風速が少し低下した時の着氷を翼下面から岐點部分にかけて撮影したもので、その時の凍り切れない水滴の流跡がよくみえてゐる。

寫眞版 II) No. 7～No. 15 は今回の實驗中に得られた唯一の粗氷型の例である。寫眞は一つの着氷を翼型の正面、上面、及び下面の三方向から撮影したもので、これを一組として三組撮影してある。この三組を比較してみると何れも岐點の翼上面は下面より着氷量が大で、全般の着氷量は風速の低下及び氣溫の上昇と共に減少してゐる。(第2表参照)この事は岐點の透明部分でも同様であり、氣溫の上昇と共に着氷型の移り變りの様子もみられる。

寫眞版 III) 今回の實驗中乾板(カビネ板)を用ひて撮影した唯一のものでその美麗さが寫眞全體に表はれてゐる。寫眞からうける感じは粗氷型の様に思はれるが、雨水～粗氷型の典型的なもので岐點部分に出來た兩側の尾ひれ狀の氷は相當に大きく、1本1本が獨立して翼面からは出ている。No. 17 及 No. 19 は各々着氷の斷面を作り、側面から撮影したものであるがこの様な尾ひれ狀の大きな着氷の場合は、非常に着氷範圍がはつきりと區切られてゐることが注目される。No. 16 にはみられないが、No. 18 ではアルミニウム部分で凍り切れない水滴が蠟狀に流れてみえてゐる。

この場合木の部分ではアルミニウムの部分より倍位流れたことが觀測された。又 No. 18 は No. 16 よりも氣溫が低下し霧粒は小さくなり霧水量は少なくなつたにも拘らず(氣溫は

—2.0°C から —2.2°C となる) 水滴の流跡をみたことは、風速の減少(51m/secから35m/sec となる)による影響と考へられる。

寫眞版 IV) No. 20~No. 22 は長時間の着氷試験によるもので、1時間の連続着氷の途中で風速の低下を防ぐため、12分間モーターの廻轉をとめ、偏流器の着氷を取除いた。然し着氷をはじめると時間の経つにつれ次第に偏流器の着氷が増すため風速は 58m/sec から 35 m/sec に低下したのである。No. 20, No. 22 は風洞内に取付けたまま着氷後直ちに撮影したもので、着氷は雨水~粗氷型である。

No. 21 は翼下面であるが寫眞にみる様にアルミニウム部分と木の部分とでは着氷量に相異のあることは明瞭に分る。No. 23 は 3月31日の實驗で測定胴の有機硝子窓を通して、翼側面から着氷の際の流線の模様を撮影したものである。寫眞にみられる様に霧粒の翼型岐點附近の流形がよくみられる。No. 24 は 4月16日の實驗である。

この時には霧粒が非常に細く(半徑 1 $\mu$ 程度)視程 100m 位であり、充分着氷の條件が備はつていながらも拘らず、風洞實驗では着氷の成長するのが認められなかつた一例である。

寫眞版 V) この寫眞は着氷の顯微鏡撮影である。No. 25, No. 26 は 3月27日粗氷の場合(前述寫眞 No. 3)のアルミニウム及木の部分の岐點の着氷表面である。No. 25 では岐點の兩側に 2本の筋が出来ている。そしてこの筋を境として兩側に霧粒の凍結がみられ、その中間になる部分で岐點の最先端では霧粒の翼面への衝突時間が短いため水滴が集つて凍結し全體の着氷は水滴の圓味が現はれている。この 2本の筋は薄い氷のフィルムで、この上に着氷は發達していない。即ちこの點は風壓が最少で風速最大となり、従つて温度の最も低下する場所である。<sup>\*</sup>木の部分ではこの様なはつきりした筋はみられなくて、これに相當する箇所には不規則な波狀の縞模様となつている。このことは他のすべての條件からみて材質の相異<sup>(5)</sup>によつて出来たものと思はれない。No. 27 は 3月29日の雨水の場合の自然風による着氷で No. 28 は、これは同じ時刻に實驗した風洞による着氷である。即ち 2枚の寫眞は同時刻の實驗であるから風速以外の着氷條件は全く等しい。従つて風速 50m/secの相異による着氷表面のちがいがよく現れてみえる。

第 1表の着氷範圍及び成長速度は何れも木の部分の測定で、アルミニウムの部分より幾分大きい値を示している。霧粒の大きさは半徑をミクロンで現はし、括弧内の數値は最大霧氷量を與へる粒の大きさを求めたものである。この値は捕捉率の計算の際に用ひた。着氷の有無試験は快晴の日に視程が無限大であると云ふ條件で、着氷が生ずるかどうかを試験するために行つたものである。第 3表は次に示す捕捉率の算出に關するものである。

\* これと同じ現象は 3月29日雨水型の時にもあつた。

第 3 表

月日	R (cm.)	S (gr/cm <sup>3</sup> )	V (m/sec)	t (sec)	a (μ)	M' (gr/cm)	M (gr/cm)	$\frac{va^2}{r}$ ( $\times 10^{-5}$ )	$\alpha'$ (obs)	$\alpha$ (calc)	$\frac{\alpha'}{\alpha}$	T (C°)
3.27	1.15	0.22	22	900	6(10)	0.12	2.97	0.58	0.039	0.22	0.18	-4.3
	2.80	0.11	44	//	5(7)	0.19	3.27	0.57	0.057	0.22	0.26	-5.3
	2.21	0.09	57	//	//	0.25	3.46	0.74	0.071	0.32	0.22	-6.0
3.29	2.70	0.34	68	480	6(8)	0.87	4.16	1.10	0.105	0.45	0.23	-3.0
	1.70	0.24	48	//	5(6)	0.28	4.15	0.46	0.068	0.18	0.38	-2.8
4.21	1.60	0.37	58	480	6(7)	1.00	7.73	0.75	0.13	0.32	0.41	-6.0
	1.50	0.36	40	//	5(7)	0.55	5.20	0.52	0.11	0.22	0.50	-5.6
	0.90	//	19	//	5(7)	0.10	2.46	0.25	0.04	0.08	0.50	-5.2

## V. 翼型の捕捉率

霧粒の捕捉率は Albrecht の理論によると、 $\alpha = f\left(\frac{va^2}{r}\right)$  によつて決定される。この理論は無縁遠圓筒に對するものであるから翼型に直接導入してよいかどうかは疑問である。ここでは Albrecht と略々同様な理論に基いて計算された今井氏の價<sup>(6)</sup>を用ひて翼型の捕捉率を求め實驗値と比較してみた。次にこれを述べる。

今式の符號を次の如く表はす。

$\alpha$  : 計算による捕捉率 (今井氏によるもの)

$\alpha'$  : 實驗により求めた捕捉率

M : 單位時間中に單位面積内に捕捉されるべき霧水量 (gr)

M' : 翼に捕捉された霧水量 (gr/cm/sec)

R : 着氷範圍 (Cm) 測定量

$\rho$  : 霧水量 (gr/cm<sup>3</sup>) 測定量

V : 平均風速 (m/sec) 測定量

a : 霧粒半徑 (Cm) 測定量

r : 翼型斷面の最大部分の長さ (Cm)

t : 時間 (sec.)

翼の斷面の前方にある霧粒が全て翼に衝突するものと假定すると、 $M = r \cdot \rho \cdot V \cdot t$  は單位時間中に翼の單位面積に衝突する霧水量となる。R翼型では  $r = 7.5\text{Cm}$  で t は着氷時間をとつた。今岐點附近だけの着氷を問題にしているから前縁の曲率半徑を使へばよい様に考へられるが、圓筒に對する理論を應用する場合には、翼斷面の最大部分を用ひるのが至當であらう。

Mの値と実際に捕捉された着氷量とから捕捉率  $\alpha'$  は

$$\alpha' = \frac{M'}{M}$$

即ち  $\alpha'$  から翼に捕捉されるべき筈の霧粒が、幾パーセント実際に捕捉されたかがわかる。別に霧粒の半径及風速等から  $\frac{Va^2}{r}$  を求めて今井氏の捕捉率曲線より  $\alpha$  を算出した。

$\alpha$  及  $\alpha'$  から  $\frac{\alpha'}{\alpha}$  を出してみると、大體 0.2~0.5 で平均 0.26 となり、実際に捕捉された霧粒は計算値の 1/2 から 1/5 の値となつた。

計算値並びに測定値を第 3 表に示す。

次に零式戦闘機の翼の大體の捕捉率を計算してみる。飛行速度を時速 550m/sec として霧粒の大きさを  $7\mu$  (半径) 翼の最大断面を 35Cm (翼取付點より 1.5m の位置) とすれば  $\alpha=0.72$  となる。即ち風洞実験による R 翼型計算値の約 3 倍の捕捉率となる。然し實際飛行機による着氷がどの程度のものかはあまり判つきりわからないから、翼型の如く計算値の 1/5 位になるか否かは疑問である。

## VI. 結 論

以上の研究によつて着氷風洞による翼型着氷の機構は一通り分つた。次にその主要なる點を述べる。

### 1) 気温(T)と着氷型との關係

$T \leq -5^{\circ}\text{C}$  なるときは一般に粗氷型となり風速が増加すると着氷の附着力は増す。

$T = -5^{\circ}\text{C} \sim -3^{\circ}\text{C}$  なるときは風速が大なる程 (大體 30m/sec 以上) 着氷は粗氷~雨氷型となり、風速小なるときは (20m/sec~30m/sec) 雨氷型となる。

$T \geq 0^{\circ}\text{C}$  なるときでも風速が大きければ着氷は生ずる。

### 2) 風速と着氷範圍

(a) 一般に迎角に關係なく着氷範圍は風速に比例する。

(b) 迎角が零度より増減されるとき風速一定でも着氷範圍は増加する。

(c) 着氷範圍  $R = CV$  とおけば定數 C は翼型により各々決定される。

### 3) 材質と着氷量

(a) 成長速度並びに着氷重量は、共に木の方がアルミニウムよりも多く、風速が増加するほどこの傾向は大きい。

又着氷範圍は材質により大差ない。

(例)	成長速度	$\left\{ \begin{array}{l} \text{木} \\ \text{アルミニウム} \end{array} \right.$	0.71mm/min
			0.53mm/min
	着氷重量	$\left\{ \begin{array}{l} \text{木} \\ \text{アルミニウム} \end{array} \right.$	0.109gr/cm/sec
			0.09gr/cm/sec

- (d) 成長速度は風速と比例関係にあるが、雨水型は粗氷型よりも成長は緩慢である。
- (e) 着氷重量と風速の間には  $\tan \beta = \frac{dW}{dV}$  とおけば  $\tan \beta$  の値と霧粒  $\alpha$  とは比例関係にある。

#### 4) 捕捉率

(i) R翼型の捕捉率は計算値で平均0.23 実験値で平均0.06となる。即ち実際には計算値の1/4程度しか着氷しない。

(ii) 実際の飛行機の捕捉率は計算値で0.72となるから前述と同様実験値と比例関係が成立するものと假定すれば、実際の捕捉率は0.18となる。

#### 5) 寫眞版による結果

- (i) 岐点部分の透明度は風速の増して行くほど明瞭となる。
- (ii) 他の氣象条件同一の時には風速が増せば粒の衝突時間は短少され、斷熱冷却は進むけれども、これに伴つて凍結はそれほど進まないから結果に於て霧粒の表面の流れ方が増す。
- (iii) 粗氷型では氣温が低くなり、風速の増加するほど着氷量、着氷範圍及び附着力は増加する。

(iv) 霧粒の非常に細かい時には着本しがたい。

本報告の寫眞撮影は日本映畫社湯川氏の手によるものである。

## 文 献

- 1) 小口八郎 未發表、顯微鏡的構造による着氷の分類
- 2) 小口八郎 1949, 霧粒の大きさ及び数の測定法について, 低溫科學, 2, 105.  
小口八郎 未發表, 着氷と氣象条件
- 3) Mcneal Don. (野間口譯) 1927 大氣中の氷結, 空廠雜報 No. 299
- 4) Trabert, W. 1901 Die Extinction des Lichtes in einem trüben Medium (Schweite in Wolken). Met. Zeit. 18, 518.
- 5) 高野玉吉 1950 各種材質への着氷の研究 低溫科學, 5, 21.
- 6) Albrecht, F. 1931 Theoretische Untersuchungen über die Ablagerung von Staub aus strömender Luft und ihr Anwendung auf die Theorie der Staubfilter. 32, 48.
- 7) 今井一郎 1942 霧粒の捕捉について 中央氣象台彙報, 8月.

## R é s u m é

Further and detailed experiments were carried out in the next winter. The subjects described in III were reexamined. Many microphotographs of ice or fog deposits were taken and the relation between their structures and wind velocity were thoroughly studied.