

# サッカーボールの空力特性と 2D-PIV による流体解析

## Aerodynamic characteristics of soccer ball and fluid analysis by 2D-PIV

坂本 悠綺<sup>1)</sup>

指導教員 伊藤 慎一郎<sup>2)</sup>, 平塚 将起<sup>2)</sup>

1) 工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 スポーツ流体研究室

2) 工学院大学 工学部 機械工学科

キーワード: drag crisis, soccer ball panels, separation, particle image velocimetry analysis

### 1. 緒言

近年、サッカーボールのパネルは、従来の 5 角形 6 角形で構成されるパネルと大きく異なり、ボールの表面の形状とデザインが変化している。そのため、サッカーボールに関するさまざまな空力研究が報告されている。Alam ら<sup>[1]</sup>は、異なるパネル形状によるいくつかのサッカーボールの無回転の空気特性の違いを報告した。しかし、溝の形状とドラッグクライシスの  $Re$  数領域の空力特性との関係はまだ明らかになっていない。本研究では、異なるパネルの空力特性の違いを調査し、溝形状とドラッグクライシスの関係を確認した。また、ドラッグクライシスが起る  $Re$  数がパネル形状によって異なる原因を解明するために 2D-PIV 計測を行った。

### 2. 研究方法

本研究において、Table 1 に示す 11 球種を使用した。

#### 2. 1. 流体力計測

抗力測定は、風洞と 3 分力計を用いて、Table 1 に示す、異なる 11 種類のサッカーボールで実験した。サンプリングは、コンピューター制御の下で 1 m/s ごとに風速 3~29 m/s まで、9.0 s 間で 1000 Hz で行い、実験値は平均した。

#### 2. 2. 溝計測

各ボールのパネル接合部の溝の断面積は

KEYENCE の 3D 形状測定装置を用いて測定した。溝の長さは、すべての溝にひもを入れて測定した。溝体積は溝の長さと同断面の積で求めた。

#### 2. 3. 2D-PIV 計測

亜臨界、臨界、超臨界領域で剥離点を可視化するために、流れの円周方向で 2D-PIV (2 次元粒子画像流速) 測定をした。

Table 1 Soccer balls used in this experiment

Telstar18	Krasava	Finale	Vantaggio
			
Ordem	Evopower	Delta	Tango12
			
Teamgeist	Jabulani	Merlin	
			

### 3. 結果と考察

#### 3. 1. 流体力計測

図 1 は、各ボールの  $C_D$  線図である。 $Re$  数は  $1.0 \times 10^5$  から  $2.4 \times 10^5$  の範囲でボールの抗力係数は約 0.5 から 0.2 に急速に変化する。これは、層流剥離から乱流剥離へのボール周りの流れの変化で

ありドラッグクライシスと呼ぶ。この現象を明らかにするために、ドラッグクライシスの開始  $Re$  数と終了  $Re$  数を start  $Re$ 、End  $Re$  として定義した。Evopower は start  $Re$ 、End  $Re$  はそれぞれ  $1.0 \times 10^5$  及び  $1.2 \times 10^5$  として最も小さい値であり、Jabulani では  $1.8 \times 10^5$  及び  $2.4 \times 10^5$  として最も大きい値だった。Evopower の周りの流れでは約 5 m/s で乱流になったが、Jabulani の周りの流れは約 12 m/s で乱流になった。他のボールもそれぞれ、start  $Re$ 、End  $Re$  が異なっていた。このことからボール溝は、層流境界層から乱流境界層への促進の要因となることがわかる。この現象の原因は、ボールのパネル形状の違いにあると考えた。

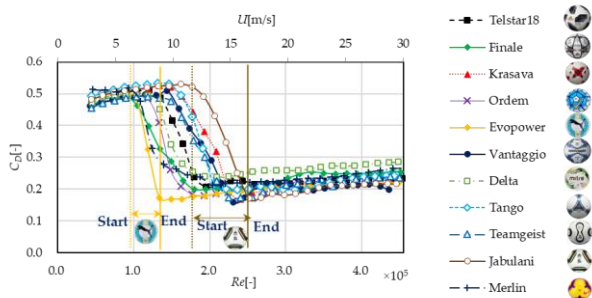


Fig.1 The  $C_D$  diagram of each ball

### 3. 2. 溝計測

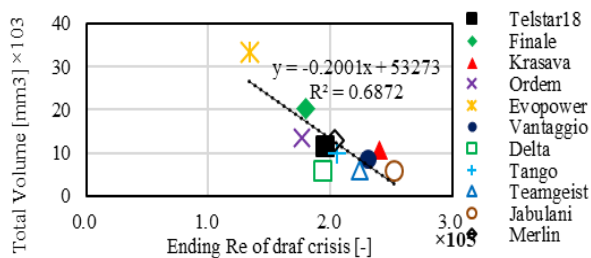


Fig.2 Relation between Start  $Re$  and groove volume

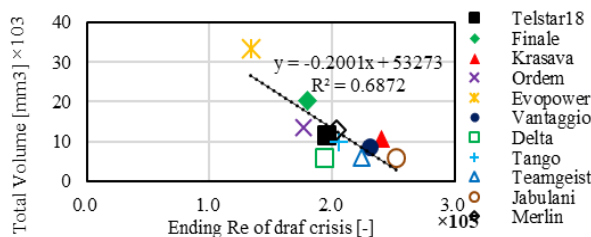


Fig.3 Relation between End  $Re$  and groove volume

図 2、3 に示す、総体積と Start  $Re$  数の相関係数は  $-0.63$ 、総体積と End  $Re$  数の相関係数は  $-0.83$  であり、この傾向が非常に強いことを示している。

### 3. 3. 2D-PIV 計測

表 2 は Evopower の 2D-PIV の結果であり、左から順に亜臨界、臨界、超臨界領域であり、各図には剥離点と後流を示した。また、緑色の線はレーザー照射ラインである。ボールの左部分をボール中心から  $0^\circ$  と定義した場合、亜臨界領域では、 $90^\circ$  付近で剥離した。図 1 の  $1.0 \times 10^5$  未満のレイノルズ数の  $C_D$  は約  $0.5$  であり、 $90^\circ$  付近で剥離したことから後流の幅が大きくなった。一方、超臨界領域では  $90^\circ$  以上で剥離点が見られ、図 7 のレイノルズ数が  $1.2 \times 10^5$  以上では  $C_D$  が約  $0.2$  に小さくなった。これはレイノルズ数が増加してボール溝が境界層を刺激し、境界層付近が乱流になったため、流れの剥離点が後方に移動し、後流の乱流幅が狭くなったからである。一方ドラッグクライシスでの流れでは、剥離点の位置と後流の流れ方向は、ボールパネルの向きによって異なった。これより、ドラッグクライシス最中ではパネルによって層流剥離と乱流剥離が混在し、ボール周りの流れが部分的に異なることがわかった。

Table 2 The 2D-PIV Results of the Evopower

Panel Orientation & Laser position	Subcritical (5m/s) $Re = 7.3 \times 10^4$	Critical (8m/s) $Re = 1.2 \times 10^5$	Supercritical (15m/s) $Re = 2.2 \times 10^5$

### 参考文献

[1] Alam, F., Chowdhury, H., Moria, H., Fuss, F. K. (2010). A comparative study of football aerodynamics, Procedia Eng, 2, pp. 2443-2448.