画像相関法を用いた飛翔するサッカーボールの軌道解析

山縣 貴幸[○], 山口 裕貴, 藤澤 延行 (新潟大学), 浅井 武 (筑波大学)

Trajectory analysis of flying soccer ball by image correlation method

Takayuki YAMAGATA, Yuki YAMAGUCHI, Nobuyuki FUJISAWA and Takeshi ASAI

ABSTRACT

In this study, an image correlation method with a high speed CCD camera is employed for evaluating the trajectory of a flying soccer ball with high accuracy. The method is validated by studying a free-fall trajectory of a non-spinning soccer ball. The positions and velocities of a soccer ball are measured by template matching technique, and the results are compared with analytical solution to analyze the measurement uncertainty of the ball. The results show good agreement with analytical positions and velocities.

Keywords: Trajectory analysis, Image correlation, Soccer ball, Aerodynamics

1. 緒言

スポーツ科学の分野では、ボールを用いた競技におけるボールの空力特性を知ることは重要である。多くのボール競技において流体力学の視点から研究が行われており、代表的な例ではゴルフボールの飛距離とディンプル形状に関して詳細に調べられている。一方、現在のサッカーにおいては、ボールの飛翔軌道が、突如として曲がったり、落ちたり、揺れたりするナックルエフェクトが注目されている。サッカーボールの空力特性に関する研究としては、風洞実験により無回転のサッカーボールの空力係数を計測した研究⁽¹⁾や、実際に飛翔するボールの回転と軌跡を計測した研究⁽²⁾がある。しかし、サッカーボールの流体力学に関する研究はまだ少なく、サッカーボール周りの流れの詳細とボールの揺れの関連は十分に明らかにされていない。一方、風洞実験においては、ボールは支持棒により固定されているためナックルエフェクトを直接評価することは困難である。また、実際に飛翔するボールの後流を四塩化チタンにより可視化する

ことで、後流の蛇行した渦を観察した研究⁽³⁾もあるが定性的な評価に留まっている。したがって、ナックルエフェクトを定量的に評価するためには、実際に飛翔するボールを対象として高精度なボールの軌道解析と流れ場の計測が必要である。

本研究では、高精度にボールの軌道解析を行うため、テンプレートマッチングにより実際に飛翔するボールの軌道解析を行う。軌道解析の精度検証のため、無回転の自由落下するボールを対象とした。また、ボールの模様が解析精度に及ぼす影響を評価した。

2. 実験方法

2.1 実験装置の構成

パターンマッチングによるサッカーボールの軌道解析の有効性の検証のため、無回転ボールの自由落下を計測した。Fig. 1 は、実験装置の構成および配置図である。実験室の2階部分に無回転ボールの落下装置を設置し、地面から高さ 5.3 m の位置からボールを落下させた。落下するボールは、初期位置から地面までを撮影領域として、高速度ビデオカメラ (IDT, motion PRO X 3PLUS, 1280 × 1024) により 250 Hz で撮影した。ただし、カメラは、ボール落下位置の正面下方から見上げる位置に設置した。カメラの設置位置およびレンズの歪みの影響を取り除くため、ボール落下位置と同一平面上に球形のマーカー (直径 50 mm, 発泡スチロール製) を格子状に配置し、画像変形のための基準点として用いた。実験に用いたサッカーボールは、addidas 製 TANGO adiclub (直径 218 mm, 質量 420 g) である。ボールの模様がパターンマッチングの精度に及ぼす影響を調べるため、3種類のボールの条件で計測を行った。

Fig. 1 Experimental set up.

Fig. 2 Soccer balls for trajectory analysis: (a) normal ball; (b) white ball; (c) white ball with reflectors.

Fig. 3 Fall distance of a normal ball.

Fig. 2 にボールの写真を示す。使用したボールは、通常のボール、白色ボール、反射板付きの白色ボールである。それぞれのボールにつき3回ずつ計測を行った。

2.2 解析方法

まず、撮影した画像を背景の格子点を基準として、格子点が等間隔で配置されるように歪み補正を行った。次に各時刻のサッカーボールの位置を、サブピクセル精度の直接相互相関法を用いたテンプレートマッチングにより求めた。求められた位置において位置検出と同様にサブピクセル精度の直接相互相関法により各時刻間での移動距離を求めた。相関領域は、 51×51 pixels として、ボール全体を覆うように設定した。求めた移動距離とカメラのフレームレートとの関係からボールの速度を計算した。

3. 結果および考察

各画像におけるサッカーボールの位置をテンプレートマッチングにより求めた。Fig. 3 は初期位置からの落下距離の時間変化を画像の歪み補正を行った場合と行わない場合とで比較している。また、空気抵抗がある場合の球の自由落下の解析解を合わせて示している。なお、解析解は、ボールの抵抗係数を $C_D = 0.44$ と仮定して求めた。画像の歪み補正を行わない場合には、0.4 s から 0.7 s で解析解との差が大きくなっている。これは、カ

Fig. 4 Comparison of fall velocities.

メラを地面から 1.5 m の位置に設置しているため、落下初期ではカメラとの距離が遠く、カメラ配置とレンズ歪みの影響を大きく受けているためである。そのため落下するに従い、歪み補正を行った場合の結果に近付いている。一方、歪み補正を行った場合は、解析解により近い値を示しており、画像補正の有効性を示している。

Fig. 4 はボール条件を変えた場合の落下速度の時間変化で、解析解と比較している。落下速度は、歪み補正を行った画像から求めた。計測ごとのデータのばらつきは、サブピクセル誤差の 0.1 ピクセル程度であったため、図中の結果は各ボールで行った 3 回の計測のうちの 1 回分を示している。落下速度の比較では、どのボール条件においても解析解と非常に良く一致している。また、ボール条件による解析精度の違いは見られない。したがって、画像の歪みの影響を取り除くことができれば、通常のボールのままで精度のよい計測は可能であると考えられる。しかし、今後ボールの回転の影響を評価するためには、ボールに任意のパターンを用いることは必要であると考えられる。

4. 結言

本研究では、サッカーボールの高精度な軌道解析法について検討した。テンプレートマッチングによりボールの位置および速度算出を行い、解析解とよく一致する結果が得られた。しかし、ボール条件による解析精度への影響はほとんど見られなかった。今後は、複数のカメラを用いて三次元でのボールの軌道解析を行う予定である。

参考文献

- 1) Asai, T., Seo, K., Kobayashi, O. and Sakashita, R.: Fundamental aerodynamics of the soccer ball, Sports Engineering, Vol. 10 (2007), pp. 101-110.
- 2) Griffiths, I., Evans, C. and Griffiths, N.: Tracking the flight of a spinning football in three dimensions, Meas. Sci. Technol., Vol. 16 (2005), pp. 2056-2065.