

## 亂れの減衰に関する豫備實驗

所 員 谷 一 郎  
 技 手 竹 田 建 二  
 技 手 三 石 智

### 序 言

一様な氣流の中に金網を入れて亂れを作る場合には、亂れの強さは金網から下流に遠ざかるに従つて減衰する。亂れの減衰の法則は、Taylor (文献 2) によつて理論的に

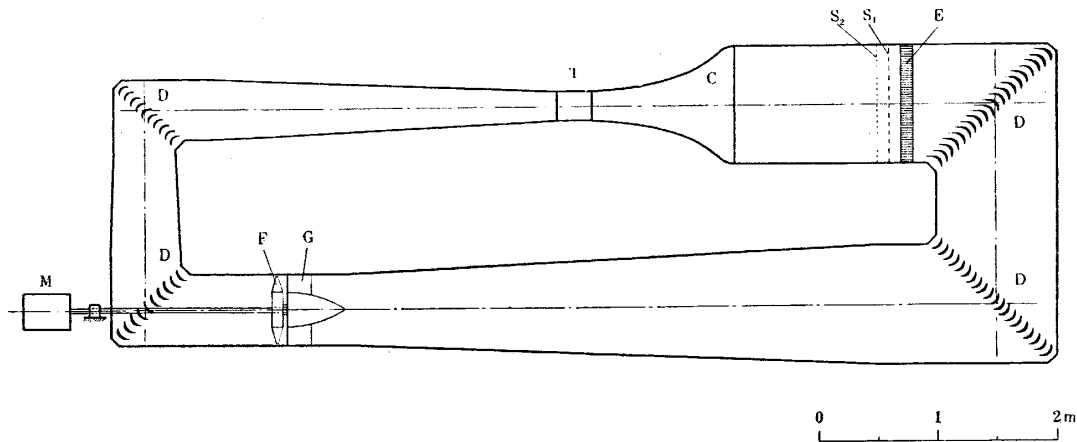
$$\frac{U}{u} = \frac{5}{A^2} \frac{x}{M} + \text{const}$$

の形で豫測せられ、その正しい事が Dryden 等 (文献 3) によつて實驗的に證明された。茲に  $U$  は氣流の平均速度、 $u$  は主流方向の變動速度の自乗平均平方根、 $x$  は金網から下流の距離、 $M$  は金網の間隔、 $A$  は金網の幾何學的形狀に關係する定數で、特に方眼金網に對しては 2 に近い値を示す。従來實驗された  $M$  の値は 6mm 乃至 130mm の範圍に亘るが、この範圍以下の  $M$  に對しても同じ法則が成立つか否かを吟味することは、單なる興味の問題であるに止まらず、實際上の價値に於いても乏しくないであらうと考へられる。何故なら  $M$  が小さければ、僅かの距離で減衰が著しく、斯様な細かい眼の金網は氣流の亂れを減らす目的に利用出来るであらうと考へられるからである。風洞の氣流の亂れはなるべく僅かである事が望ましいが、特に金網による亂れを測定する様な場合に、その要求が切實になるのである。

普通に  $u$  を測定するには、熱線風速計に生ずる電壓の變動を記録する。併し金網の下流に生ずる様な等方性亂れの場合には、主流に垂直の方向の變動速度の自乗平均平方根  $v$  も亦  $u$  に等しいから、 $u$  の代りに  $v$  を測定することにしてもよい。 $v$  を測定するには、氣流に垂直に張つた細い熱線からの熱擴散を測定すればよく (文献 1, 2)、その測定は熱線風速計の技術に比べて遙かに容易である。それ故筆者は、先づこの方法を用ひて金網による亂れの減衰を測定し、金網として特に  $M$  の小さいものを使用することにした。氣流に固有の亂れを僅かにしたいので、特に新しく小型風洞を設備する必要を生じた。茲に報告する内容は、この風洞の設備に關して行つた豫備實驗の結果である。

### 風 洞 設 備

専ら亂れの測定に使用する目的で、第 1 圖に示す小型風洞を設計し、東京製作所に命じて製作せしめ、風洞部地下室に設置した。木製、閉鎖回歸風路型、送風機の附近を除いて斷面はすべて正八角形である。毎分回轉數 2600 で出力 3 馬力の直流電動機により、直徑 60cm の 6 翅プロペラ送風機を驅動し、内接圓直徑 25cm の測定斷面に於いて最大風速 54m/s が得られる。氣流に固有の亂れを僅かにするために意を用ひた點として、先づ普通の整流器 (方



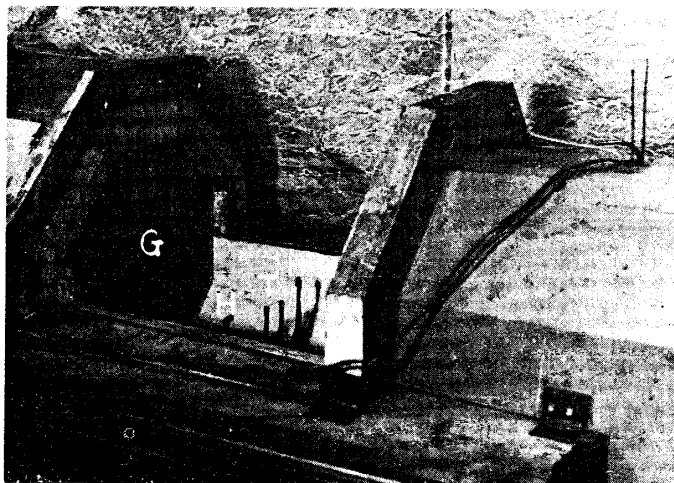
第1圖. 風洞概略. D 偏流板, E 整流器,  $S_1$  及び  $S_2$  金網, C 絞り, T 測定洞, M 電動機, F 送風機 G 導風板.

眼, 間隔 10mm, 奥行 10cm) の下流に金網  $S_1$  (網眼 1mm) 及び  $S_2$  (網眼 0.5mm) を置き, 次に  $S_2$  から絞りまでの間に長さ 120cm の平行部分を設け, 最後に絞りを面積で 16:1 に縮めた事などが挙げられる. この結果風洞の長さが増加し, 中心線の全長は測定断面直径の 70 倍を越えるが, この長さとも場處の関係で妥協した値である事を記して置きたい.

測定洞は長さ 30cm, 平行洞ではあるが長さが短いために, 流れの方向の静圧分布は略一様であつた. 即ち静圧の平均値からの偏差は平均動圧  $q$  の  $\pm 2\%$  以下, 局部的静圧勾配の最大値は  $\pm 0.008q/cm$  の程度である. 又絞りが著しいために, 流れに垂直な断面内の動圧分布は殆ど完全に一様であつて, 壁面の厚さ約 10mm の境界層の部分を除けば, 動圧の平均値からの偏差はその 0.4% 以下である. 壁面の境界層が厚いのは, 閉鎖型風路の特徴として止むを得ないことと思はれる.

### 熱拡散の測定及び解析

熱拡散測定装置は, 熱源とその下流の温度分布を測定する計器とから成立つ. 熱源として直径 0.03mm, 長さ 12cm の白金線を氣流に垂直に且つ水平に張り, これを約 0.6amp の電流によつて加熱する. 白金線は U 字型の支持具に張り, その一方の端に滑車を越えて重錘を吊つて, 熱膨脹による弛みを防ぐ. 熱源の下流の温度を知るには, マンガン及びコンスタンタン線を 0.1mm 程度の太さで熔接した熱電對を用ひ, 起電



第2圖. 測定洞 (上半を外す), G 供試金網, HH 白金線支持具 T 熱電對, C 冷接點支持具.

力を鋭感電流計及び低電圧電位差計によつて測定する。熱電對をマイクロメーターで上下に微動的に移動させ、熱源の下流の熱伴流の溫度分布を求めた。氣流の平均溫度が僅かながら刻々に増加するので、冷接點は氷點とせず、熱伴流の外側（熱源の影響を受けぬ部分）の氣流中に置くことにした。

測定した溫度分布の實例を第3圖及び第7圖に示す。茲に  $U$  は平均風速、 $\xi$  は熱源から下流の距離、 $\eta$  は熱源から上方の距離、 $\theta$  は熱伴流外の値から測つた溫度である。 $\theta$  には  $^{\circ}\text{C}$  の他に、起電力としての目盛も記してある。

このやうな圖から分散

$$\overline{Y^2} = \int_{-\infty}^{+\infty} \theta \eta^2 d\eta + \int_{-\infty}^{+\infty} \theta d\eta$$

を求め、それから分子擴散によるもの

$$\overline{Y_m^2} = \frac{2\lambda}{\rho c_p} \frac{\xi}{U}$$

( $\rho$ : 密度,  $c_p$ : 定壓比熱,  $\lambda$ : 熱傳導率) を差引いて、亂れによる分散

$$\overline{Y_t^2} = \overline{Y^2} - \overline{Y_m^2}$$

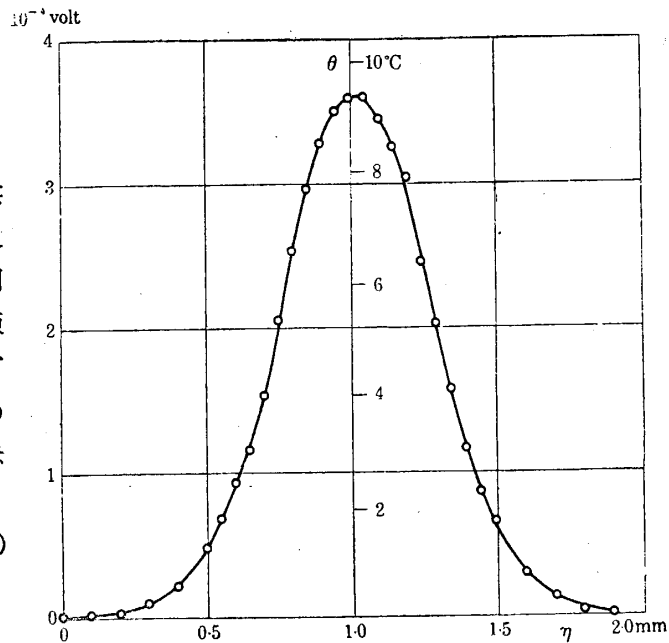
を計算する。 $\sqrt{\overline{Y_t^2}}$  を  $\xi$  に對して描き、 $\xi=0$  で接線を引けば、その傾きによつて熱源の位置に於ける亂れの強さが與へられる。即ち

$$\frac{v}{U} = \lim_{\xi \rightarrow 0} \frac{1}{\xi} \sqrt{\overline{Y_t^2}}$$

### 風洞氣流の固有の亂れの測定

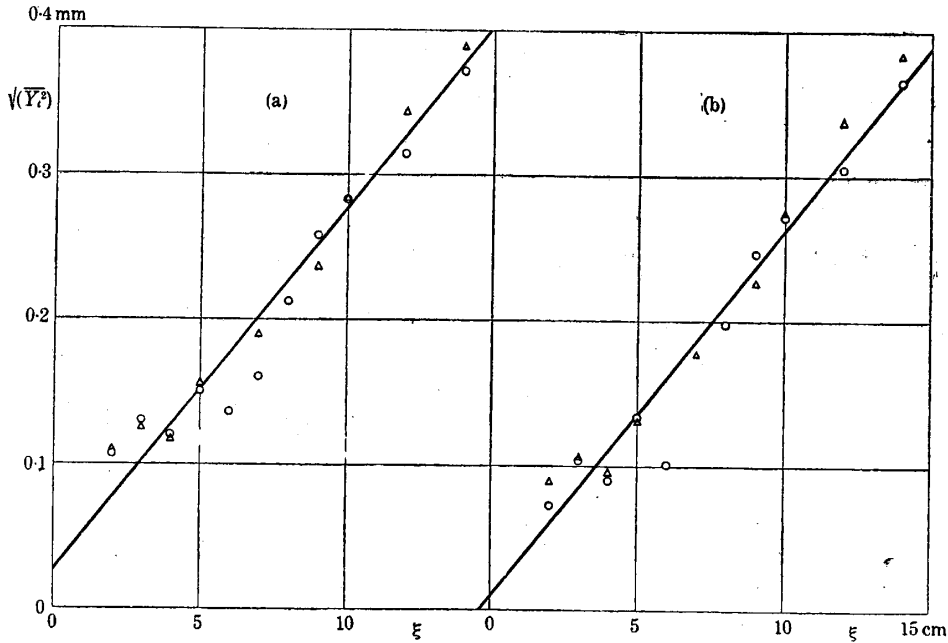
先づ整流器の下流の細かい金網  $S_1$ ,  $S_2$  の効果を調べるために、金網を全然入れぬ場合、 $S_1$  を入れた場合、 $S_1$  及び  $S_2$  を入れた場合に就いて、測定洞に於ける熱擴散の測定を行つた。熱源の位置は測定洞の前端から 13.5cm 下流である。 $S_1$  及び  $S_2$  を入れた場合の熱伴流の溫度分布の實例を第3圖に示した。

溫度分布から前述の方法で  $\sqrt{\overline{Y_t^2}}$  を求め、これを  $\xi$  に對して描くと、第4圖乃至第6圖の(a)が得られる。この對應では  $\xi=0$  で  $\sqrt{\overline{Y_t^2}}=0$  とならぬが、その原因は熱源が有限の太

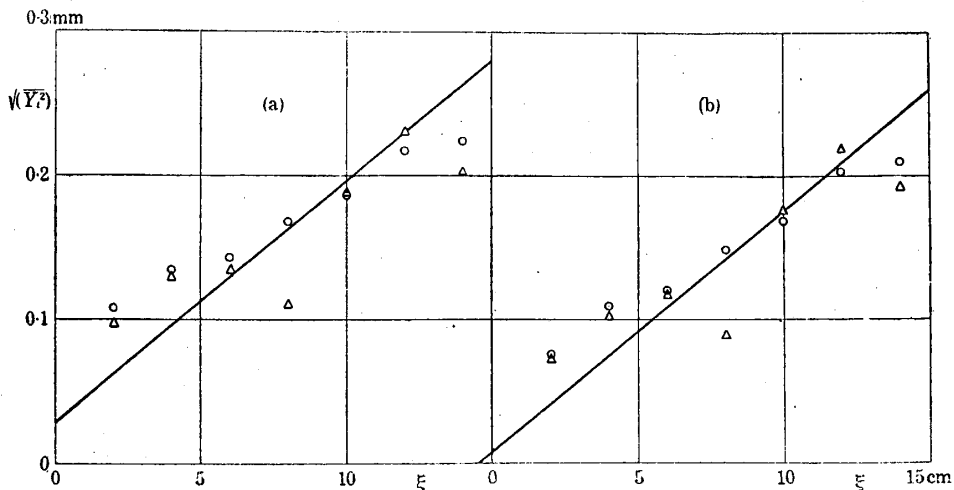


第3圖. 整流器の下流に金網  $S_1$  及び  $S_2$  を入れた場合の熱伴流曲線.  $U=25\text{m/s}$ ,  $\xi=4\text{cm}$ .

さを持つ事に因るものと考へられる。それ故原點を  $\delta$  だけ上流にすらせ、 $\bar{Y}_m^2$  を  $\xi + \delta$  に對して計算して  $\bar{Y}_i^2$  を求め、その結果が  $\xi = -\delta$  を通るやうに  $\delta$  を探索して、平均値  $\delta = 0.4\text{cm}$  と採ることにした。斯様な修正を施した結果は、第4圖乃至第6圖の (b) に示す通りであつて、これから  $v/U$  の値を求めれば、金網を入れぬ場合 0.0027,  $S_1$  を入れた場合 0.0013,  $S_1$  及び  $S_2$  を入れた場合 0.0008 となる。平均風速 25m/s と 36m/s との差違は殆ど見られない。測定値の散亂は著しいが、それにしても、細かい金網によつて氣流の亂れを減ずる可能性を示すには十分であらうと思はれる。尙測定値の散亂が著しいのは、 $\bar{Y}_m^2$  が  $\bar{Y}^2$



第4圖. 金網を入れぬ場合の熱擴散測定結果. (a) 原點未修正, (b) 原點修正済.  
 ○は  $U=25\text{m/s}$ , △は  $U=36\text{m/s}$ .



第5圖. 金網  $S_1$  を入れた場合の熱擴散測定結果. (a) 原點未修正, (b) 原點修正済.  
 ○は  $U=25\text{m/s}$ , △は  $U=36\text{m/s}$ .

の大部分を占める事に因るのであるから、熱拡散の測定によつて、この程度以下の僅かな亂れを求める事は、最早困難であらうと思はれる。

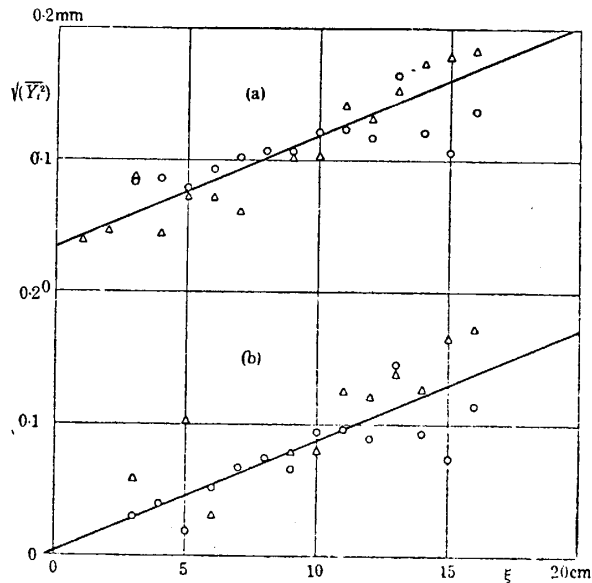
使用した金網は可也網眼の細かいものであつたが、挿入場所の風速が低いために、風洞の効率の低下は極めて僅かであつた事を附記したい。

### 金網の下流の亂れの測定

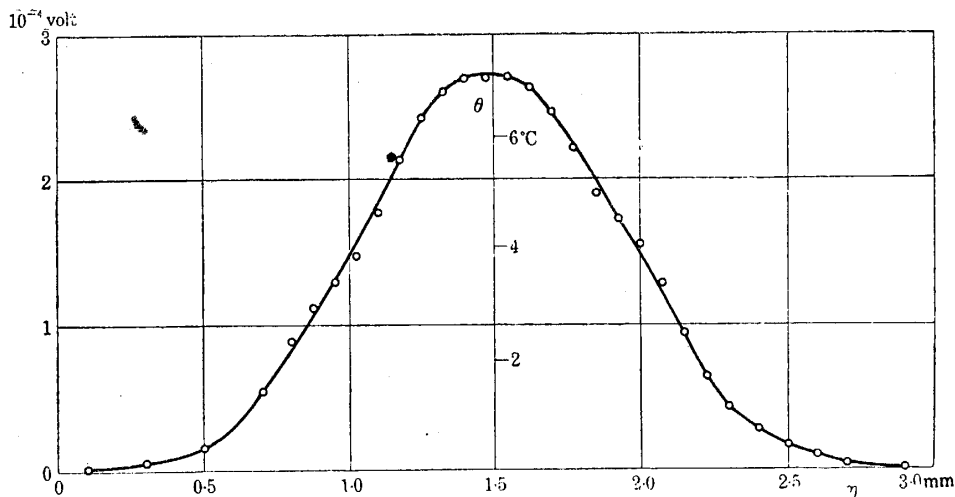
風洞気流の固有の亂れが 0.0008 の程度に下げられる事が判つたので、次にはこの状態、即ち整流器の下流に金網  $S_1$  及び  $S_2$  を入れた状態で、金網の下流の亂れを測定することにした。

供試金網を測定洞の 2cm 上流に張り、その下流  $x$  の距離のところに熱源を

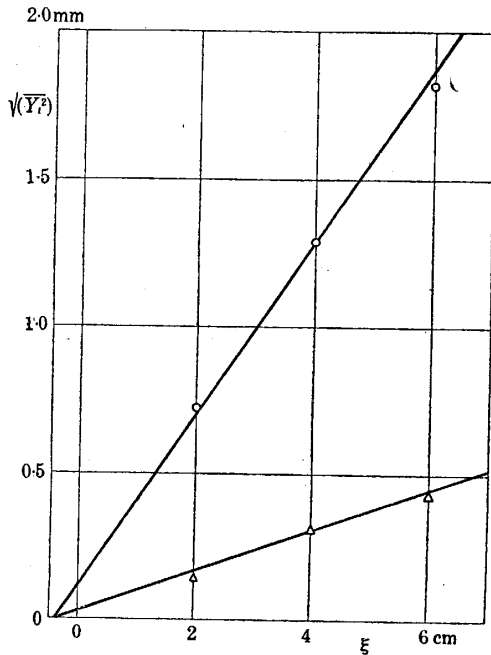
置き、熱拡散の測定を行つて、熱源の位置に於ける  $v/U$  を求めた。平均風速  $U$  は約 18m/s、又金網はすべて三種、網眼  $M=1.1, 3.4, 6.5$ mm, 針金の太さ  $d=0.18M, 0.21M, 0.18M$  である。Dryden, Hall 等の実験(文献 3, 4)の金網と相似にするために  $d=0.20M$  を希望したが、實際に入手した金網は上記のやうなものであつた。温度分布の實例を第 7 圖に、分散の實例を第 8 圖に示す。前述の氣流の固有の亂れの測定に比べると、 $\bar{Y}^2$  に比べて  $\bar{Y}_m^2$  が小さく、従つて測定値の散亂が僅かであつて、測定の特数を節減する事が出来た。



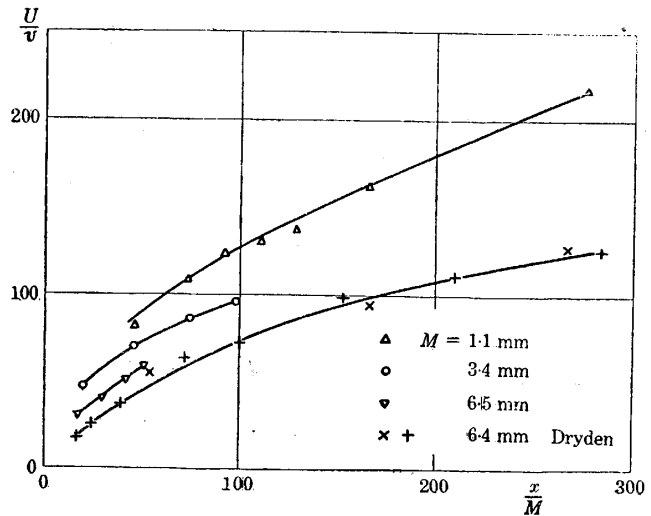
第 6 圖. 金網  $S_1$  及び  $S_2$  を入れた場合の熱拡散測定結果. (a) 原點未修正, (b) 原點修正済.  $\circ$  は  $U=25$ m/s,  $\triangle$  は  $U=36$ m/s.



第 7 圖.  $M=1.1$ mm の金網の下流の熱件流曲線.  $U=18$ m/s,  $x=11.9$ cm,  $\xi=4$ cm.



第 8 圖. 金網の下流の熱擴散測定結果.  
 $U=18\text{m/s}$ .  $\circ$  は  $M=6.5\text{mm}$ ,  
 $x=10.45\text{cm}$ ;  $\Delta$  は  $M=1.1\text{mm}$ ,  
 $x=11.9\text{cm}$ .



第 9 圖. 金網による亂れの減衰.

最後の結果は纏めて第 9 圖に示す. 無元の距離  $x/M$  による減衰は  $M$  の小さいもの程著しいが, その間の差は餘り大きいものではなく, 結局眼の細かい金網も, 普通の金網の場合と同様の法則に従ふことが判る. 尙比較のために同じ圖に,  $M=6.4\text{mm}$ ,  $d=0.20M$  の金網に對する Dryden の實驗結果 (文献 3) を併記した.  $\times$  印の點が熱擴散による  $U/v$  の測定値で,  $+$  印の點は熱線風速計による  $U/u$  の値である. この結果は筆者の  $M=6.5\text{mm}$  の金網のものと略一致するやうに見える. 尤も Dryden の  $M$  の大きい金網の實驗を参照すると,  $x/M$  による減衰は  $M$  の大きいもの程僅かながら著しくなり, 第 9 圖と反對の傾向を示す. それ故  $M=6.5\text{mm}$  の金網の場合の一致は, 或は偶然の一致であるかも知れぬ. Dryden の風洞の固有の亂れは  $u/U=0.0085$  であつて, 筆者の風洞に比べて著しく大きい事を特に註記したい. 又 Dryden は  $U=6\sim 20\text{m/s}$  の範圍では,  $U$  の相違による影響が認められぬ事を報告してゐるが, Hall (文献 4) は固有の亂れが  $u/U=0.0010$ ,  $v/U=0.0018$  の風洞に於いて,  $U$  による減衰の變化を認め,  $MU/v$  が減少する程, 僅かながら減衰の程度が著しくなる事を示してゐる. 即ち亂れの比較的僅かな風洞に於ける測定は, 筆者の得た實驗の結果を支持するやうである. 併し斯様な事實を斷定するためには, 更に多くの實驗を行ふことが必要であらうと思はれる.

### 結 言

この豫備實驗によつて得られた結果を要約すれば, (1) 眼の細かい金網を普通の整流器の下流に入れることによつて, 風洞氣流の固有の亂れを減少させる可能性がある. (2) 眼の細かい金網の下流の無元距離  $x/M$  による亂れの減衰は, 大體に於いて普通の金網の場合と同じ法則に従ふが, 平均風速の同じ値で比較すると, 眼の細かい場合の方が僅かながら減衰が著しい. (1) は (2) を豫測した設計によつて得られたものであり, 又 (2) は (1) を具現した状態で導かれたものである點に於いて, 二つの結論は實は一つのものに歸着する.

終りに、この豫備実験は主として文部省科学研究費によつて行はれた。又熱擴散の測定は主として坪田保濱本一郎兩君により、航空學科卒業論文の一部として行はれたものである。添記して感謝の意を表したい。

### 文 献

- (1) G. B. Schubauer, A turbulence indicator utilizing the diffusion of heat. N. A. C. A. Tech. Rep. No. 524 (1935).
- (2) G. I. Taylor, Statistical theory of turbulence. Proc. Roy. Soc. London (A) vol. 151 (1935), p. 429.
- (3) H. L. Dryden, G. B. Schubauer, W. C. Mock & H. K. Skramstad, Measurements of intensity and scale of wind-tunnel turbulence and their relation to the critical Reynolds number of spheres. N.A.C.A. Tech. Rep. No. 581 (1937).
- (4) G. I. Taylor, Some recent developments in the study of turbulence. Proc. Fifth Int. Congr. App. Mech. (1938), p. 294.

昭和17年3月, 風洞部にて.