

# 熱線による回転円板境界層の測定

松下 兼次・米倉 豊彦

(受理 昭和 39 年 5 月 30 日)

## MEASUREMENT OF VELOCITY DISTRIBUTION AT THE BOUNDARY LAYER OF REVOLVING DISK BY MEANS OF HOT WIRE

Kenji MATSUSHITA, Toyohiko YONEKURA

The authors performed measurement of wind velocity distribution at the boundary layer of a revolving disk by means of Hot Wire Anemometer and compared the measured values with those obtained by the theoretical formula. Their experiment was done with the disk of the outer diameter of 200 mm and of 5 mm in thickness in the cases where the surface of disk was flat, radial grooves were cut on the surface of the disk and a stationary wall was built near the disk.

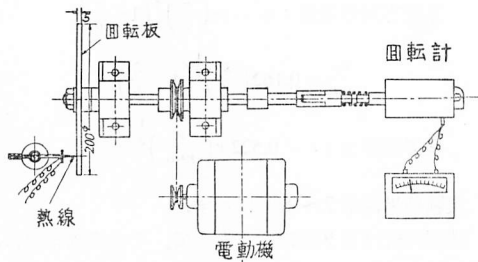
The experimental results obtained were found agreeing with the calculated values. And the result obtained by the experiment in the case where the surface of disk was grooved was observed approaching the values at the turbulent boundary layer.

### I. 緒 言

熱線風速計を用いて、回転円板境界層の速度分布を測定し、理論式との比較を行なった。円板がその中心をとおり、円板に垂直な軸のまわりに回転する場合、円板表面の比較的平滑な場合については、その摩擦抵抗と関係して、Kármán<sup>1)</sup>をはじめ、多くの研究がある。著者らは、平滑な円板のほか、円板表面に放射状の多くの溝を切り、その円板を回転させた場合についても実験を行なったので、その結果を報告する。

### II. 実験装置

実験装置略図は第1図に示す。

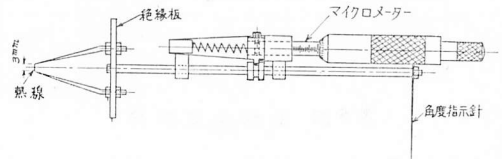


第1図 実験装置略図

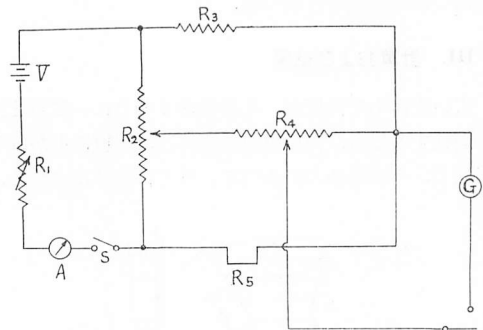
外径 200 mm, 厚さ 5 mm の (デュラルミン製) 円板を可変速電動機で駆動し、円板軸に直結した電気式回転計で、その回転速度を測り、その速度を一定に保

つようにする。

熱線風速計は、第2図に示す。直径 0.025 mm, 長さ 3 mm の白金線を測定部分に用い、マイクロメータを加工した調節部に取付け、円板表面からの距離およ



第2図 熱線風速計

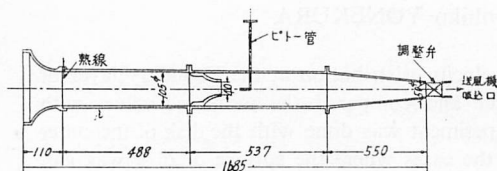


- Ⓐ: ミリアンメーター
- Ⓒ: 検流計
- Ⓕ: 電源開閉器
- Ⓖ: 電源 (6 V × 2)
- Ⓘ: 撻動抵抗器
- Ⓑ: 電位差計式抵抗 (1 K $\Omega$ )
- Ⓒ: マンガニン線抵抗
- Ⓓ: 感度調節用可変抵抗
- Ⓔ: 熱線 (直径 0.025 mm)

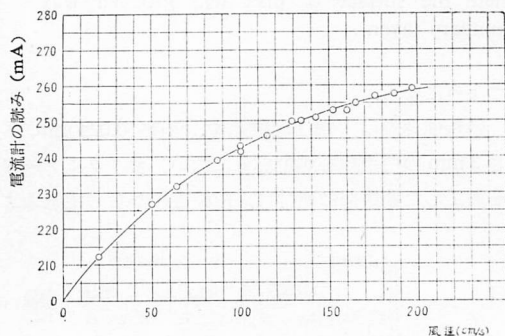
第3図 ホットストンブリッジ結線図

び角度を読みとる。

白金線は、約1時間暗赤色に加熱、焼鈍した後、測定部の細い銅製支持棒の先端に電弧溶接して用いた。熱線の測定回路は第3図に示すとおりで、定抵抗法<sup>2)</sup>を用い、熱線の冷却による、平衡に必要な増加電流を測定する。熱線風速計の増加電流と風速との関係は、第4図に示す検定装置を用い、ピトー管(口径4.5mm)で風速を測定した。検定結果は第5図に示す。



第4図 風速検定装置

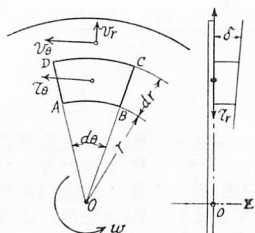


第5図 熱線検定曲線

上記の装置を用い、回転円板表面の平滑な場合、放射状の溝を切った場合、円板近くに固定壁を設けた場合について実験を行なった。

### III. 計算および結果

広い流体中で円板が、その軸のまわりに一定角速度で回転する場合、円板表面の流体は、円板に引かれて回転し、その遠心力によって、外方に投げ出される、



第6図

同時に、外方に投げ出された流体の後を埋めるために、回転軸方向に円板に向う流れを生ずる。この流れは、円板の表面近くに限定されるので、この部分が境界層と考えられる。いま、円板に垂直にz軸、円板上にr, thetaの座線をとる、境界層の厚さdelta, 流体速度の切線分速度v\_theta, 半径分速度v\_rとすれば(第6図参照)、平滑な円板に対しては、角速度omegaとして、速度分布は次のように表わされる<sup>3)</sup>。

#### i) 層流境界層の場合

運動量方程式は次のように表わされる。

$$\text{半径方向: } \frac{d}{dr} \left( r \int_0^\delta v_r^2 dz \right) - \int_0^\delta v_\theta dz = -\frac{\tau_r r}{\rho}$$

$$\text{切線方向: } \frac{d}{dr} \left( r^2 \int_0^\delta v_\theta v_r dz \right) = \frac{\tau_\theta r^2}{\rho}$$

但し  $\tau_r$ : 円板面に動く半径方向摩擦応力

$\tau_\theta$ : 切線方向摩擦応力

$$\text{切線方向分速度: } v_\theta = \omega r \left\{ 1 - \left( \frac{z}{\delta} \right)^2 \right\}$$

$$\frac{v_\theta}{\omega r} = \left\{ 1 - \left( \frac{z}{\delta} \right)^2 \right\}$$

$$\text{半径方向分速度: } v_r = v_0 \left\{ \left( \frac{z}{\delta} \right) - 2 \left( \frac{z}{\delta} \right)^2 + \left( \frac{z}{\delta} \right)^3 \right\}$$

$$\frac{v_r}{\omega r} = 1.315 \left\{ \left( \frac{z}{\delta} \right) - 2 \left( \frac{z}{\delta} \right)^2 + \left( \frac{z}{\delta} \right)^3 \right\}$$

$$\text{境界層厚さ: } \delta = 3.38 \sqrt{\frac{\nu}{\omega}}$$

#### ii) 乱流境界層の場合

$$\text{切線方向分速度: } v_\theta = \omega r \left\{ 1 - \left( \frac{z}{\delta} \right)^{\frac{1}{7}} \right\}$$

$$\frac{v_\theta}{\omega r} = \left\{ 1 - \left( \frac{z}{\delta} \right)^{\frac{1}{7}} \right\}$$

$$\text{半径方向分速度: } v_r = v_0 \left( \frac{z}{\delta} \right)^{\frac{1}{7}} \left( 1 - \frac{z}{\delta} \right)$$

$$\frac{v_r}{\omega r} = 0.162 \left( \frac{z}{\delta} \right)^{\frac{1}{7}} \left( 1 - \frac{z}{\delta} \right)$$

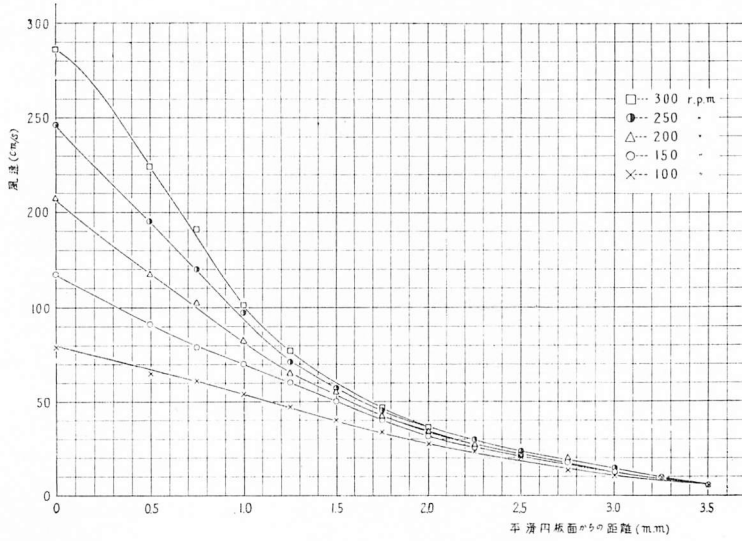
$$\text{境界層厚さ: } \delta = 0.522 r \left( \frac{\nu}{r^2 \omega} \right)^{\frac{1}{5}}$$

実験結果は第7~8図に示す。

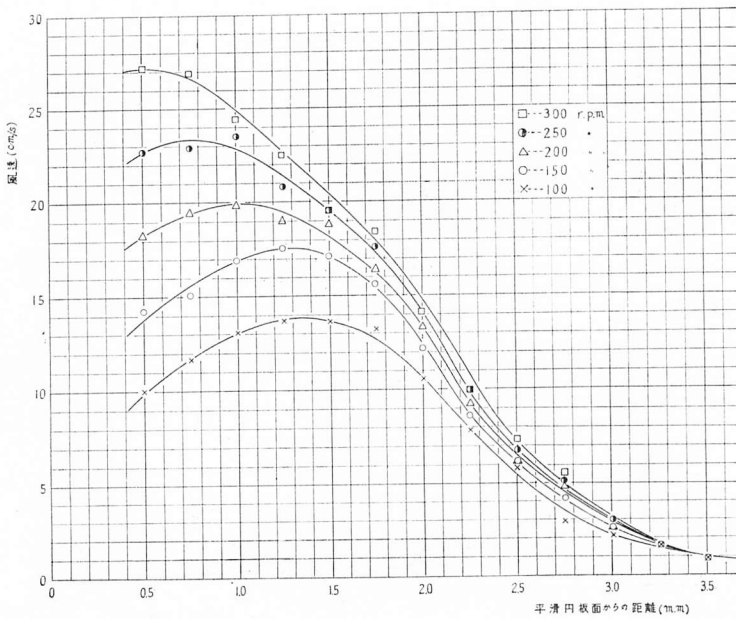
溝切円板は第9図に示すもので、その実験結果は、第10~11図に示す。

円板近くに固定壁を設けた場合は、第12~15図に示す。

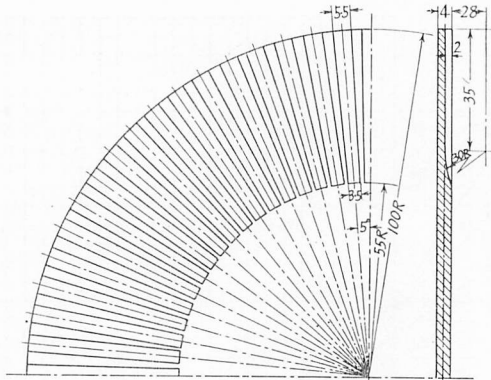
無次元表示した場合、理論値との比較は第16~17図に示す。



第 7 図 平滑円板切線方向速度分布

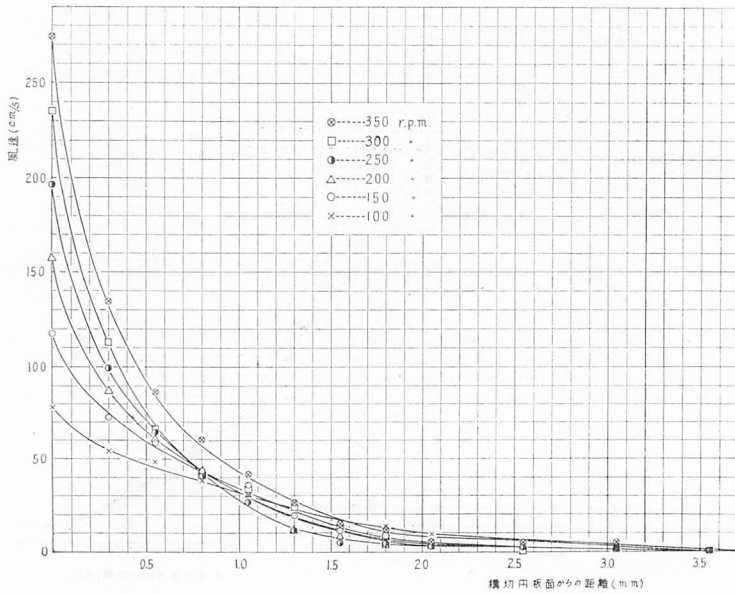


第 8 図 平滑円板半径方向速度分布

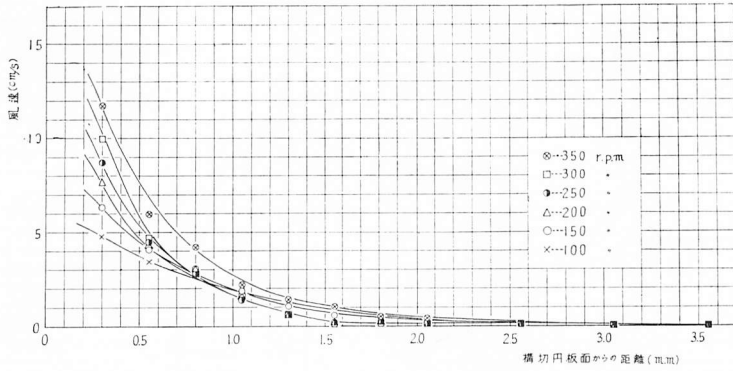


全周 72 等分 (溝数 72)

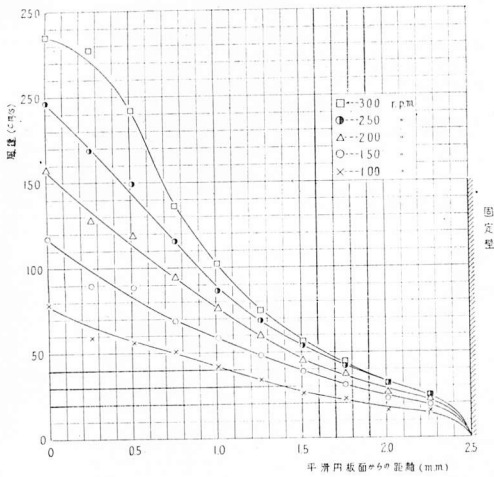
第 9 図 溝切円板



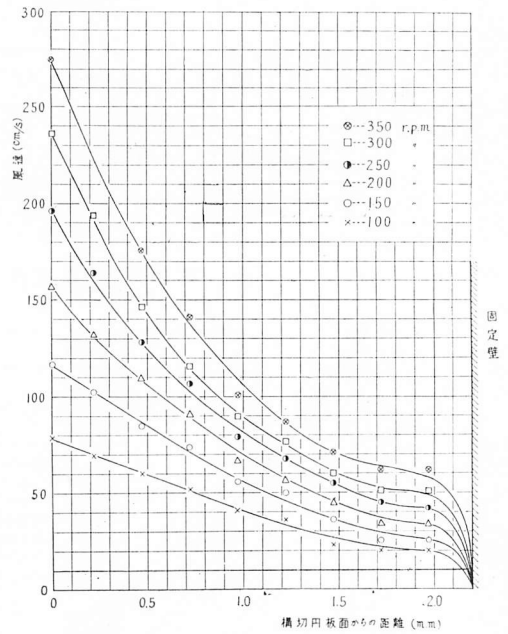
第 10 図 溝切円板切線方向速度分布



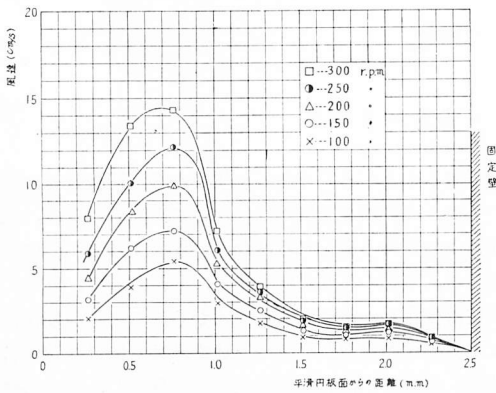
第11図 溝切円板半径方向速度分布



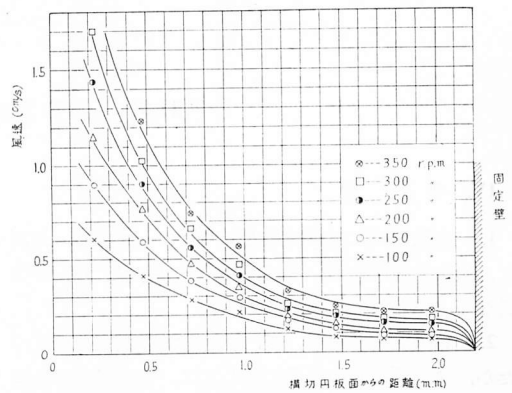
第12図 平滑円板切線方向速度分布



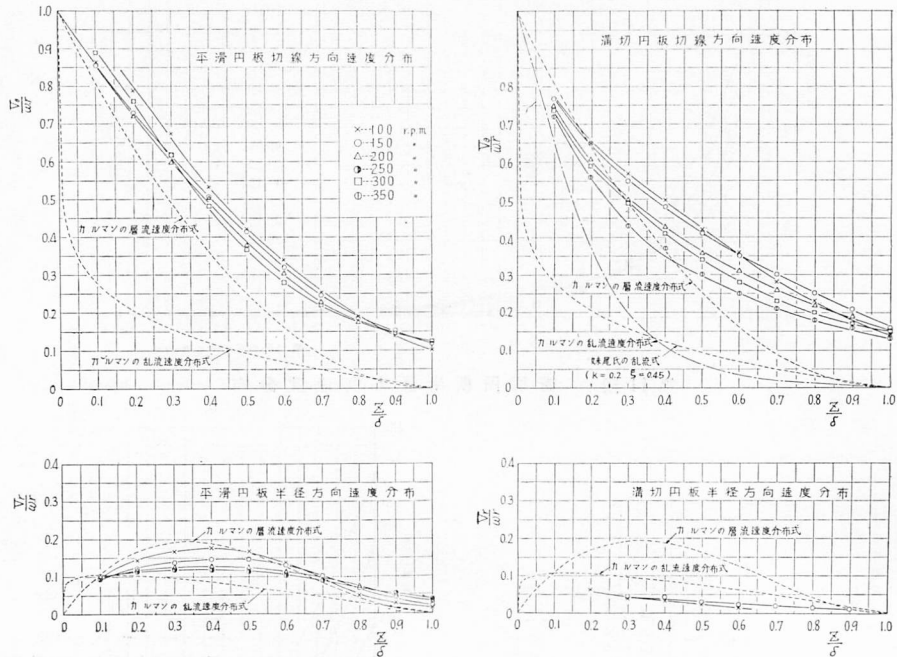
第14図 溝切円板切線方向速度分布



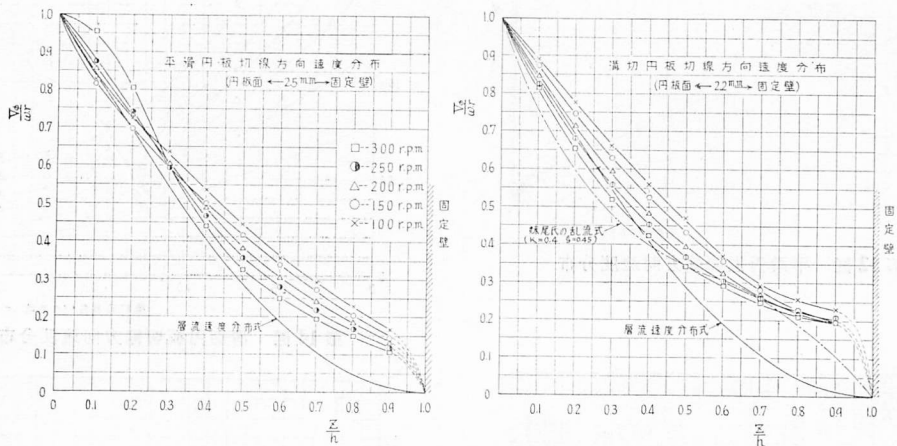
第13図 平滑円板半径方向速度分布



第15図 溝切円板半径方向速度



第16図 無次元表示法による速度分布



第17図 無次元表示法による速度分布

IV. 考 察

1. 実験結果は計算結果とだいたい一致する。ただし、無次元表示においては、 $\delta$  のとり方により、多少異なると思われる<sup>4)</sup>。

2. 熱線風速計を用いて、風速分布の測定を行なったが、熱線風速計の使用に際しては、その特性のみならず、固定壁の近くでは、輻射の影響があるので<sup>5)</sup>、

補正することが必要である。すなわち、円板近くにおいては、その表面温度が低いために、熱線の熱は、流体によつて持ち去られるほか、輻射によつて円板に吸収され、熱線の温度が低下する。したがつて、熱線の抵抗は変化し、電流も変化するから、この電流変化による見掛けの風速から真の風速を求めるには熱線の各位置、各条件下において検定曲線を作成し、風速に換算しなければならぬが、實際上、これは困難である。

そこで、本実験では次のようにして近似値を求めた。

円板表面の熱線に影響のないところでブリッジ回路を平衡させ、つぎに円板表面近くの各位置で、電流変化を読み、それを風速に換算し、円板を回転した場合の見掛け上の風速から差引いた。實際上、温度補正は困難で、もつとも簡単な上記の方法を用いて補正を行ない、実験値には、補正值を用いて記入した。

3. 溝切円板および固定壁の影響については、実験に用いた円板の回転速度が小さいため、および、開放空間の実験であるため顕著な差は見られなかつたが、溝切円板の場合は、溝による影響のため、乱流境界層が表われるものと考えられる。

## V. 結 び

終りに本実験に種々御援助いただいた九州大学岩崎松之助教授、ならびに、実験に協力した本学、機械工学科学生、広田英郎、愛甲武治外4名に感謝する。

## 参 考 文 献

- 1) Kármán, Th. v., Z. A. M. M., 1 卷 (1921).
- 2) 真島・磯部：計測法概論。下巻, 407 p. (昭 36).
- 3) 藤本武助：流体力学。279 p. (昭 27).
- 4) 植松時雄：水力学。150 p. (昭 29).
- 5) 板谷松樹：日本機械学会論文集。(昭 16).
- 6) Yasutosi SENOO: Reports of Research Institute for applied Mechanics, Kyushu University Vol. III No. 11, 1954.