

# スパン方向周期攪乱による乱流境界層の制御

大坂 英雄\* 福島 千晴\*

## Turbulent Boundary Layer Interacting with Spanwise Periodic Longitudinal Vortex Arrays

by

Hideo OSAKA and Chiharu FUKUSHIMA  
Dept. of Mechanical Engineering, Yamaguchi University

### ABSTRACT

Detailed mean and turbulent flow measurements have been made to investigate the development of turbulent boundary layer interacting with artificially generated trailing vortex arrays in a free stream. Two parameters, namely spanwise period of the longitudinal vortex arrays ( $L/S$ ) and ratio of the longitudinal vortex scale to boundary layer scale ( $b/\delta_0$ ), were varied for five cases. As a results, it can be found that whether each quantity shows linear or nonlinear interaction is significantly dependent on the value of  $L/S$ .

**Keywords:** turbulence, boundary layer, longitudinal vortex arrays, mean and turbulent flow field

### 1. はじめに

本研究では、主流中で生成される定常でスパン方向に周期的な縦渦列を空間増幅型の攪乱としてとらえている。従って、この時縦渦列の強さと波長（スパン方向周期）を適切に選択すれば、スパン方向変動の振幅が流れ方向に増幅（従って、乱流境界層の分布のスパン方向変化が増加）する場合があると考えられる。

これまで縦渦と干渉した乱流境界層に関する研究は、Bradshawら<sup>1),2)</sup>、Pauley-Eaton<sup>3)</sup>による研究がある。また、主流中の縦渦列と乱流境界層との干渉に関する研究は古屋ら<sup>4)</sup>、中村ら<sup>5)</sup>及び高木ら<sup>6)</sup>の研究がある。しかしながら特に縦渦列のスパン方向周期に注目した研究は少ない。

そこで本報告では主流中で生成される縦渦列と干渉した乱流境界層の発達を特に縦渦列のスパン

方向周期の影響に注目して調べる。

### 2. 実験装置及び方法

Fig. 1 は流れ場の概要を示す。実験条件はTable 1 に示す 5 種類である。Case 1~Case 3 では、翼素間隔  $L$  を変化させることにより縦渦列のスパン方向周期  $L/S$  の影響を調べる。一方、Case 1 と 4、Case 3 と 5 では要素の設置高さ  $h$  を変化させることにより、干渉開始位置での縦渦列の尺度  $b$  と境界層の尺度  $\delta_0$  との比  $b/\delta_0$  の影響を調べる。主流速度は  $7\text{m/s}$  一定であり、この時の主流乱れ強さは約  $0.27\%$  である。平均速度、乱れ強さの 3 成分及びレイノルズ剪断応力の測定には  $x$  形プローブ（直径  $4\mu\text{m}$ 、受感部長さ  $1.25\text{mm}$ ）が、一方壁面剪断応力の測定にはプレストン管（外径  $1\text{mm}$ 、内外径比  $0.8$ ）が使用された。測定断面は、スパン方向 ( $z$ ) の変化を調べる場合、壁面剪断応力については  $z = -300 \sim 300\text{mm}$  の範囲で、平均速度、

\* 山口大学工学部

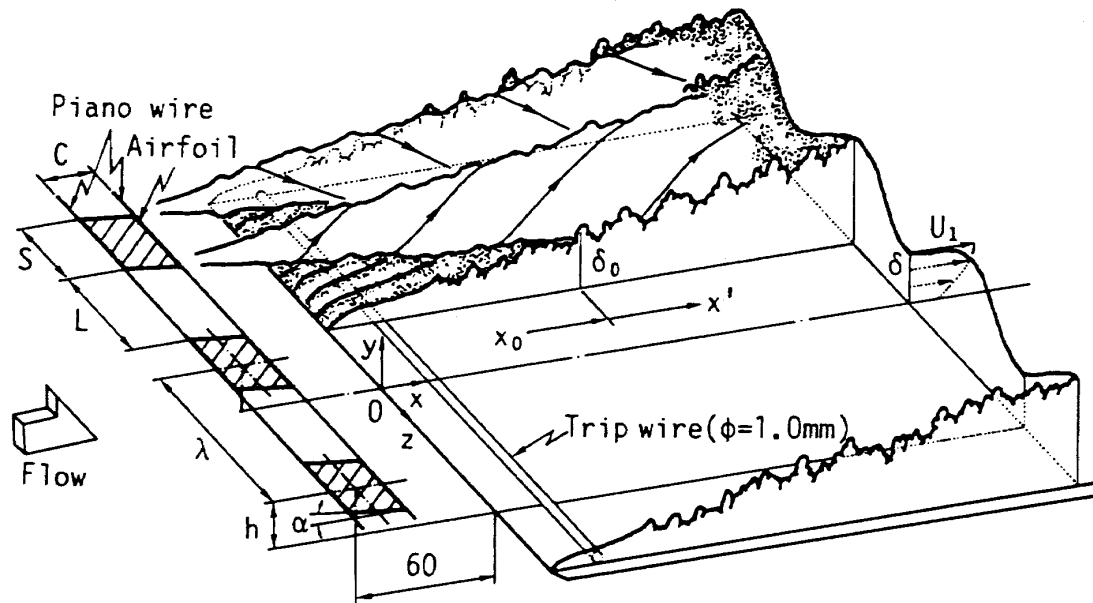


Fig.1 Schematic diagram of flowfield, airfoil arrays, nomenclature and coordinate system.

Table 1 Arrangement of Airfoil Arrays

	$\alpha$	$\lambda$	L	L/S	h	$\delta_0$	b/ $\delta_0$	$x_0$
Case 1	8°	45	15	0.5	35	13	1.8	530
Case 2	8°	62	32	1.07	35	13	1.8	530
Case 3	8°	150	120	4	35	13	1.8	530
Case 4	8°	45	15	0.5	45	17.5	1.6	775
Case 5	8°	150	120	4	45	17.5	1.6	775

乱れ強さ及びレイノルズ剪断応力については翼素一周期の範囲である。流れ方向(x)については、 $x=500\sim 3500\text{mm}$ の範囲である。流れ方向の表示には、干渉開始位置 $x_0$ からの距離 $x'$ を $x_0$ 位置での境界層厚さ $\delta_0$ で無次元化した $x'/\delta_0$ が使用された。

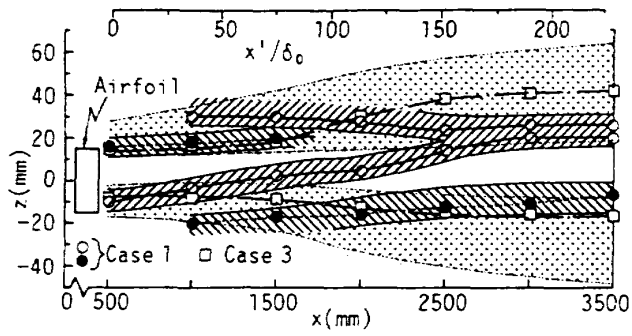
### 3. 実験結果及び考察

Fig.2(a)~(c)は縦渦列の経路、その長さスケールと壁面摩擦応力係数 $C_f$ 及びその変動係数との関係を示したものである。ここでは特に縦渦列のスペン方向周期の影響に注目し、 $L/S < 1$  (Case1)と $L/S > 1$  (Case3)の結果を代表例として示す。縦渦列の経路及びその長さスケールは、それぞれ流れ方向平均渦度 $\Omega_x$ が最大となる位置、及び $\Omega_x$ の最大値の50%をとる領域として評価された。 $L/S < 1$  (Case1)の場合、縦渦の粘性拡散、合体により $x'/\delta_0 = 150$ で縦渦列のスペン方向波長が変化

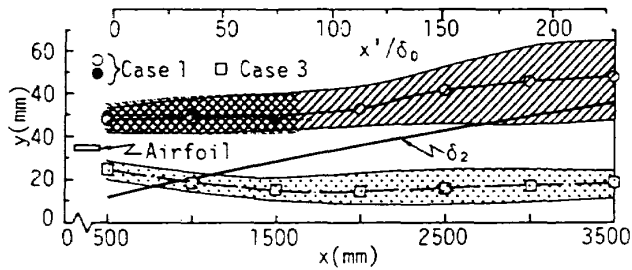
している。図示していないが、この位置はちょうど $C_f$ 分布のスペン方向波長が変化し始める位置であり、縦渦列の構造の変化と層内の分布のスペン方向波長の変化とが密接に関連していることが分かる。同時にその変動係数 $C_v$ もこの位置から下流に向かって増加している (Fig. 2(c))。ただし、この時縦渦列は境界層の外端と干渉していることに注意したい。一方、 $L/S > 1$  (Case 3)の場合、縦渦列は境界層内に深く埋没し (Fig.2(b))、 $C_f$ 分布及び各平均量、乱流量分布がスペン方向の著しい周期的変化を示すにもかかわらず、その波長は流れ方向に維持され (図示していない)、同時に縦渦列のスペン方向波長も流れ方向に維持されている (Fig. 2(a))。この場合変動係数 $C_v$ は干渉後著しく大きな値を示すが、その後単調に減少する傾向を示す (Fig. 2(c))。

### 4. まとめ

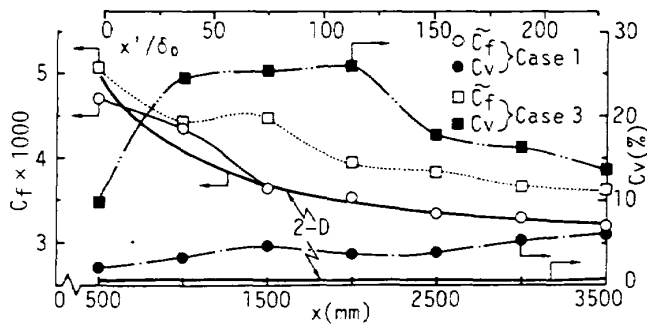
主流中の縦渦列と干渉した乱流境界層内の各分布は、縦渦列のスペン方向周期に依存して規則的な変化を示す場合と、不規則な変化を示す場合とがあることが明かとなった。すなわち、 $L/S < 1$ の場合、各分布のスペン方向変化は小さいが、スペン方向波長が流れ方向に変化する。一方、 $L/S \geq 1$ の場合、各分布は翼素から発生する縦渦列と



(a) Paths of longitudinal vortices and extents of vortex length scale in spanwise direction.



(b) Paths of longitudinal vortices and extents of vortex length scale in normal direction.



(c) Spanwise averaged value of  $C_f$  and its coefficient of variance.

対応したスパン方向の周期的変化を示すが、スパン方向波長は流れ方向に維持される。

### 参考文献

- 1) Shabaka, I. M. M. A., 他 2 名, J. Fluid Mech., 155 (1985), 37.
- 2) Mehta, R. D., and Bradshaw, P., J. Fluid Mech., 188 (1988), 529.
- 3) Pauley, W., and Eaton, J. K., AIAA J., 26 (1988), 816.
- 4) 古屋, 他 3 名: 機論, 45-393 (1979), 618.
- 5) 中村, 他 3 名: 機論, 53-492 (1987), 2340.
- 6) 高木, 佐藤: ながれ, 2-3 (1983), 288.

Fig.2 Relationship between the paths of longitudinal vortex arrays and the skin friction coefficient.

