

紫外線を用いた風洞試験の可視化研究 (川俣シルクを用いた最適タフトの開発)

中 村 慎 悟

第一工業大学 教授(Professor) 航空工学科
(〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)
E-mail:shingo-nakamura@daiichi-koudai.ac.jp

VISUALIZATION OF WIND-TUNNEL TEST USING ULTRAVIOLET LIGHT (THE STUDY OF THE OPTIMUM TUFT USING THE JAPANESE KAWAMATA SILK)

Shingo Nakamura
Dep. of Aeronautics Eng., Daiichi Institute of
Technology
1-10-2 kokubu chuo, kirishima city, kagoshima
prefecture, 899-4395, Japan
shingo-nakamura@daiichi-koudai.ac.jp

The visualization of the wind-tunnel test using polyester tufts with ultraviolet ray was developed by Boeing company. We tried to develop the better tuft using traditional Japanese silk, Kawamata Silk. We have successfully developed silk tufts which have better or equivalent performance (traceability) of flow.

Key Words: Low Speed Wind-tunnel, Test, Silk, Tuft, Ultraviolet.

1. はじめに

米国航空機メーカーであるボーイング社及び日本の国内航空機製造会社の低速風洞試験における可視化の一方法として、紫外線ライトを用いた気流糸(流れを感知する糸)による流れの可視化を行っている。これは、ボーイング社が開発した手法で、気流糸を紫外線に反応する蛍光染料で染めると、紫外線照射時に通常の糸よりもはるかに細い糸でも視認性を確保することができるために、糸を境界層流れに入れることによって生じる流れの擾乱を最小限に抑えて真の流れの様子(主に剥離点)を見ることができる。

ボーイング社は、この糸をポリエステルを素材としたもので作成し、長年使用してきた。

平成25年は、このポリエステル製の糸の代わりに日本の福島県川俣地区に伝統的に伝わって

きた川俣シルクを使用してボーイング社のものより感度の良い気流糸を開発できたと報告したが、ボーイング社が本学まで来て確認し、研究結果に懸念を示した。本報告は、それを払拭した報告である。

UVライトを用いた可視化風洞試験:



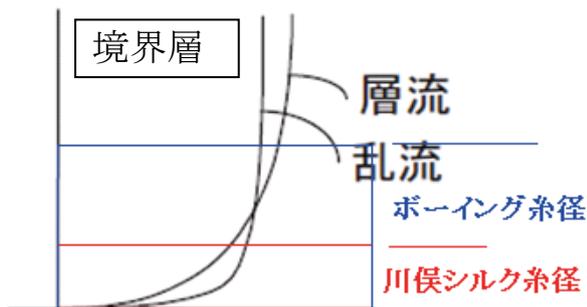
(写真:川崎重工業株式会社提供)

【ボーイング懸念】

「川俣シルクはあまりにも細い(0.02mm)ので、境界層の中に埋没してしまい、その影響で、ボーイングの糸(0.07mm)よりも有風時の糸の剥離に対する反応が遅いのではないか？」

そしてこれを検証するために、以下の実験の実施が提案された。

- (1) 流れの前にボルテックスジェネレータを設置し、境界層を乱流境界層にしたものと層流境界層との比較を行う。
- (2) 絹糸の太さを変えて、太さによる影響を確認する。



(注記)「有風時の糸の剥離に対する反応が遅い」ことは、気流糸が生じる乱れが後流の気流糸に与える影響が少ないからと考え、川俣シルクを用いた気流糸は、既存のボーイング社が使用してきたポリエステルのものより感度が良い(正確)と結論付けた。

2. 風洞設備：

第一工業大学が所有する吹き出し口が1m角のゲッチングン型風洞に上部から紫外線が照射できる照明を取り付けた。



3. 川俣シルクの気流糸：

通常のシルクは、髪の毛の直径の1/2である0.06mmの太さを持つ。これに対し、川俣シルクは、髪の毛の1/3(0.04mm)の太さとなっている。

さらに、通常のシルクは強度を得るために、「撚り」をかけるが、それによって、やわらかさが失われてしまう。川俣シルクは、この撚りを極力抑えて、やわらかい肌触りを実現している。

中でも、斎栄織物と言う会社は、特別に細い糸を吐く蚕を使用して髪の毛の1/6(0.02mm)と言う世界で最も細い絹糸の作成に成功している。平成25年度は斎栄織物殿が無償で提供してくれたこの絹糸を用いて、ボーイングが現在使用しているポリエステル製の気流糸(0.07mm)と比較した。

平成26年度は、これに加え、斎栄織物殿の協力を得て、0.04mm及び0.06mmの川俣シルクを入手した。

4. 使用模型：

過去に使用した木製の翼型に加えて、スティール製の精密翼型模型を使用した。

(1) 木製の翼型模型：

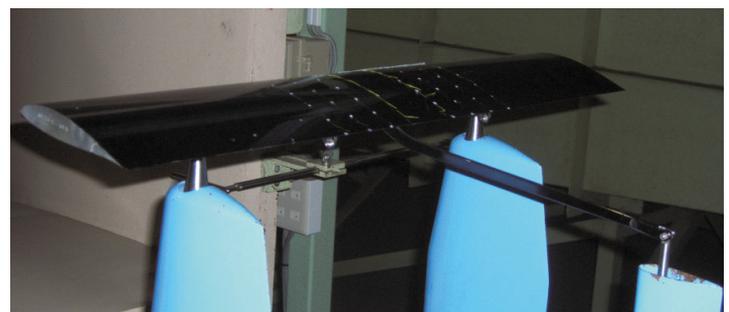
費用節減のために過去に卒業生が卒業研究で使用した木製翼模型の表面を滑らかに加工して、視認性を良くするために黒いつや消し塗料を施した模型に自動車用の黒いフィルムを貼り付けた。

コード：200mm、スパン：700mm



(2) スティール製の精密翼型模型：

学生実験授業に使用している専門業者が製作したNACA-632-615の精密模型
コード：173mm、スパン：700mm



5. 実験に使用した気流系：

- (1) 太さの異なる 3 種類の川俣シルク (紫外線用染色)
- (2) ボーイングが提供してくれたポリエステル製の糸 (紫外線用染色)
- (3) 平成 25 年度にも使用した鹿児島県工業技術センターが提供してくれた紫外線染色絹糸 (この糸はいわゆる一般的な絹糸で数本の絹糸を撚ったものであり、実験した中では一番太い糸)



太さの異なる 3 種類の川俣シルク (紫外線染色)
左から 0.02 mm、0.04 mm、0.06 mm



鹿児島県工業技術センターが提供してくれた絹糸 (黄色) と 0.02 mm 川俣絹糸 (赤色) の比較

ボーイングの糸

6. 気流系貼り付け用テープ：

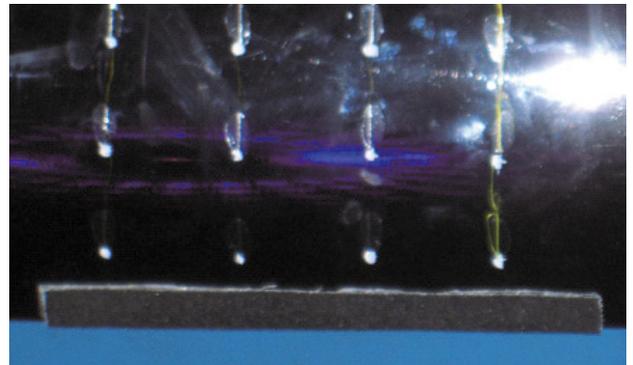
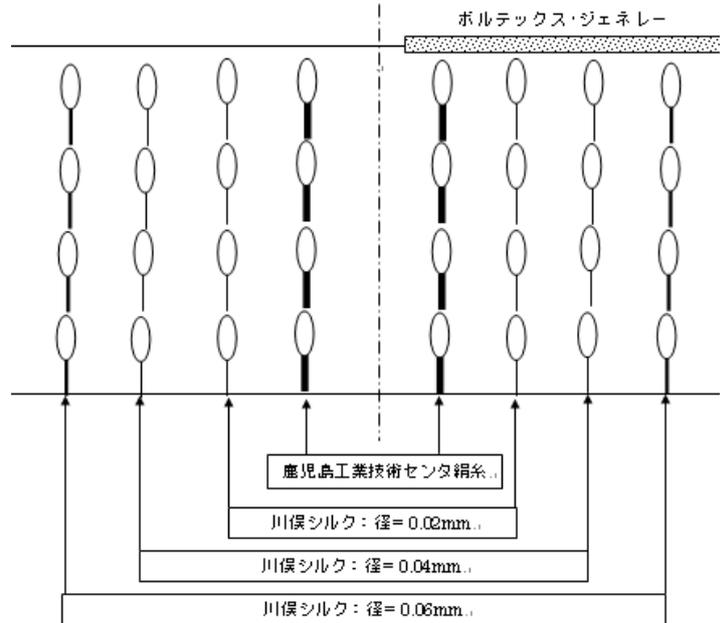
過去と同じ「シバタ SESCO 社製テープ：厚さ約 0.002 mm」を使用した。テープの形状は、テンプレートを用いた楕円型に統一した。



テンプレート

7. 実験 I：

鹿児島県工業技術センターの絹糸を一番内側に置き、外の向かって、0.02 mm、0.04 mm、0.06 mm の糸を翼の中心線を対称軸として対照的に配置し、一方には、60 番の研磨布をボルテックスジェネレータとして翼の前縁に貼り付けた。



60 番の研磨布のボルテックスジェネレータ

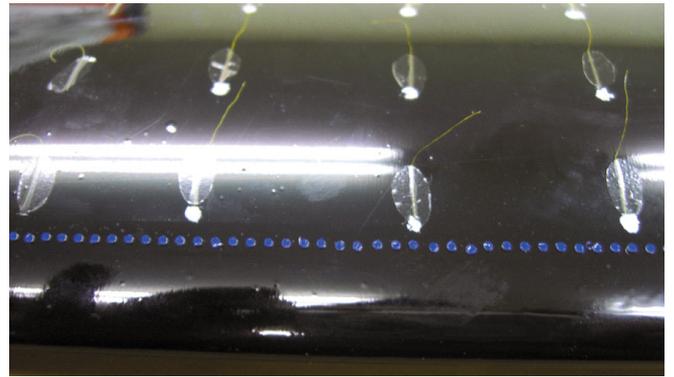
鹿児島県工業技術センターの絹糸は糸の太さの影響から一番最初に剥離を示す挙動 (巻き上がり) を示した (一昨年の実験結果と一致)

また、ボルテックスジェネレータのある側は、ない側よりも明らかに剥離を示す挙動を早く示した。

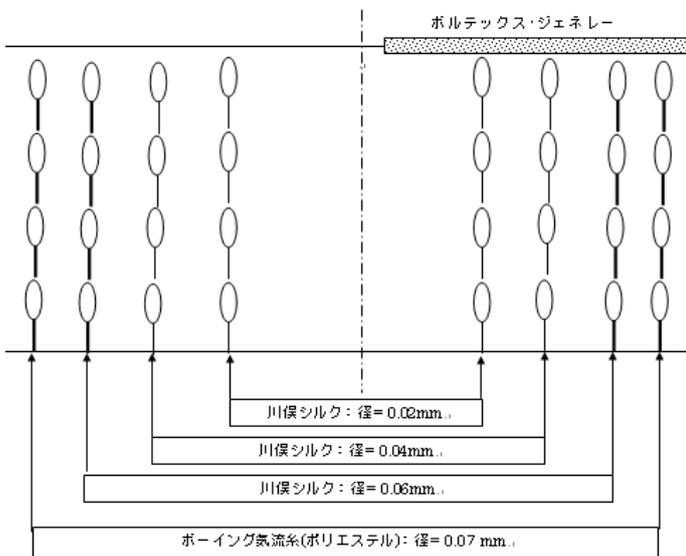
さらに、鹿児島県工業技術センターの絹糸の一番近くに設置した最も剥離を示す挙動が遅く現れると予想した 0.02 mm の川俣シルクの剥離を示す挙動が他の太いものよりも早く現れた。これは、隣の鹿児島県工業技術センターの絹糸の後流の影響を受けていると考えられるので、さらに以下の実験を実施した。

8. 実験Ⅱ：

鹿児島県工業技術センターの絹糸を取り除き、一番外側にボーイングの糸を設置した。予想通り、0.02mmの川俣シルクの剥離を示す挙動が最も遅く現れた。但し、その差は、大変微小で、観察者によって、その評価(遅いか同じか)が分かれてもおかしくない。少なくとも、私及び実験に協力してくれた学生2人は同じ評価であった。今回も、ボルテックスジェネレータのある側は、ない側よりも明らかに剥離を示す挙動を早く示した。



ボーイングのボルテックス・ジェネレータ(青色の点)貼付状態写真



この結果(動画)を、たまたま来日していた上記の懸念を指摘してくれたボーイングの技術者に示したところ、60番の研磨布を使用したボルテックスジェネレータがボルテックスジェネレータとして機能しておらず、上流で流れを乱している可能性があるとの指摘を受け、別件のために持参していたボーイング社の低速風洞試験用標準ボルテックスジェネレータを分けてもらうことが出来た。

9. 実験Ⅲ：

60番の研磨布の代わりにボーイング社の低速風洞試験用標準ボルテックスジェネレータを設置して、実験Ⅱを再度行った。結果は、ボルテックスジェネレータのある側は、ない側よりも明らかに剥離を示す挙動を早く示す現象は解消され、全ての気流糸の剥離を示す挙動が、ほとんど同じとなった。ただし、我々には、微小ながら、0.02mmの川俣シルクの剥離を示す挙動が最も遅く現れるように考えられた。

10. 結論：

以上の3つの実験より以下の結論が導き出される。

- (1)「川俣シルクはあまりにも細い(0.02mm)ので、境界層の中に埋没してしまい、その影響で、ボーイングの糸(0.07mm)よりも有風時の糸の剥離に対する反応が遅いのではないか？」と言うボーイング社からの指摘は実験Ⅲの実験結果から、境界層の中に0.02mmの川俣シルクは埋没していないことが明らかになった。
- (2) 太さの異なる3種類の川俣シルク及びボーイングが提供してくれたポリエステル製の糸は、剥離に対してほとんど同等の挙動(性能)を示した。
- (3) その中でも、主観的ではあるが、0.02mmの川俣シルクが最も流れを乱すことなく、剥離を可視化できるように感じられた。
- (4) 木製の翼型模型とスチール製の精密翼型模型では、ほとんど差を見ることができなかった。このことは、昨年まで行ってきた木製の翼型模型を用いた実験結果に信頼性があることを示している。
- (5) 0.02mmの川俣シルクを用いた実験が最適な気流糸による流れの可視化であると結論付ける。

11. 今後の課題：

- (1) 開発したボーイング社の使用されているものと同等の気流糸を活用して、物理現象の把握に努める。
- (2) 以下の第12項で示したの疑義をテープ形状を変えて確認する(但し、本学の風洞の風の乱れの精度を考えると試験結果に精度の信頼性を欠くし、重大な問題であると認識はしていない)。

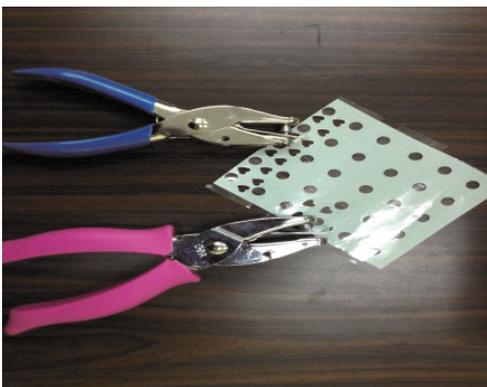
12. 疑義：

昨年の実験結果では、明らかにボーイングの糸よりも0.02mmの川俣シルクの剥離を示す挙動が遅く、それは、昨年暮れに本学を訪問して、再現試験によって確認したボーイングの技術者も同じ意見であった。

ところが、上述のように、本年の試験では、両者に昨年ほどの顕著な差を見出すことが出来なかった。昨年の実験との差は、気流糸を翼に止めているテープ形状の差(昨年はパンチ穴あけを利用した丸と逆ハート型、今年はテンプレートを利用した楕円型)である。昨年の実験結果との差の原因がこのテープ形状によるものかどうかは現在定かではない。



昨年の気流糸を貼り付けたテープ



一つ穴パンチと切り取った形状

【補足】 今までは、鹿児島工業技術センターのご好意の下に絹糸にUVライトに反応する塗料の染色をお願いしてきましたが、鹿児島工業技術センターのご指導をいただいて、平成25年度から、自分達で染色することに成功した。

