

# 吹出式三次元煙風洞の 観測部内気流歪みに関する研究

倉元 靖夫\*1・船木 栄\*2・吉岡 英樹\*3

## Distortion of Flow in an Observation Part of a Blow-down Type 3-D Smoke Wind Tunnel

Yasuo KURAMOTO, Sakae FUNAKI and Hideki YOSHIOKA

### Abstract

In a blow-down type smoke wind tunnel with a 500 mm×500 mm test section, distortions of wind flow appears often in the test section when the tunnel is operated at wind speed 1.5~2 m/s. These phenomena produce inaccuracy on flow visualization tests. The distortions of flow are as follows: flow on one side wall of the test section is upward and flow on the other side is downward. The effect of these phenomena reaches near the center of the test section. The causes of the phenomena are supposed to be ① temperature difference between the window side wall and the other side wall of the wind tunnel; ② temperature distribution of air flow into the axial flow fan of the tunnel; ③ residual rotating component of delivery flow from the fan. Then we examined experimentally these causes of the flow distortions and effects of some countermeasures. In this paper, we report these test results. But we have not yet succeeded in preventing the flow distortions completely. Now we are finding some interesting vertical vortices on the bottom wall of the wind tunnel which seem to be a principal cause of the flow distortions. We will report experimental results on the vertical vortices in the near future.

**Key Word:** Distortion of Flow, 3-D Smoke Wind Tunnel, Flow Visualization

### 1. はじめに

500×500mmの観測部を有する吹出式煙風洞でスモークワイヤ法を用いて実験を行っている時、観測部内の気流がかなり歪む場合のあることを発見した。観測部内に何も置かない場合、吹出口中央に水平に張られたスモークワイヤからの煙は本来きれいな二次元面を構成するはずである。しかし、最も多く現れる歪みは壁面近くで片側は上方に、反対側は下方に傾き、その影響がかなり中央部にまで及ぶ現象である。顕著な歪みは風速1.5~2 m/sの低速域で発生する。しかしこの歪みは風洞の起動直後には現れず、ある程度時間が経ってから現れる。しかも、日時、天候、風洞の運転状態等により大きく変わり、同一歪みの意図的再現は非常に難しい。

風速1.5~2 m/sの低速域はスモークワイヤ法を用いた場合、煙状態が最も濃く鮮明に出る非常に重要な風速域である。しかしこの歪みが現れると、厚みの小さいスリット光では煙による流線面が十分捕らえられず、実験に支障の出る場合がある。

この歪み現象の原因究明と防止策の探求には種々努力して来たが、いまだ満足すべき結果は得られていない。本報ではこれまでの研究結果の一端を報告する。

なお、風速が上記以上に大きくなると主流に対する歪み量が相対的に小さくなるため、目立たなくなる。

### 2. 低速域での流れの歪み

図1は風洞の立面図である。アルミハニカムの整流格子は完成当初①のみであった。図2は観測断面の中央に

\* 1 交通機械工学科      \* 2 三菱農機株式会社      \* 3 交通機械工学科  
平成11年9月30日受理

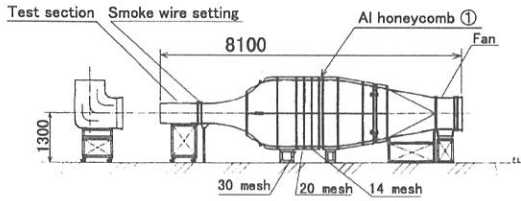


図1 吹出し式三次元煙風洞 (建設当初)

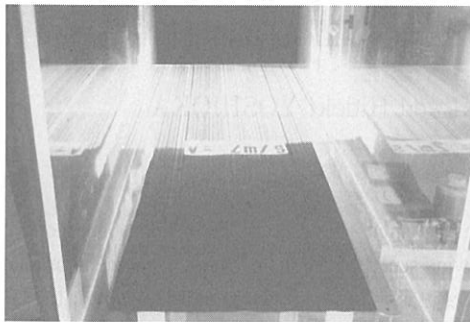


図2 完成時の気流状況 (風速2 m/s)

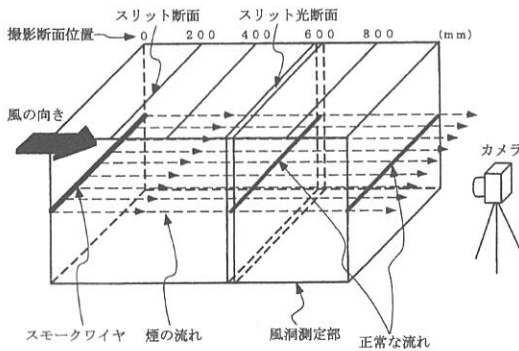
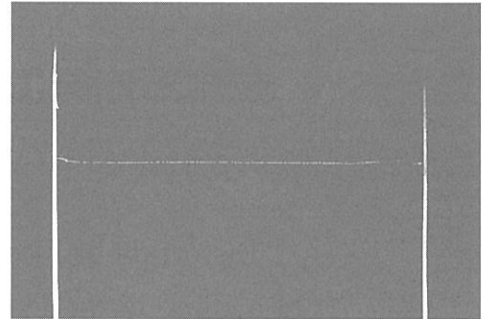


図3 断面写真撮影方法

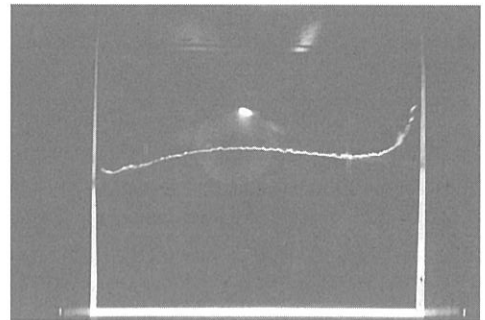
水平に張ったワイヤからの煙流線で、完成直後に撮った写真である。流れの歪みはほとんど認められない。

歪み状況は、図3に示す如くスモークワイヤより流下する煙をワイヤ位置より200, 400, 600, 800mmの各断面でシート光により切断し、下流側より撮影した。

図4はワイヤより800mm下流における流れの断面で、(a)は正常な流れ、(b)は典型的な歪んだ流を示している。歪みの形はこの写真のようなものばかりでなく、中央部が盛り上がっているものや、盛り上がり部分が左右に揺れるものなどいくつかの形が観測されている。



(a) 正常な流れ



(b) 歪んだ流れ

図4 正常な流れと歪んだ流れ

### 3. 歪み発生原因の推定と検証

この流れの歪みはなぜ起こるのか。種々考察しては検証を繰り返した。その主なものを記述する。

#### 3.1 風洞壁面の温度差の影響

この風洞は広い実験室に設置されているものの、

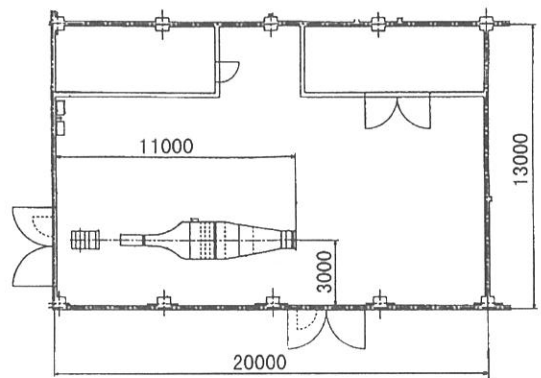


図5 実験室の風洞の配置

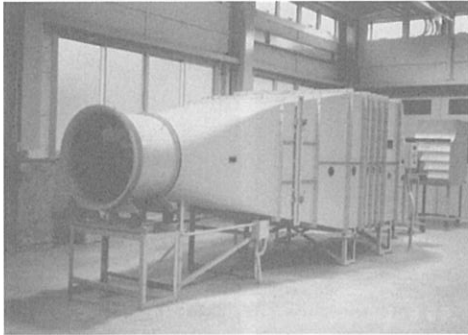


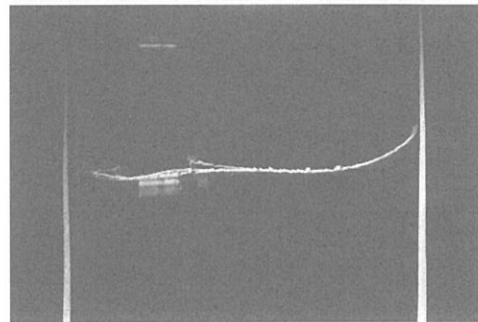
図6 風洞と窓の位置関係

種々考慮し図5および図6に示す如く比較的窓側（南向き）に据え付けた。このため窓側の風洞壁と反対側では温度差が生じている可能性があった。しかも、観測部での風速が1.5～2%の時、一辺1.7mの整流胴内の流速は0.15%前後しかないので、整流胴壁の温度差により対流が発生すれば、その影響は相対的に大きいと考えられる。そこで整流胴内壁とその下流の縮流胴内壁合計5個所に熱電対を貼り、1年間壁温の変化を記録した。その結果、風洞壁面の温度差は夏より太陽の高さが低く実験室内部まで日差しが入る冬の方が大きいことがわかり、最大で3°Cを記録した。この間何度も気流の歪み状況を実験したところ、温度差の大きい方が歪みは大きいと言えるようであった。

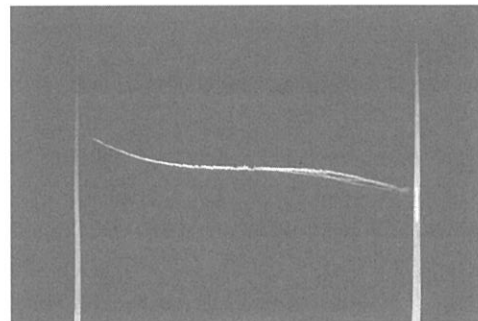
温度差と歪みの関係を検証するため、夜ハロゲンランプを照射し風洞壁に温度差を与え、流れの歪みを記録した。顕著な歪みを発生させるため、温度差は最大10°Cとした。

図7は風洞壁に温度差を与えた時の流れの歪み状況の写真である。(a)は右側(窓側)の風洞壁を暖めた場合で、ワイヤから600mm下流断面の歪みである。照明には100Wスリットストロボを用い、5回フラッシュし多重露光させた。写真の歪みは整流部で発生した右壁面に沿う上昇気流が観測部内にまで持ち込まれた結果と考えられる。(b)は左側(実験室中央側)の風洞壁を暖めた場合で、撮影位置および撮影条件は(a)と同じである。写真の歪みは左側壁面に沿った上昇気流と右側壁面に沿った下降気流によるものと考えられる。

上面を暖めた場合には顕著な歪みは発生しなかった。さらに、温度差がほとんど無くなる深夜にも実験を試みた。結果は予想に反し歪みは必ずしも消えなかった上、昼間には観測されていない新たな歪み現象までキャッチ



(a) 右側(窓側)壁を加熱した場合



(b) 左側(実験室中央側)壁を加熱した場合

図7 風洞壁に温度差を与えたときの歪み

することになった。この新たな現象は中央部に盛り上がり部分が現れ、その部分が観測部壁の一方の端から他方の端へ往復移動するものである。ビデオ撮影中であつたので記録は残っているが、以後一度も再現されていない。

### 3. 2 ファン吸込口付近の気温分布の影響

風洞は実験室内の空気を吸い込む。屋根は最も高いところで7mはあるが、天井が無いので日中の室内空気には高さ方向に温度分布があると考えられる。日によっては実験室の奥行き方向にも温度分布があることも考えられる。

ファンがこのような温度分布のある空気を吸い込んだ場合も歪みは起こり得ると考え、ファン吸込口付近に暖房機を置いてみた。図8はこの場合のスモークワイヤから600mm下流断面の写真である。撮影断面、撮影方法は図7と同じである。暖房機付近の上昇気流の影響はそのまま観測部まで持ち込まれている。歪の形は暖房機とファン吸込口の相対的位置関係により変化する。また、流れは歪みだけでなく脈動現象も現れた。さらに、暖房機を吸込口より相当離れた場所に置き換えても流れは歪むこ

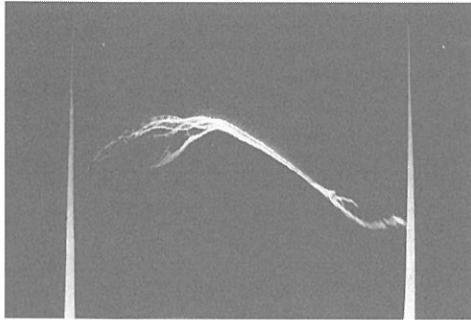


図8 ファンの吸い込み口近くに暖房機を置いた場合の歪み

とも判明した。

### 3.3 ファン吐出流の旋回成分残留の影響

風洞のファンは9枚翼軸流型であるが、吐出流には旋回成分が残留している。これを消すため整流胴部に3/8×100のアルミハニカムが入れている(図9の①)。歪みは風洞起動直後には現れず、ある程度時間が経ってから現れる。図10は、スモークワイヤより400mm下流の断面におけるファン起動後の時間と歪みの変化の状況を示したものである。観測部風速は1.5%である。(a)は起動直後の状態で歪みは認められない。(b)は起動後80秒経過した時の状態で、僅かな歪みが認められる。風洞の構造より、ファンが吸込んだ空気が観測部に到達するには40秒近く

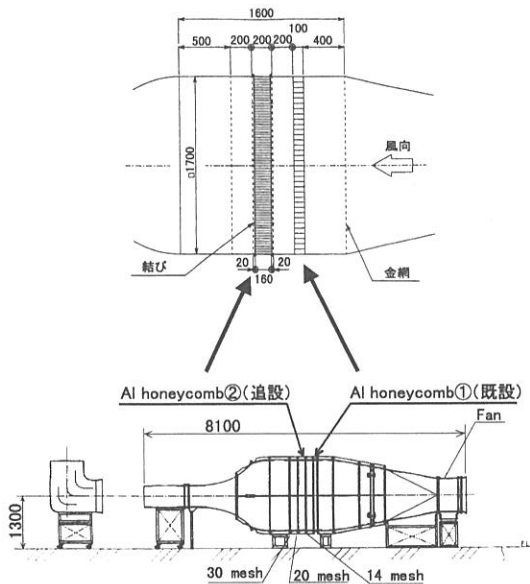
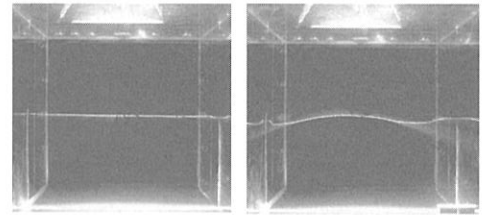
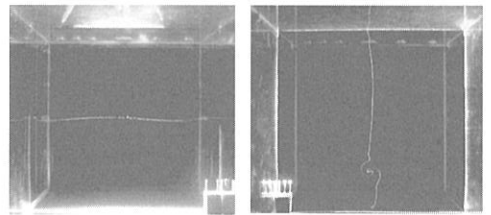


図9 整流格子の追加設置



(a) 起動直後 (c) 120秒以上の安定状態



(b) 80秒後 (d) 安定状態で下面側に現れる縦渦

図10 ファン起動後の時間と歪みの状況

かかるが、吸込まれた空気の前頭部分は起動前に風洞内に滞留していた空気と混合することを考慮すると、ファン吐出流に残留する旋回成分の影響が観測部に現れるのに80秒ぐらいかかってもおかしくはない。(c)は起動後120秒以上経過し、歪みが安定した状態を示している。(d)はスモークワイヤを垂直に張って(c)の状態では煙を流した時の写真である。観測部の下面側に渦の存在が確認出来る。(a)~(c)から類推すると、歪みはファンの吸い込んだ空気が観測部に到達してから現れると考えることが出来る。これが事実とすれば既存のアルミハニカムの整流効果は不十分であると断定することも出来る。そこで図9の②の位置に3/16×160のアルミハニカムを追設した。その後の試験の結果、図4(b)のような歪みは幾分少なくなったようであるが、顕著な効果は認められなかった。しかし、二次の効果としてファンの最大回転数付近で風速が約4%大きくなった。図10(d)については現在さらに突っ込んだ研究を実施中である。

### 4. 歪み防止策とその効果

実験結果を考慮し、これまでに実施した主な歪み防止策は次の通りである。

- (1) 窓にはブラインドを付け、屋根(高さ5m以上)の採光窓は全部板で塞いだ。さらに実験は出来るだけ夜実施することになっている。
- (2) 風洞実験時には実験室内の暖房機使用を禁止する。

(3) 可視化実験の前に風洞を最高風速付近で運転し、実験室内の空気を攪拌して高さ方向の温度むらを小さくするようにする。

(4) 3-3で記述した如く整流格子を増設した。

(1)~(4)の対策に対し、一時的ではあれ最も効果があったのは(3)である。(2)も厳守している項目である。

しかし、現在のところいずれも歪み防止策の決定打にはなっておらず、歪みに対する悩みは続いている。

### 5. 今後の研究課題

最近になって、整流格子を出た後、整流胴から縮流胴を経て観測部に至る部分で、風洞壁面上の境界層内流れが主流部より想定される流れと大きく異なることが判明して来た。図11に示す如くキノコ状の渦が発生しており、これが歪みに強く関わっているようである。図10の(d)はこのキノコ状の渦を示している考えられる。現在この渦の発生状況、発生メカニズムの解明等に取り組んでいる。

### 6. まとめ

試験断面500×500mmの吹出式煙風洞で風速1.5~2%

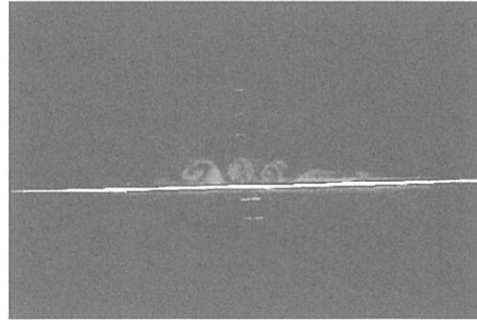


図11 風洞の下部壁に成長するキノコ状渦

の時、気流に歪みが現れ実験に支障の出る場合が生じた。歪みの原因として風洞壁の温度差、ファン吸込口付近の気温分布、ファン吐出流の残留旋回流成分等の影響を考え、検証を繰り返し対応策を採って来たが、いまだ満足すべき結果は得られていない。

最近になって風洞壁に発生するキノコ状の渦が歪みに強く関わっているらしいことが判明した。現在この渦の研究を推進中である。成果が出たら改めて報告したい。