

風洞気流中で回転するサッカーボールの空気力の測定

Aerodynamic force on spinning soccer ball in the wind tunnel

○ 藤村龍平 (福岡工大院) 趙凌波 (福岡工大院) 池田治人 (福岡工大)
正 溝田武人 (福岡工大) 正 大屋裕二 (九大) 正 岡島厚 (金沢大名誉教授)

Ryouhei FUJIMURA, Fukuoka Institute of Technology,
Wjiro-Higashi 3-30-1 Higashi-ku Fukuoka 811-0295
ZHAO Ling Bo, Fukuoka Institute of Technology
Haruhito IKEDA, Fukuoka Institute of Technology
Taketo MIZOTA, Fukuoka Institute of Technology
Yuji OYA, Kyusyu University
Atsushi OKAJIMA, Kanazawa Gakuin college

Accurate method to measure aerodynamic force on spinning soccer ball is studied. To get smooth rotation of soccer ball in wind tunnel flow, rotation shaft was inserted in the ball after filled with a foaming urethane agent, to keep sphere shape of the ball. Static balance around rotation shaft is hold kept using some weight balances. But, dynamic balance around this shaft is not enough to continue wind tunnel experiment for aerodynamic force measurement.

Key Words: spinning soccer ball, Structure of the ball, Structure of the frame

1. 緒言

ボールを使うスポーツにおいて回転を加えることは欠かせない。世界で最も競技人口の多いサッカーの試合に関してもバックスピン、カーブボール、トップスピンのかかったドライブシュートなど回転が加わるにより様々な軌道を描くシュートやパスが見られる。また、フリーキックやコーナーキックといったセットプレー時には最大の武器となる。

近年、ブレ球や無回転シュートなどと呼ばれる、揺れながら飛翔するサッカーボールについてニュースで頻繁に取り上げられることが多くなり、メカニズムを解明するため研究が進められてきた¹⁾。しかし回転するサッカーボールについて明確な実験データが得られていない。

そこで、本研究では滑らかに回転するサッカーボール及びサッカーボールを取り付けるフレームを製作し、大型風洞を使って回転している時のサッカーボールに加わる空気力の測定を行う方法を検討している。

回転して飛翔するサッカーボールに作用する空気力 (C_D, C_L, C_S) は、

- (1) 進行方向と回転軸の方向の関係
- (2) レイノルズ数 Re
- (3) スピンパラメータ Sp

でまとめられる。

2. 実験装置

2.1 サッカーボールの回転方法

Fig.1 に実験に使用するために製作したサッカーボールの風洞測定部への取付けを示す。

サッカーボールを滑らかに回転させる為に、ボールに固定した中心軸を挿入する。ベアリングを介してその中に中空の回転軸を入れて、内部にピアノ線を4本通す。両端を風洞外部のフレームに固定する。フ

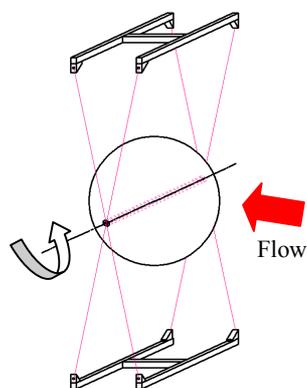


Fig.1 Ball suspension and rotation axis

レームはロードセルに乗っている。ボールの回転軸にシャフトを正確に取り付け安定した回転を得ることは難しい。

そこでボールに発泡ウレタンを注入して内部を充填させ、ボールの球型に保ちシャフトを固定させた。セットボルトを120度おきに3点から埋め込むことで、ボールの重心を取ることを試みた。シャフトには直径12mm、ピアノ線には直径0.5mmのものを使用し、このときボールの総重量は0.83kgとなった。また、ボールには2010W杯公式球であるジャブラニ (JABULANI) を使用している。

2.2 取り付け装置

Fig.2 に装置の全体図を示す。

実験に使用する3分力ロードセルの許容質量である5kg以内に抑えるため800×800mm四方の平面構造にした。またフレームには軽量化しなければならない為、アルミ角柱パイプを使用している。このときフレームに加わる抗力を小さくする為に、フレーム側面に半円の発泡スチロールを取り付けた。

フレームの上部

と下部にはサッカーボールに通したピアノ線を張る為、H型のフレームを設けている。このH型フレームは回転できるように設計しており、回転軸を0度 (バックスピン)、30度、60度、90度 (スパイラル回転)、-30度、-60度の6方向に角度を変えてボルト・ナットで固定する。(Fig.3)

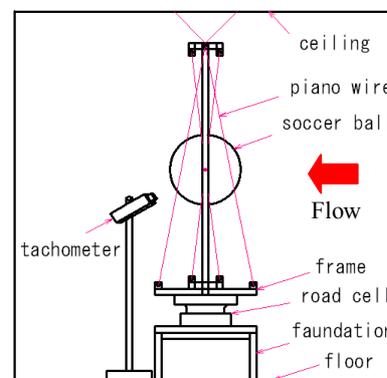


Fig.2 The set-up view of the device

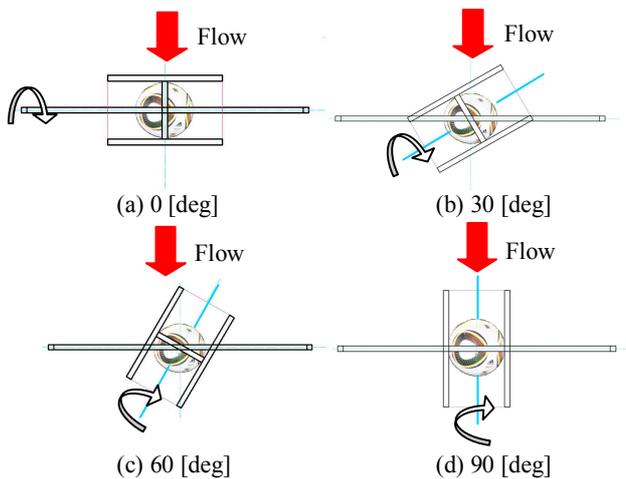


Fig.3 Wind velocity and ball and rotation direction, top view

サッカーボールの回転数を測る装置にはタコメーターを使用した。サッカーボール表面に取り付けた反射板で跳ね返ったレーザーを読み取り、回転数を測定する。(Photo.1)

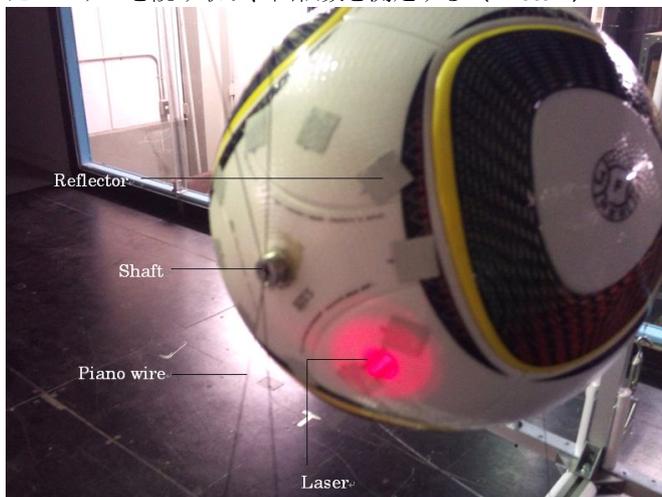


Photo.1 Laser light far detecting revolution speed

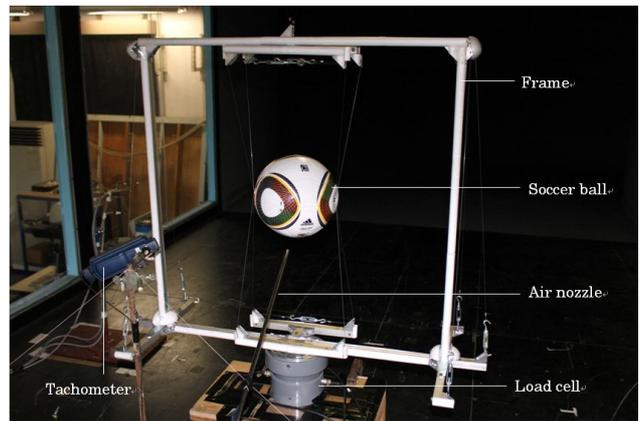
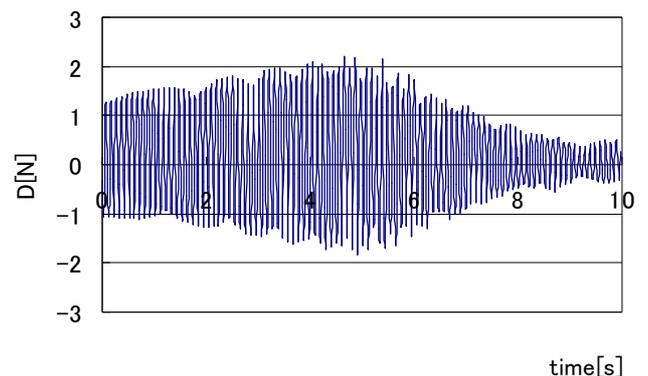


Photo.2 Rear view of the device

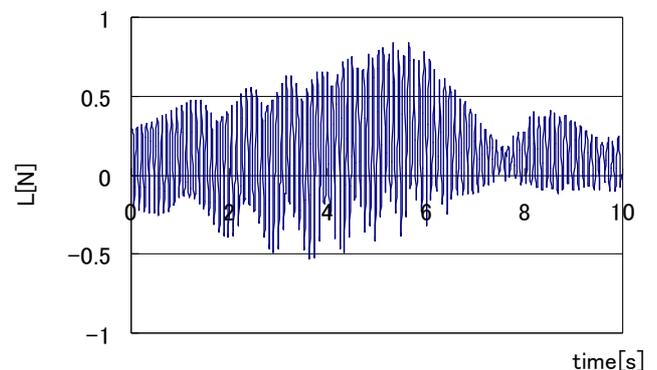
今回はバックスピンのみの実験を行い、ボール単体での実験データはボールを回転させた時の実験データを測定した後、ボールを取り外してフレームのみの実験データを測定し、フレームに加わる空気力を差し引くことで求める。

4. 実験結果

Fig.4 から Fig.8 に 5m/s 刻みの各風速におけるフレームを含むサッカーボール回転時の抗力及び揚力と時間の関係グラフを示す。各々のグラフからサッカーボールをバックspinさせたときに起こる振動の信号が大きく読み取られており、精度の良い測定結果とはならなかった。



(a) Drag-Time (U=0[m/s])



(b) Lift-Time (U=0[m/s])

Fig.4 Signal of Drag and lift (Including frame)

3. 実験方法

3.1 使用記号及び計算式

C_D : 抗力係数 C_L : 揚力係数 C_S : 横力係数

Re : レイノルズ数 ν : 動粘性係数[m²/s]

U : 流速 [m/s] ρ : 空気密度 [kg/m³]

d : ボール直径 [m] A : ボール直径断面積[m²]

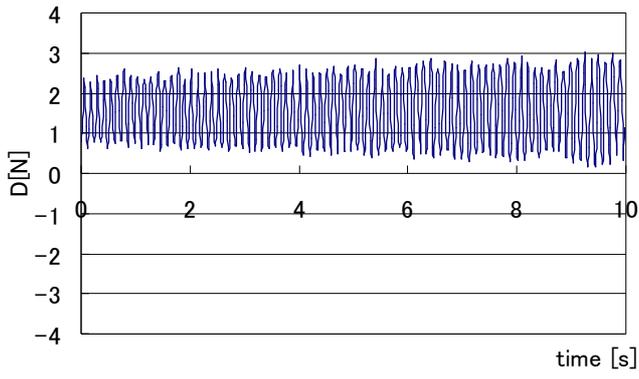
N : ボールの回転数 [rps]

$$C_D = \frac{2D}{\rho U^2 A} \quad C_L = \frac{2L}{\rho U^2 A} \quad C_S = \frac{2S}{\rho U^2 A} \quad Re = \frac{Ud}{\nu}$$

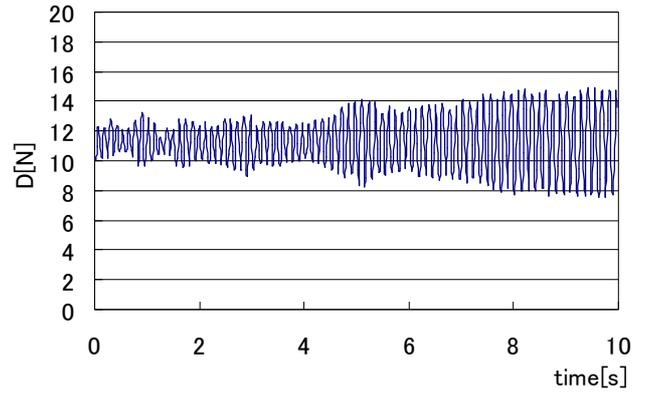
3.2 測定方法

測定は大型風洞装置で風速 0~20m/s の範囲を 5m/s 刻みで行った。サッカーボールの回転はコンプレッサーからエアノズルを伸ばし、ノズルからのジェット流を当て、回転させる。(Photo.2)

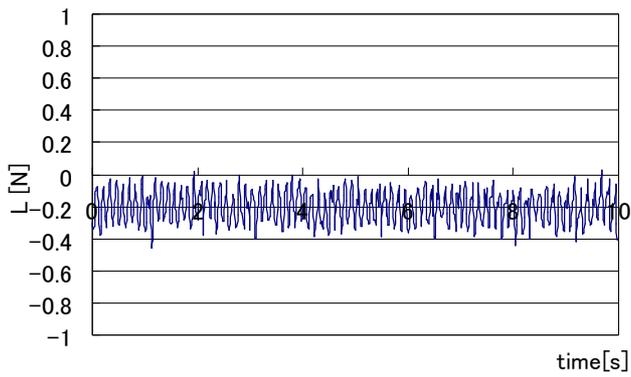
U=0m/s 時は 10rps→0rps までの回転慣性により 10 分程度回転が持続する。測定する風速まで達したらボールを 10rps まで回転させ、10s 回転減衰させたときの空気力を測定する。



(a) Drag-Time ($U=5$ [m/s])

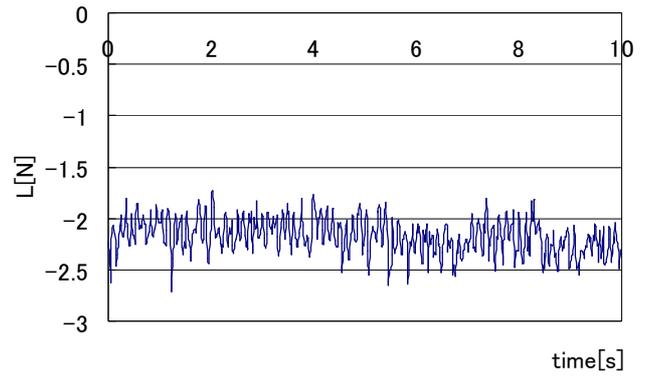


(a) Drag-Time ($U=15$ [m/s])



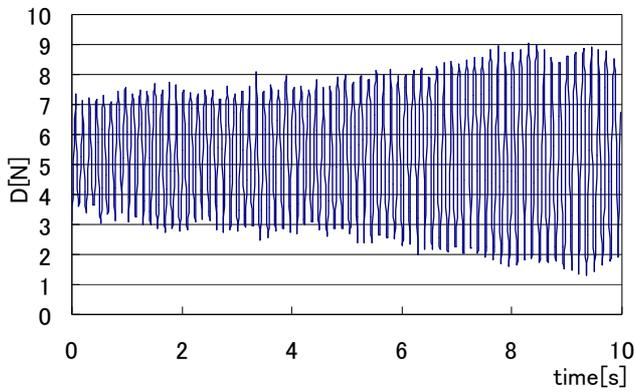
(b) Lift-Time ($U=5$ [m/s])

Fig.5 Drag and lift force (Including frame)

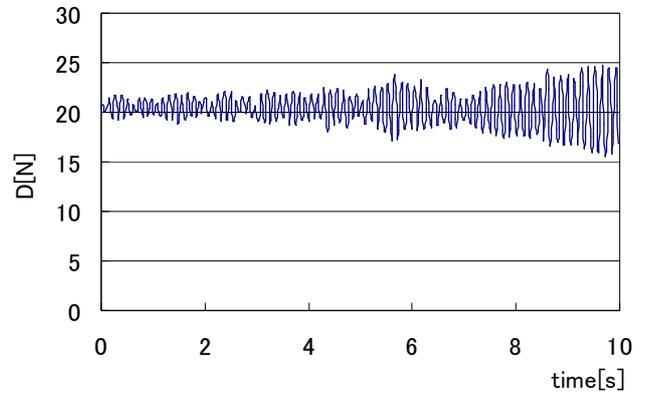


(b) Lift-Time ($U=15$ [m/s])

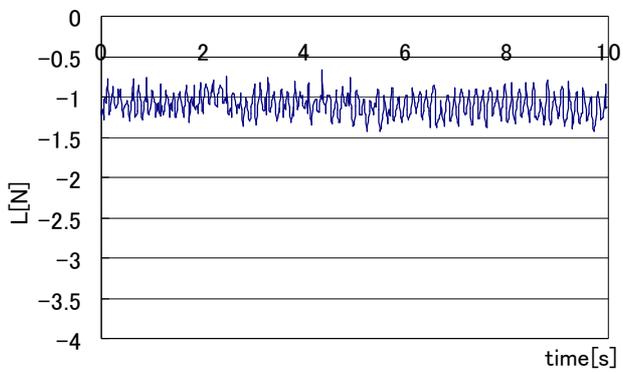
Fig.7 Drag and lift force (Including frame)



(a) Drag-Time ($U=10$ [m/s])

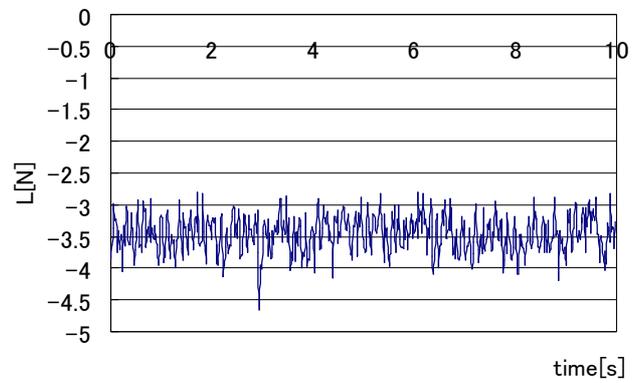


(a) Drag-Time ($U=20$ [m/s])



(b) Lift-Time ($U=10$ [m/s])

Fig.6 Drag and lift force (Including frame)



(b) Lift-Time ($U=20$ [m/s])

Fig.8 Drag and lift force (Including frame)

次に Fig.9 にはフレーム+サッカーボール、Fig.10 にはフレームのみ、Fig.11 サッカーボールのみの空力 3 分力のグラフを示す。このグラフは各風速における空力 3 分力の 10s 間の平均をとったデータである。この結果から揚力が下方に加わっているが、フレームの重さが大きく影響していることが挙げられる。サッカーボールのみのグラフでは風速が上がるにつれ、抗力、揚力が増えていることがわかる。このことから回転時に発生するマグナス力が作用していると思われる。

Fig.12 に抗力係数とレイノルズ数の関係をグラフに示す。Spinning soccer ball 以外は全て無回転時に測定した実験結果¹⁾となっている。サッカーボールでは無回転と同様に回転させている時でも Drag crisis が発生していることが見られる。しかしこの実験データについては正確に求められたとは言えないものなので、今後の参考とする。

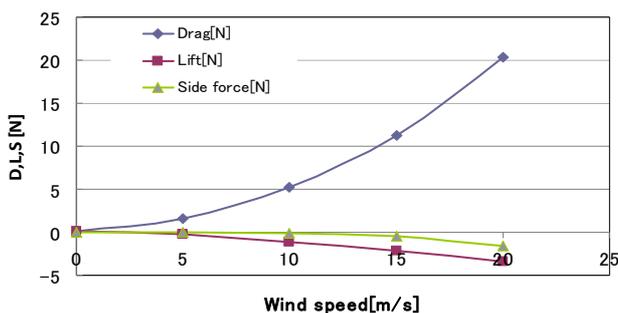


Fig.9 Aerodynamic force (Frame and soccer ball)

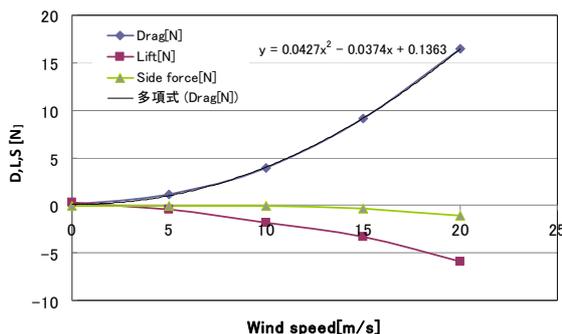


Fig.10 Aerodynamic force (Frame)

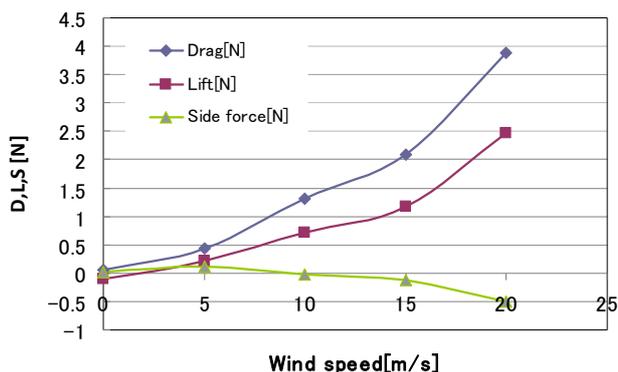


Fig.11 Aerodynamic force (Soccer ball)

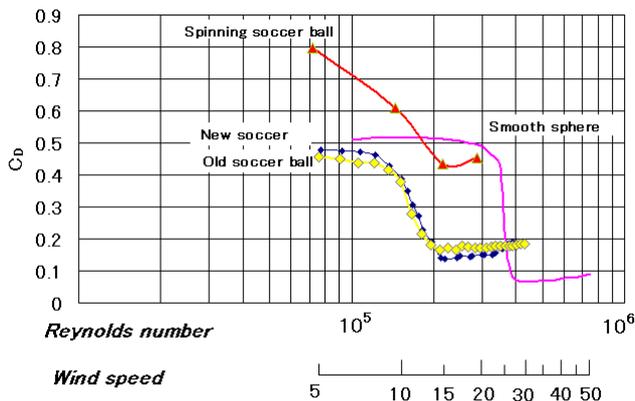


Fig.12 Drag force on soccer ball

5. 結言

サッカーボールに発泡ウレタンを注入することで、シャフトの固定及びセットボルトを使用し重心を取ることを試みた。しかしボール内部のウレタンにはいくつか大きな空洞が発生しており、静バランスは取れても回転時の動バランスは取り難かった。

フレームを軽量化し測定を行ったが抗力、揚力共に予想以上に力が加わり実験データにも影響が出ていると思われる。

各風速で 10s 間の空気力の平均を取ると、バックスピンのみの値は、揚力が増えていることがわかり、回転によりマグナス力が作用していると思われる。回転するボールの静バランスは取れているが動バランスは取れていないことから実験データに反映されており、明瞭な結果とはいえないものとなった。

6. 今後の課題

- 1) サッカーボール内部の充填率の高いものにするか、シャフトの取り付け方法を改良する。
- 2) フレームの更なる軽量化、ピアノ線の張り方を追及していく。
- 3) これからの構想としてボール両端をピンで抑え、ベアリングを介すことで、動バランスの安定化を図る検討をする。

以上を正すことでボールの回転を安定にし、良質な実験データを得る。

7. 参考文献

- 1) 黒木康平(福岡工大院):2009年度福岡工業大学工学研究科知能機械工学専攻 修士研究論文:「弱回転サッカーボールの魔球的变化に関する発生メカニズムの空気力学的研究」, (2009) pp. 4-94