



## 層流後退翼の境界層遷移制御に関する風洞実験

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター 公開日: 2016-04-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 高木, 正平, 伏木田, 裕介, 正木, 陽 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008841">http://hdl.handle.net/10258/00008841</a>

# 層流後退翼の境界層遷移制御に関する風洞実験

- 高木 正平(航空宇宙機システム研究センター 教授)  
伏木田 裕介(航空宇宙システム工学専攻 博士前期1年)  
正木 陽(航空宇宙システム工学専攻 博士前期1年)

## 1. 研究目的

後退翼面上に発達する三次元境界層は、横流れ不安定によって二次元境界層と比較して早期に乱流化することは周知である。翼が後退すると圧力勾配の方向と主流方向が異なることから外部流線と直角方向に横流れ速度成分が誘導され、その分布は変曲点を持つために非粘性型不安定が生じることに起因している。この不安定は横流れ不安定と呼ばれ、この不安定に起因して成長する定在型の縦渦は、翼表面粗さに極めて敏感であることも良く知られている。その不安定性を利用し、本研究では後退翼前縁近傍に微小な粗度列を添付することで縦渦の成長を制御し、乱流遷移の促進、あるいは遅延技術を獲得することを目的とする。すなわち、自然遷移で見られる縦渦の波長に粗度間隔を選べば遷移が促進され、波長の60~75%程度に選べば遅延されることが期待できる。

## 2. 実験装置

### 2.1 低乱熱伝達風洞

本実験では、東北大学流体科学研究所所有の低乱熱伝達風洞を用いた。開口部断面は正八角形、開口面積は0.544[m<sup>2</sup>]であり、また風速は28~35[m/s]で実験を行った。

### 2.2 層流翼

本実験では翼弦長  $c=600$ [mm]、翼幅  $S=910$ [mm]の層流翼 NLF(2)-0415 を用いた。模型設定条件は迎角  $\alpha = -4$ [deg]、後退角  $\Lambda = 45$ [deg]とした。設置した模型側面写真を図1に示す。



図.1 設置した模型側面写真 (NLF(2)-0415)

### 2.3 赤外線カメラ

本実験では日本アビオニクス社製の赤外線カメラである Advanced Thermo TVS-500 を使用した。主な仕様は動作環境-10[°C]~50[°C]、有効表示画素数 320(H)×240(V)、最小温度分解能 0.06

[°C]以下，空間分解能 1.68[mrad]である．

### 3. 実験結果

#### 3.1 翼表面静圧分布計測

主流速度  $U=28$ [m/s]において 16 点の静圧孔から得られた静圧分布を図 2 に示す．図 2 より 70[%]翼弦長までは順圧力勾配であり，翼の前縁近傍は特に圧力勾配が大きいことから，この領域では強い横流れ速度成分が誘導される．従って境界層遷移を制御するための粗度の貼付には効果的な位置と考えられる．

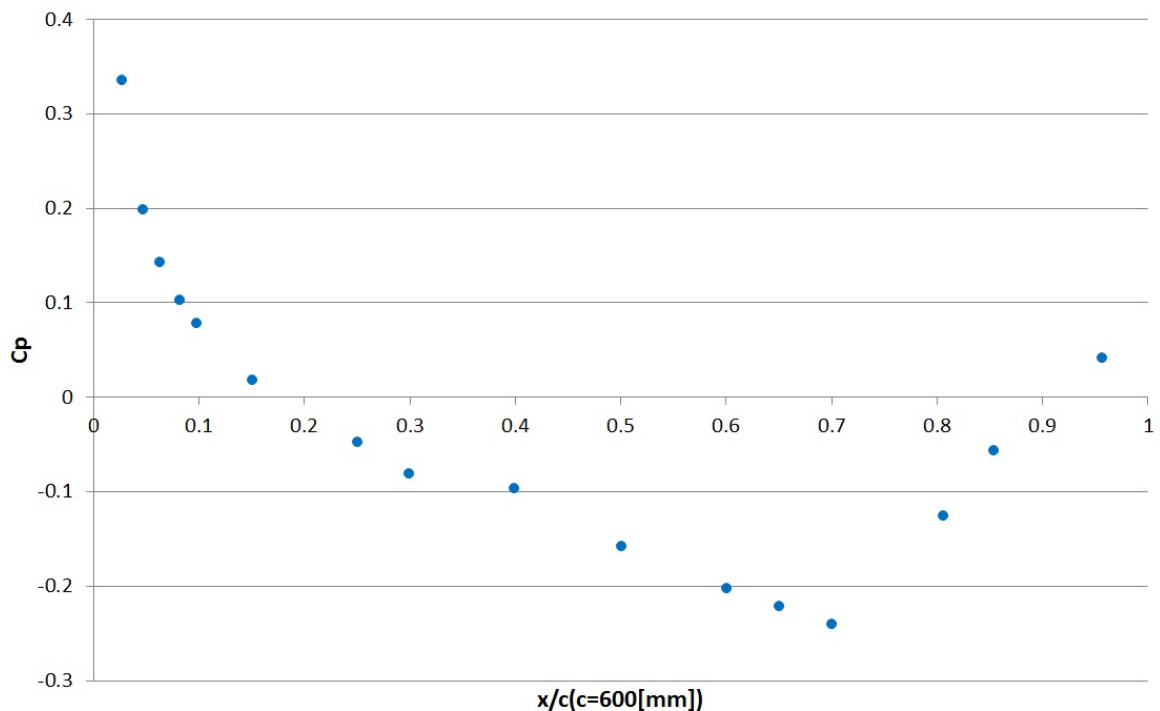


図 2 NLF(2)-0415 の静圧分布

#### 3.2 ナフタレン昇華法による可視化実験

ナフタレン昇華法による模型表面流れの縦渦及び乱流遷移点の可視化実験を行った．図 3 に粗度の無い滑面状態，すなわち自然遷移状態において，ナフタレン昇華法による翼表面の可視化結果を示す．縦渦の挙動に伴って生じる筋状の痕跡から，縦渦の平均波長は  $\lambda=7$ [mm]であった．その結果より，縦渦を成長促進させるには粗度間隔を  $\lambda=7$ [mm]，逆に成長を抑制するには  $\lambda=4.7 \sim 5.2$ [mm]程度に決定すればいいことが分かった．そこで厚さ  $t=50$ [ $\mu$ m]，幅 1.2mm，長さ 10mm の粗度を水平線に対して角度 15 度で粗度の上流先端が  $x/c=0.023C$  の位置に貼り付け，粗度間隔を  $\lambda=7$ [mm]と  $\lambda=5.2$ [mm]，また貼付しないケースを同一模型内で，主流速度  $U=35$ [m/s]で実施した．その結果を図 4 に示す．ナフタレンの昇華が早いほど乱流遷移が早いと診断されることから，粗度間隔が  $\lambda=5.2$ [mm]，粗度なし，粗度間隔  $\lambda=7$ [mm]の順に乱流遷移が進行することが分かった．この結果より，粗度の間隔を自然遷移で観察される波長の 75%にすれば乱流遷移を人工的に遅延できることが実証できた．

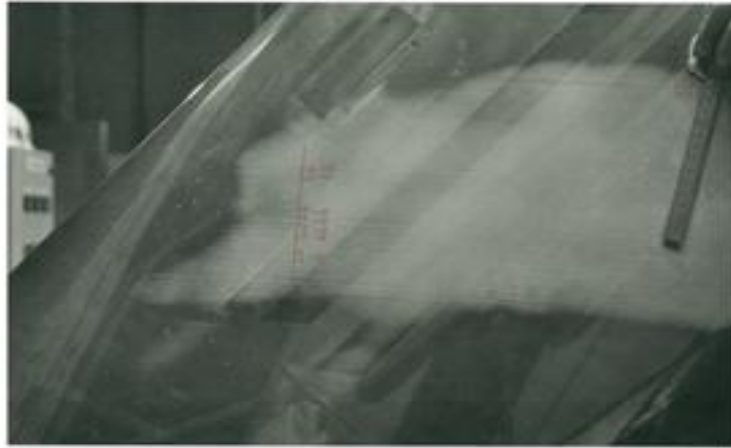
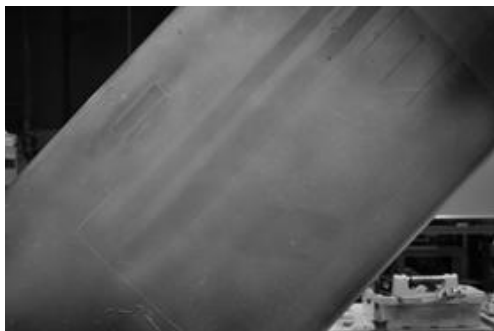
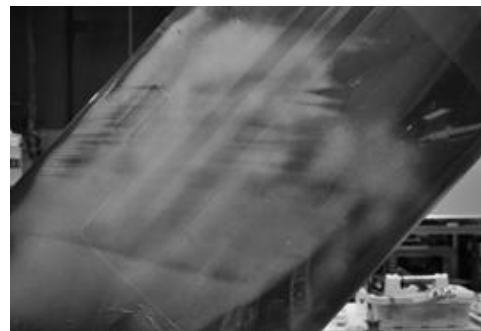


図3 ナフタレン昇華法による滑面の可視化



(a) 通風前のナフタレン塗布状況



(b) 通風後のナフタレン塗布状況

図4 ナフタレン昇華法による粗さ貼付した表面の可視化

### 3.3 赤外線カメラを用いた可視化実験

図5には、赤外線カメラによる模型表面の温度分布画像を示す。模型表面に断熱フィルム(50  $\mu\text{m}$ )を貼付し、通風前の予熱した温度分布と通風後の温度分布との温度差をマッピングした画像であるが、模型表面を断熱フィルムで覆ったけれども、模型が熱伝導性の良いアルミ製であるため模型表面温度の均一化が予想以上に早く、縦渦の存在を示す筋状の痕跡は確認することができなかった。

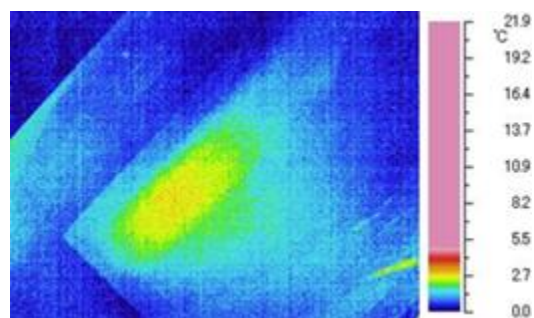


図5 赤外線カメラによる模型表面温度分布

### 3.4 熱線風速計による縦渦の計測

主流速度を  $U=28[\text{m/s}]$  として図6には  $c=50\%$  において前縁に平行なスパン方向に熱線をトラ

バースして計測した平均速度分布を示す。粗度を貼付すると縦渦の存在を表す正弦波構造の振幅をはっきりと捉えており、ナフタレン昇華法の結果と整合している。ただ、滑面の自然遷移過程では、振幅は非常に小さい。c=60%、70%位置でも同様の計測を行ったところ、下流方向に振幅の減衰傾向を示した。

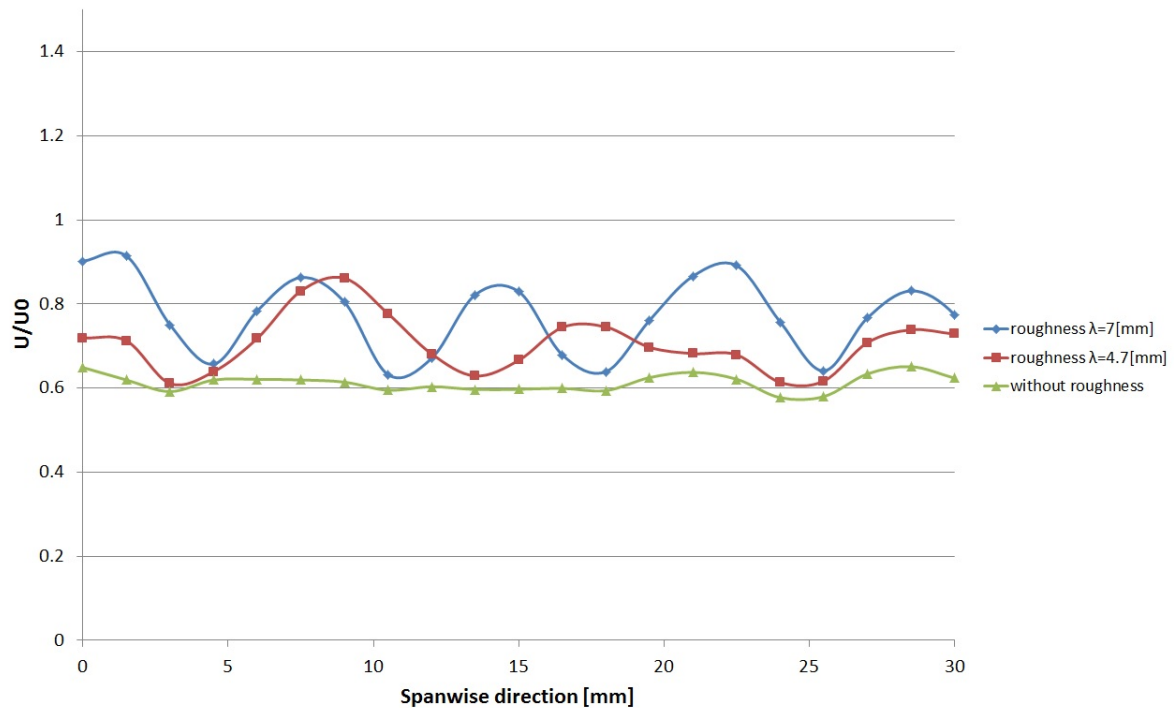


図 6 熱線風速計による前縁平行方向の 50%翼弦位置における速度分布  $u/U(U=28[m/s])$

#### 4.まとめ

横流れ不安定が遷移過程を支配している三次元境界層において、横流れ不安定の強い模型前縁近傍に粗度間隔を選択することで、遷移を遅延、ないしは促進できることを実証できた。自然遷移で観察される縦渦間隔に粗度を添付すると遷移が促進され、75%程度の間隔で粗度を貼付すると遷移が遅延されるという結果であった。また、熱線計測により縦渦の存在を示す平均速度の分布を取得でき、可視化実験から得られた結果と整合していることを確認した。今後はより鮮明な可視化写真を得るためにナフタレン昇華法の習熟が求められる。粗度の形状、厚み等パラメータの影響も詳しく調査する必要があり、さらに明確な確証試験(熱線計測等)が望まれる。