

# 琉球大学学術リポジトリ

## 琉球大学ゲッチンゲン型大型風洞

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2009-08-27 キーワード (Ja): キーワード (En): Fluid engineering, Wind tunnel, Wind tunnel performance, Turbulence 作成者: 山里, 栄昭, 永井, 實, 伊良部, 邦夫 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/12128">http://hdl.handle.net/20.500.12000/12128</a>

## 琉球大学ゲッチンゲン型大型風洞

山里栄昭\* 永井 實\* 伊良部邦夫\*

**Göttingen type Large Wind Tunnel  
of University of the Ryukyus**

by Eisho YAMAZATO, Minoru NAGAI, Kunio IRABU

**Summary**

Göttingen type large wind tunnel was built at Faculty of Engineering, University of the Ryukyus in March 1980.

It has a 1,000mm x 1,000mm crosssectional area and 1,500mm length measuring section with the velocity range of 1 m/s to 50 m/s, and has a 75 KW D.C motor.

As it was built as a multipurpose wind tunnel, it is possible to change the open type measuring section to the closed type, and can be used for the experiments both of the basic fluid dynamics and of the applied fluid dynamics such as mechanical engineering, civil engineering, architecture and meteorology.

This report describes the specifications, performance and some characteristics of this new wind tunnel.

**Key wards** : Fluid engineering, Wind tunnel, Wind tunnel performance, Turbulence.

## 1. まえがき

1980年3月, 琉球大学移転整備事業を機会に, かねてより要望されていた多目的のゲッチンゲン型大型風洞装置が本学工学部に設置された。

著者らは, 本装置の計画段階より設置検収に至るまで参画してきたので, ここに本装置の概要と特性を紹介し, 広く利用者の便に供するものである。

## 2. 仕 様

本装置は琉球大学工学部に設置されるが, 沖縄県に初めて設置される本格的風洞装置であることから, 県内の流体力学に関連する研究者に広く開放することを主旨としたため, 以下のような条件を満たすことが要求された。

(1) 広範囲のレイノルズ数領域にわたる流体力学の基礎的実験装置であると同時に, 機械工学, 土木工学, 建設工学および気象防災学等幅広い応用力学部門の実験条件を満足する多目的風洞であること。

(2) 風速範囲は低速側 1 m/s から台風を考慮した高速側 50m/s の範囲で良好な特性を有すること。

(3) 現在の技術水準と予算規模から可能な限りの速度分布一様性と低乱流特性を有すること。

以上の要求に基づき, 国内の主要な風洞装置メーカーである S 社, K 社, M 社等へ見積り依頼を行ない, また他大学の設置例を直接視察するなどして, 慎重に機種選定を行なった結果, S 社のゲッチンゲン型多目的風洞が基本型として選定され, 設計および建設が行なわれた。

受付: 1981年4月30日

\* 琉球大学工学部機械工学科



本装置の仕様は以下の通りである。

2. 1 形式および性能

- 2. 1. 1 G-1000-75-50 (水平回流型)
- 2. 1. 2 本体の大きさ 13,800×6,700(電動機部を除く)
- 2. 1. 3 重量 16ton
- 2. 1. 4 吹出口寸法 1000×1000正方形開放型
- 2. 1. 5 風速 1 m/s~50m/s(標準大気圧)
- 2. 1. 6 風速分布の偏差 5 m/s~50m/sの範囲 1%以下  
(但し, 境界層とその干渉領域を除く)
- 2. 1. 7 乱れ度 5 m/s~50m/sの範囲 0.1%~0.3%以下  
(但し, 境界層とその干渉領域を除く)

2. 2 本体の構成

図1に本風洞装置の概要, 図2に移動式密閉型測定カートをそれぞれ示す。

本体は, 測定部, 第1拡散洞, 保護金網, 第1曲り洞, 第1中間洞, 第2曲り洞, 第1変形洞, 送風機洞, 第2変形洞, 集合洞, 整流器, 整流金網, ノズル, 架台(支脚)より成っており, その主要部分以下の通

りである。

- 2. 2. 1 測定部 測定部は通常開放型で使用し, その長さは1,500mmである。密閉型実験を行なう場合には測定部前後のフレアおよびベルマウスを取外し, 図2に示す長さ2,400mmの密閉形測定カートを挿入する。
- 2. 2. 2 整流器 集合洞内に設置, 厚さ76μmのアルミニウム箔材よりなる対辺19mm, 長さ190mmの六角形格子状ハニカム構造である。
- 2. 2. 3 整流金網 整流格子の下流に設置, ステンレス製で直径0.07mmの素線よりなる40メッシュの金網3枚。
- 2. 2. 4 ノズル ノズルは集合洞より測定部にかけて風速を増加させると同時に流れの乱れ率を減衰させる。本装置ノズルの面積縮小率は約5.5で, ノズル出口部近傍の曲線壁は次の4次式で与えられている。

$$\frac{y}{h} = \left(\frac{x}{l}\right)^4 - 2\left(\frac{x}{l}\right)^3 + 2\frac{x}{l} \dots\dots\dots (1)$$

- 2. 2. 5 吹出し型風洞への変形 本風洞装置は, 土木工学, 災害工学等への利用を考慮して,

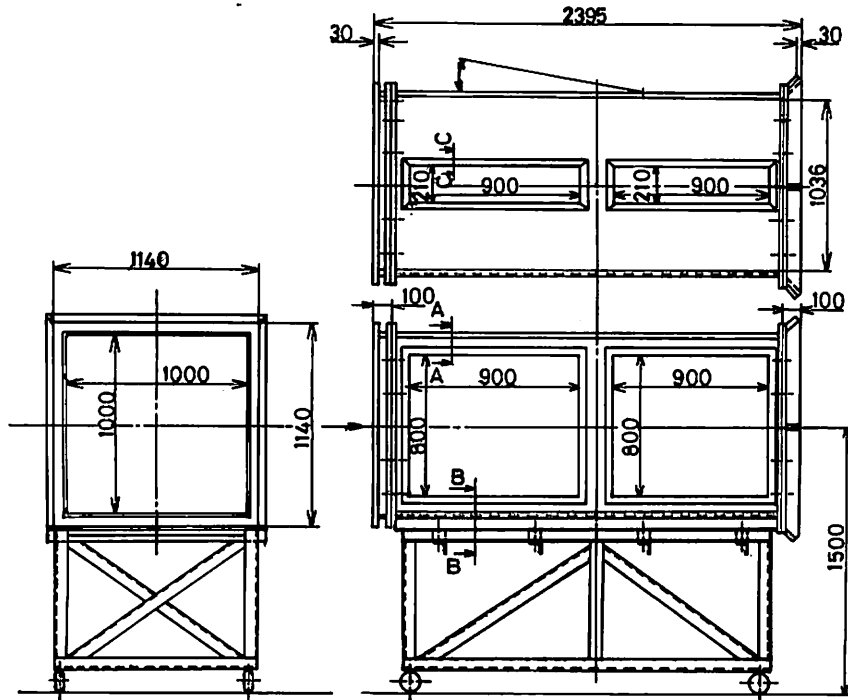


Fig.2 Closed type measuring cart

第1拡散洞, 第1曲り洞, 第1中間洞およびその部分の架台を撤去し, さらに第2曲り洞に大型ベルマウスを取付けることにより, プロダウンタイプ風の風洞として使用することが可能である。

2. 3 送風機部

2. 3. 1 動翼 ジュラルミン製, 直径1,700 mm, 基本翼型クラーク Y, 可変ピッチ, 8枚

2. 3. 2 静翼 後置1段静翼, 鋼板溶接構造, 9枚

2. 3. 3 予想騒音 機側1.5mにて90dB(A)(単独)

2. 4 電動機部

2. 4. 1 型名 防滴保護開放他力通風型安定直巻付他励直流電動機

定格 TS型75kW

定格電機子電圧 D.C 220V および440V

標準界磁電圧 D.C 160V および320V

変速範囲 23~1150rpm (1:50)

時間定格 連続

過負荷耐重 125% 連続

起動トルク 125%

予想騒音 無負荷機側1mにて85dB(A)(単独)

2. 4. 2 サイリスタレオナード装置(TS制御盤)

制御方式 3相純ブリッジ方式速度発電動機による速度制御

運転方式 寸動運転, 電流制限付一方回回転

3. 運転特性

以下は設置検収時の試運転によって得られた本風洞の運転特性である。使用計器は風速についてはゲッチンゲン型標準ピトー静圧管およびベッツ型マノメータ, 気流乱れについてはKANOMAX 21-1312熱線風速計, 騒音についてはRION NA-09型騒音指示計をそれぞれ使用した。

3. 1 風速, 電流および発生騒音

図3は本装置の性能を, 横軸に送風機回転数, 縦軸に測定部風速, 電動機電流および測定部側1.5m(サイ

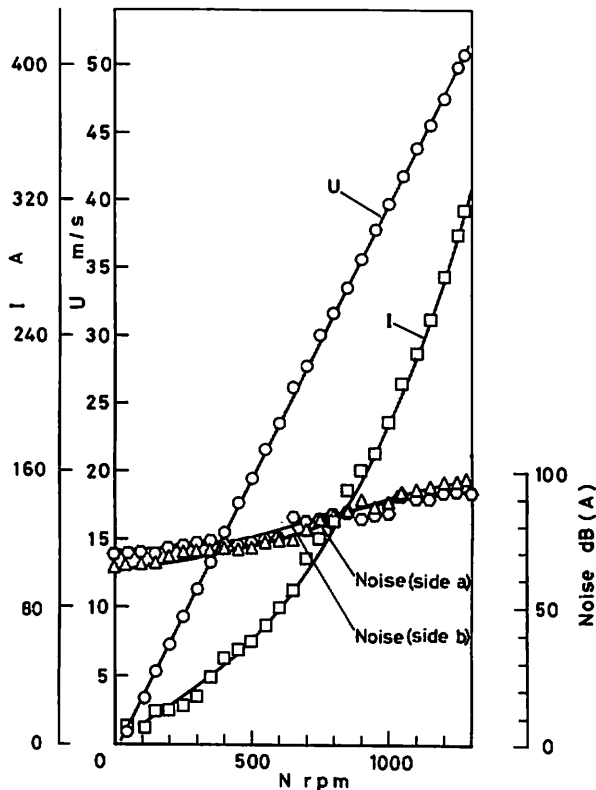


Fig.3 Performance of the wind tunnel

ド a) と送風機部側1.2m (サイド b) における騒音指示値をとって、示したものである。

図より測定部風速は回転数にほぼ比例して増加し、回転数1,250rpmにおいて所定の50m/sに達することがわかる。この時の電流は300Aであり、動力は60kWとなる。回転数  $N$  と風速  $U$  の関係は概略次式により表示される。

$$U = 40 \times 10^{-3} N \dots\dots\dots (2)$$

発生騒音は回転数の増加とともに増大し、高速回転時において測定部側 (サイド a) における値が最高95dB (A スケール) に達している。低回転数領域においては送風機部側 (サイド b) における指示値が測定部側におけるそれより高く、高回転数領域においてそれが逆転するのは、高回転数領域 (風速35m/s以上) では気流乱れによる空力騒音が電動機、送風機の発生騒音に対してより顕著になったためと思われる。

以上の性能はいずれも所期の仕様にならなかったものである。

### 3. 2 風速分布の偏差

図4および図5に、風洞測定部の吹出口より下流  $l=0.5m$  および  $l=1.0m$  の2断面における平均風速の分布を示す。両断面とも中央の800mm×800mmの主流部分については200mm間隔、その外側100mm幅の境界層部分については50mm間隔で水平および垂直方向に分割し、計  $7 \times 7 = 49$  点の網目上で測定したものである。平均風速は  $l=0.5m$  では約 5 m/s, 20m/s, 30m/s の3段階、 $l=1.0m$  では約 5m/s と 30m/s の2段階にわけてそれぞれ測定してある。図中の数値は各点の風速  $U$  (m/s) であり、カッコ内は各断面主流部分の平均風速に対するその点の風速の偏差を百分率で示したものである。

図4より、 $l=0.5m$  断面では、平均風速4.72m/sの場合に断面の左上部に-1.06%、右下部+1.06%の偏差があるが他はほぼ全断面にわたって偏差1%以下の一様風速分布であることがわかる。

平均風速21.77m/sの場合には中心部および右上部に-1.10%の偏差があり、平均風速31.66m/sの場合

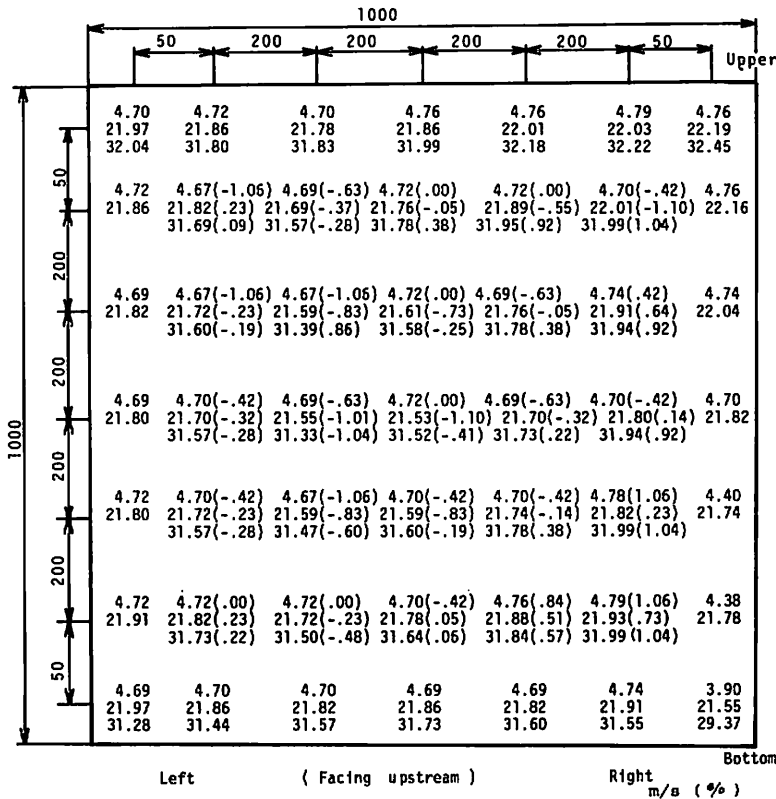


Fig.4 Velocity distributions at  $l=0.5m$  cutting area  $\bar{U}=4.72, 21.77$  and  $31.66m/s$ .

には中央部および右下部に-1.04および+1.04%の偏差があるが、いずれの場合も断面内速度分布は十分一様であると判定される。

つぎに図5より  $l=1.0\text{m}$  の断面では、平均風速5.06 m/sのときに中央部付近および左下部に-1.58および+1.58%とやや大きな偏差があり、平均風速31.33

m/sのときには左上部と下部および右中央部と下部に+1.76%および-1.50%程度の偏差があることがわかる。これらを図4と比較すればいずれも偏差値が大きくなっているが、これは本実験の測定部条件が大気開放型であるため、ノズル吹出口からの距離が大きくなるにしたがって偏差値が増したものと判断される。

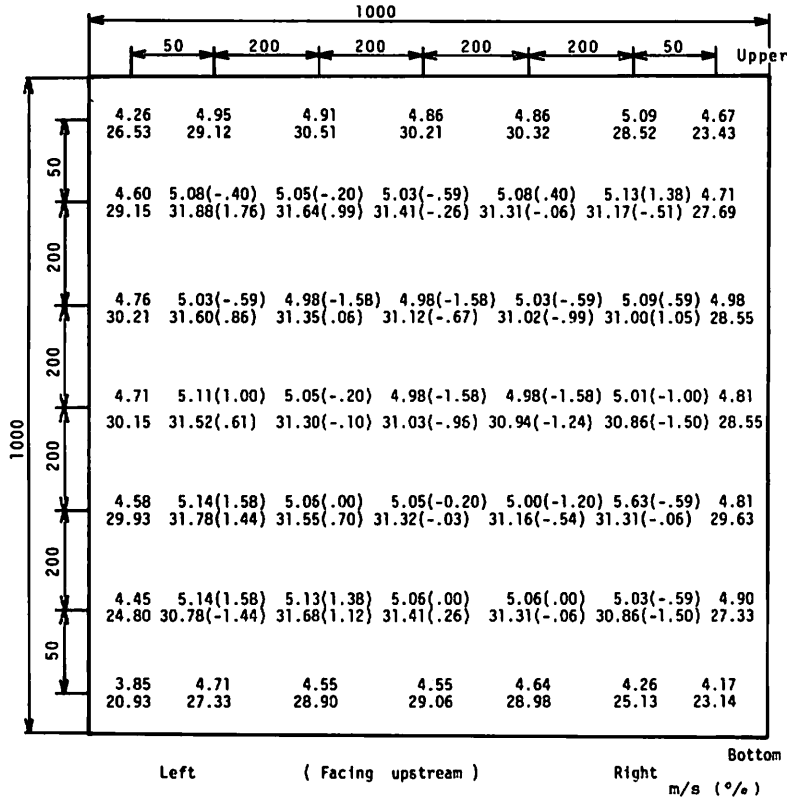


Fig.5 Velocity distributions at  $l=1.0\text{m}$  cutting area  $\bar{U}=5.06$  and  $31.33\text{m/s}$ .

$l=1.0\text{m}$ におけるこの偏差値は、前章の仕様を必ずしも満足するものではないが、局所的に大きな偏りがあるものではないので、現段階ではほぼ満足すべきものと云える。

3. 3 乱れ度

図6および図7に、同じく  $l=0.5\text{m}$ ,  $1.0\text{m}$  の2断面で測定した気流の乱れ度の断面内分布を示す。図中の数値は熱線風速計より得られた風速  $u$  の乱れ成分  $u'$  の自乗平均値の平方根出力  $\sqrt{u'^2}$  (電圧 mV) であり、カッコ内は平均風速成分の出力 (基準電圧 V) に対するその比を百分率で示したものである。

図6より  $l=0.5\text{m}$  断面では、平均風速約 5 m/s および 20m/s(基準電圧3.66および4.30V) の場合には中

央部6点の乱れ度はいずれも0.06%以下とかなり良い値を示していることがわかる。主流部の外縁においてはこれらの値は0.2%内外に増加するが、0.3%以下には収まって十分仕様条件を満足している。

平均風速約30m/s(基準電圧4.52V) の場合には中央部分においても乱れ度が0.18~0.19%とやや大きくなり、中央部外縁の値も0.4%程度に達している。これは後掲の図8よりも明らかなように本風洞が30m/s程度以上の風速では乱れ度においてやや性能が劣化することと一致している。ただしこの速度においても、本断面主流部の乱れ度は0.4%以下に保証されているので、低乱流風洞として十分使用可能である。

つぎに図7より、 $l=1.0\text{m}$  断面では風速約 5 m/

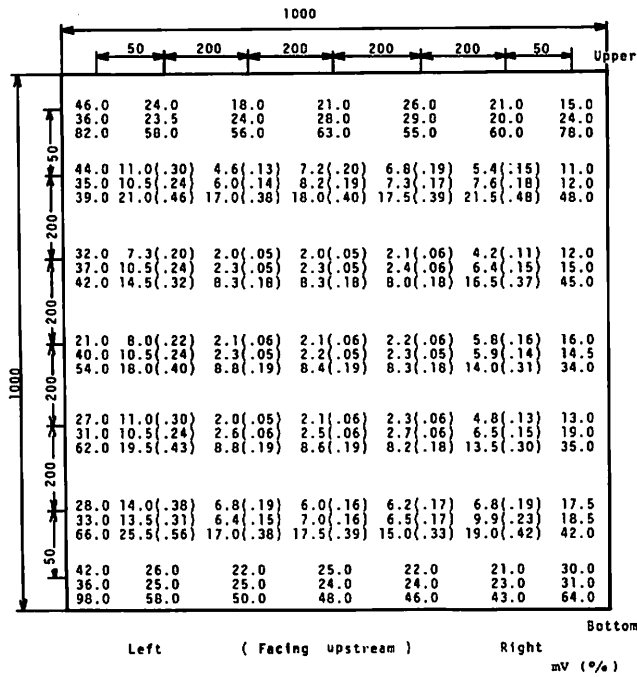


Fig.6 Turbulence distributions at  $l=0.5m$  cutting area  $\bar{U} \approx 5, 20$  and  $30m/s$  (Reference voltage=3.66, 4.30 and 4.52V).

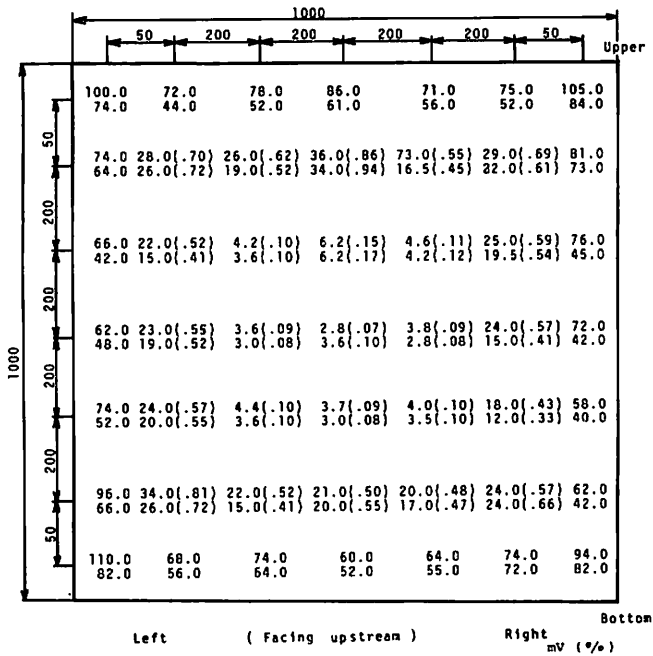


Fig.7 Turbulence distributions at  $l=1.0m$  cutting area  $\bar{U} \approx 5$  and  $20m/s$  (Reference voltage=4.21 and 3.63V)



sと20m/s(基準電圧4.21と3.63V)について測定しているが、図6の対応点とそれぞれ比較すれば、中央部分の乱れ度が0.1%内外に、主流部外縁のそれが0.5~0.6%程度に増加することがわかる。これは前述のように、本実験の測定部が開放型であるため、周辺部剪断流層による乱れが、次第に中央部に伝播したためと判断される。

したがって、この断面において十分の低乱流性を保証するためには、できるだけ中央部分の流れに限定して利用することが必要である。

### 3. 4 風速の変化に対する乱れ度の変化

図8は、風速を徐々に上昇させた場合の測定部中心線上で $l=0.5m$ の位置における乱れ度の変化を示したものである。図中○印が本実験の結果であり、⊖印はS社組立工場において仮組みの際に得られた予備実験の結果である。

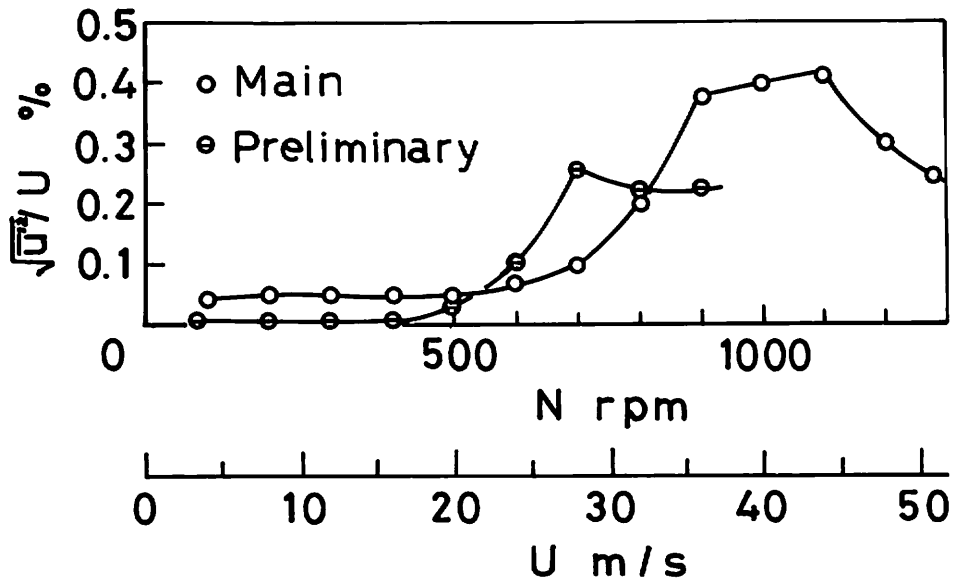


Fig.8 Turbulence intensity to the velocity

って装置性能を一層改善することが必要である。

### 3. 5 連続運転による温度上昇

図9に本風洞を連続運転した場合の測定部気流温度の変化を示す。実験は室温25°Cの状態より始めて、モータ回転数を段階的に増加させ最高1260rpmで一定時間連続運転する等して、測定部気流温度を熱電対温度計で計測したものである。

図より、測定部の気流温度は実験開始とともに上昇

図より、本風洞は回転数100~600rpm(風速3~25m/s)の範囲では乱れ度約0.05%とかなり良好な低乱流性を備えていると判定されるが、その後風速を上げるにしたがって乱れ度を急速に増加させ回転数1000rpm(風速40m/s)では0.4%程度に達していることがわかる。回転数1100rpm(風速44m/s)以上では乱れ度は再び下降している。この結果を予備実験のそれと比較すると700rpm(風速28m/s)付近の性能は改善されているが、高速領域の乱れ度の増加が著しい。

全風速範囲にわたって乱れ度0.4%以下と云う本風洞装置の性能は、本装置と類似の規模を有する在来の標準的風洞装置(普通、乱れ度1%以下)と比較すればかなり良好な低乱流を有していると云えよう。

ただし、図より明らかなように、回転数1000rpm前後における乱れ度の急上昇にはある種の特異性が認められるので、今後その原因を解明、除去することによ

し、その上昇率はモータ回転数が大きい程大きいことがよくわかる。また運転開始後25分の時点でモータ回転数を最高1260rpmより200rpmまでいったん急減少させ再び急上昇させたところ、気流温度もそれに応じて感知できる(3°C)程度の減少と増加を示すことがわかった。その後モータ回転数を最高に保って約1時間連続運転したところ、図に示すように気流温度は増加しつづけ44°Cにまで達することがわかった。

これらの温度上昇は、もちろんこのときのモータの駆動動力60kW (60kJ/s=14.3kcal/s) のジュール熱による入力量と、熱伝導や対流による風洞から周辺大気への拡散熱量によって定まるものである。60kWでさらに長時間運転する場合、気流温度はさらに上昇して50°C前後まで達することを予期する必要があるだろう。

運転開始後1時間50分で、モータの駆動を停止したところ、送風機と気流は慣性によってなお3分間程回

転をつづけたのち完全に停止したが、気流温度もそれに応じて最初の3分間とそれ以降の2段階にわたる指数関数的減少を示した。運転停止後1時間10分の間に測定部空気温度は28°Cにまで減少している。

本風洞によって、特に高速領域における長時間の実験を行なう場合には、常に気流温度の測定を行ない、それによる物性の変化を考慮に入れるよう心がけねばならない。

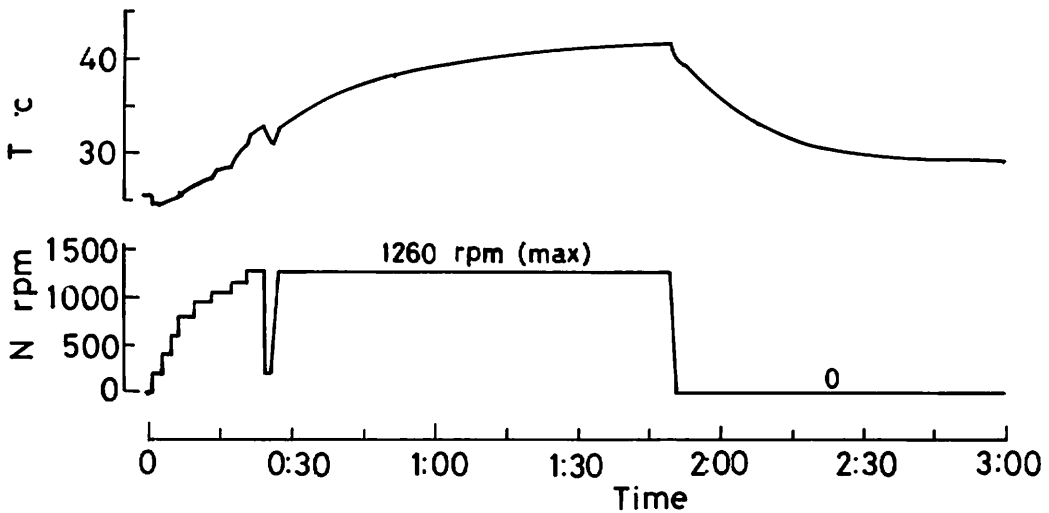


Fig.9 Wind temperature to the running time

4. あとがき

以上の試運転結果によって、本風洞装置はほぼ所期の運転性能、すなわち風速範囲、測定部断面における速度分布の一様性および低乱流性をほぼ満足することがわかった。

図8より明らかになった風速40m/s付近の乱れ度の特異な上昇については、今後その原因解明と除去によって一層風洞性能を改善することが期待される。

本風洞装置によって得られる流れの単位長さ当りレイノルズ数の最大値は、概略次式により与えられる。

$$Re/D = \frac{50 \text{ (m/s)}}{\nu \text{ (m}^2\text{/s)}} = 3.33 \times 10^6 \quad (1/m) \dots(3)$$

ただしDは供試模型の代表長さであり、νは空気の動粘性係数であるが上式では常温における値を用いた。

本装置の試運転は、著者らの要望に基づいてS社技

術部の木村隆夫氏と安達賢一氏によって熱心に遂行された。また資料の整理には本学学生の稲福一也君と翁長武義君の助力を得た。記してこれらの方々に謝意を表する。

参考文献

- 1) 伊藤・小林, 低乱風洞の設計方法, ターボ機械, 9-4 (1981-4), 211
- 2) 井内・他2名, 理工学研究所新設風洞の特性ならびに二・三の測定例について, 昭和51年度日本大学理工学部学術講演会論文集, 475
- 3) 安部・他2名, 風洞の固定壁カート内の乱れ, 昭和52年度日本大学理工学部学術講演会論文集, 473
- 4) 九州大学応用力学研究所, 要覧, 1977年版, 21
- 5) 同上, 応用力学研究所台風災害用風洞装置について, 所報, 36号 (1972), 71