

スポーツボールのナックルエフェクトに関する研究

浅井 武・藤井範久・高木英樹
小池関也・本間三和子

A Study on Knuckling Effect of Sports Ball

ASAI Takeshi^{*1}, FUJII Norihisa^{*1}, TAKAGI Hideki^{*1},
KOIKE Sekiya^{*1} and HONMA Miwako^{*1}

Abstract

The purpose of this study is to discuss the aerodynamic characteristics of soccer ball using computer fluid dynamics (CFD). An incompressible unsteady analysis was performed using the finite volume method based on fully unstructured meshes with a commercial CFD code (FLUENT6.2, Fluent Inc.). The turbulent model of this study was Large Eddy Simulation (LES) model. The drag coefficient of non-spinning soccer ball in CFD was approximately 0.19 and that of wind tunnel test was about 0.15. It was observed that the large scale fluctuation was generated in the lift coefficient. The coefficient of moment was almost 0. The separation point of the non-spinning soccer ball in CFD retreated to ~120° from the front-stagnation point and the vortex region shrank when the supercritical ball velocity was 25 m/s. In CFD analysis using LES, the complex vortex structure was observed near the ball model. However, it was difficult to represent the vortex structure in a little away from the ball.

Key words : CFD, LES, Sport, Drag.

1. はじめに

スポーツボールの流体力学的研究は、風洞実験等を中心に数多く報告されているが、十分明らかになったとはいえない。これら一連の報告は、研究レビュー¹⁾としてもまとめられている。

しかし、サッカーボールに関する研究は少なく²⁾³⁾、その空力特性は明らかではない⁴⁾。そこで本研究では、LES乱流モデルを用いた数値流体解析(CFD)を行い⁵⁾、サッカーボールの基礎的空力特性を検討すると共に、比較的高レイノルズ数レンジ(20~30m/s)の場合のボール周り流体の可視化を試みた。

2. 方法

解析モデルは、CG用サッカーボールモデル形状(亀甲型32枚パネルタイプ)より表面メッシュをGAMBIT(Fluent Inc.)で作成し、そのメッシュから解析空間を開発した(Fig. 1)。解析メッシュは三角形四面体要素(テトラヒドラ)を用いた非構造メッシュとし、約200万メッシュで構成された。ボールモデルの直径は0.22mであり、境界領域には、三角柱(プリズム)メッシュを定義した(Fig. 2)。解析空間は半径2.44m、長さ4.88mの円柱形とし、ボールを流入口より1.71mの位置に固定定義した(Fig. 3)。したがって、本研究で

*1 筑波大学 University of Tsukuba, Comprehensive Human Sciences, Tannoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574 Japan

は、ボールが無回転の場合の解析となる。流入口は速度流入、流出口は圧力流出とし、外部壁面は、摩擦の無いデフォルトの壁関数を用いた。初期流速は 15、20、25、30m/s の 4 ケースとし、非圧縮性粘性流体の Navier-Stokes 方程式を有限体積法により離散化して非定常解析計算を行った。乱流モデルは、Large Eddy Simulation (LES) モデルとし、ソルバーは Fluent 6.2 (Fluent Inc.) を用いた。

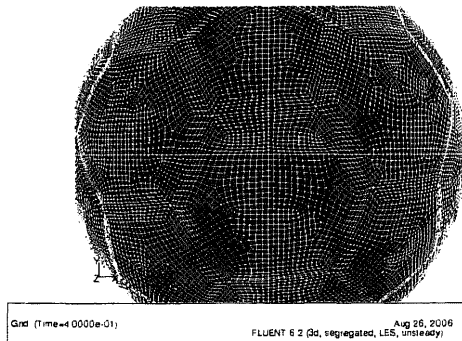


Figure 1 Surface mesh of the ball model.

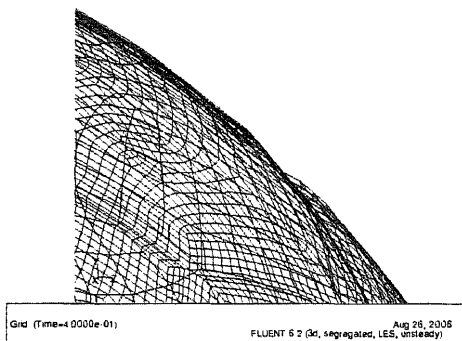


Figure 2 Mesh structure of the boundary layer.

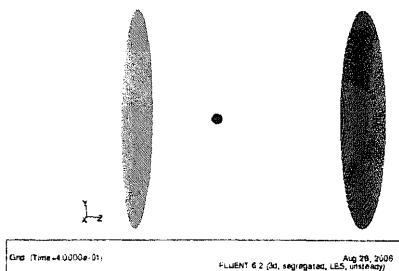


Figure 3 Structure of volume zone.

3. 結果及び考察

本研究の抗力係数、揚力係数の時系列データを見ると、計算初期に不安定な時期がみられ、その後、安定する傾向が見られた (Fig. 4 - 6)。また、モーメントは細かく振動しているものの、その値は小さく、ほとんど無視できる範囲と考えられた。したがって、本研究では、計算開始 0.2 秒後から 0.4 秒後までの 0.2 秒間の平均の値を、そのケースの抗力係数とした。

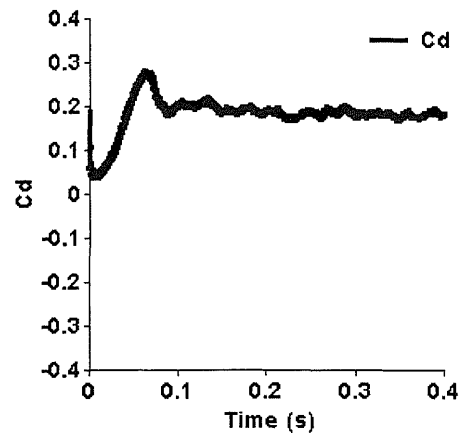


Figure 4 Drag coefficient vs time of CFD.

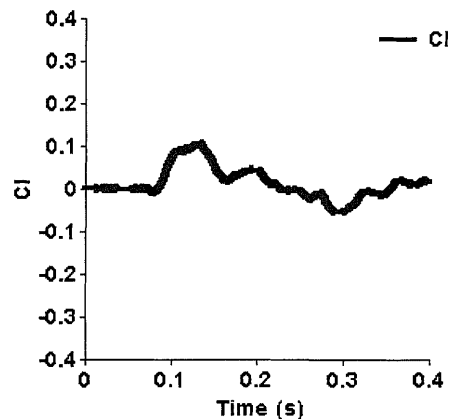


Figure 5 Lift coefficient vs time of CFD.

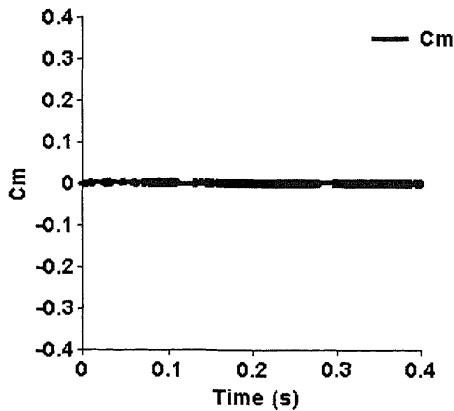


Figure 6 Moment coefficient vs time of CFD.

本研究の CFD における抗力係数は、15~30m/s のいずれのケースにおいても、約 0.19 であるのに対して、風洞実験における 32 枚パネルタイプのボールは、約 0.15 であり、風洞実験値より、やや大きな値を示す傾向がみられた (Fig. 7)。

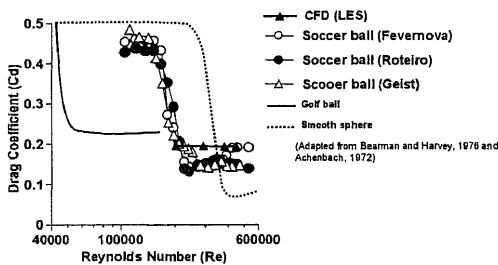


Figure 7 Drag coefficient of wind tunnel test and CFD.

また、レイノルズ数の変化に対する CFD の抗力係数の変動は小さく、32 枚パネルタイプボールの風洞実験と同様の変動傾向を示した。CFD における超臨界領域のボール周りの流速分布 (Fig. 8) をみると、境界層の剥離点が前方岐点より約 120deg.程度となっており、可視化実験映像 (Fig. 9) ¹⁶⁾と同様の傾向を示した。

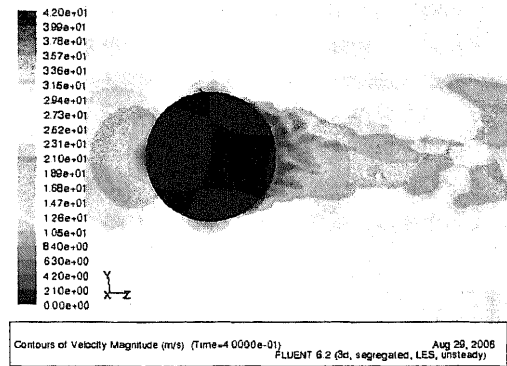


Figure 8 Contours of velocity magnitude on CFD.



Figure 9 Flow visualization of non-spinning soccer ball¹⁶⁾.

CFD における揚力係数をみると、抗力係数の値が安定し始める 0.1 s あたりから、最大 0.1 程度の不規則な変動がみられた。この傾向は全てのケースで見られ、詳細は不明であるが、後流の渦構造と関係があるのではないかと考えられる。CFD における渦構造をボール周りの渦度表示でみると (Fig. 10)、可視化実験映像 (Fig. 9) と同様に、後流領域の縮小が観察される。全体の印象は類似しているものの、スモールスケールの渦が似ているかどうかは、判断不明である。また、ボールからやや離れた地点までの流れの傾向をパスライン表示でみると、ボール直後の渦は観察されるが、やや離れた後方の流れの乱れは少なくなっていた (Fig. 11)。実際の可視化実験映像 (Fig. 9) では、ヘアピン型の渦 (Vortex loop) を含め非対称な渦構造を示す場合が多く、本研究の CFD は、早期に渦が散逸しているように思われた。この原因の詳細

細は不明であるが、本研究で用いた LES モデルが、エネルギーの逆輸送（逆カスケード）を表現できない等が、原因の一つになっている可能性がある。これらのことから、本研究における LES 解析は、抗力係数、剥離点のラフな予測に用いることは可能であるが、ボール後流の渦構造、特に離れた場所での予測は、困難であると考えられる。

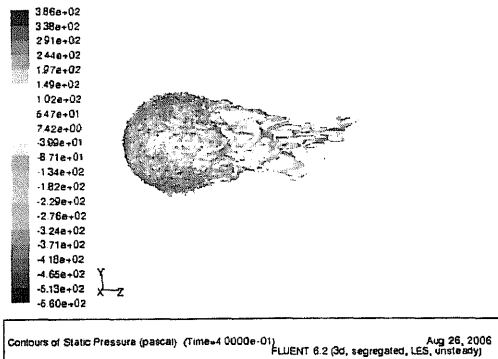


Figure 10 Contours of pressure on vorticity in CFD.

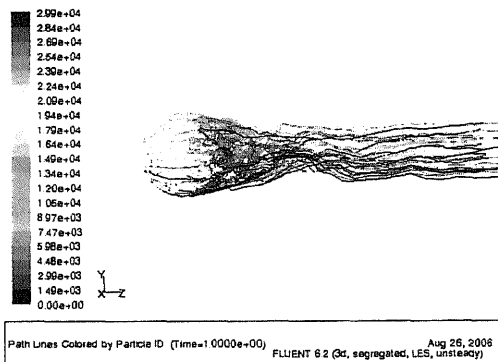


Figure 11 Path lines of the ball in CFD.

今後は、メッシュの質、量の向上、乱流モデルの改良、計算スキーマの改良、境界条件の改良等を試みる必要がある。また、計算の精度を上げるためには、ハードウェアの向上も大切であり、精度の高い CFD には、膨大な計算資源が必要なのが現状である。

4. まとめ

本研究では、LES 乱流モデルを用いた数値流体

解析 (CFD) を行い、サッカーボールの基礎的空気特性を検討すると共に、ボール周り流体の可視化を試みた。

結果を以下に要約する。

- 1) 本研究の CFD における抗力係数は約 0.19 であるのに対して、風洞実験の抗力係数は約 0.15 であり、CFD は風洞実験値より、やや大きな値を示す傾向がみられた。
- 2) レイノルズ数の変化に対する CFD の抗力係数の変動は小さく、風洞実験と同様の変動傾向を示した。
- 3) CFD における超臨界領域のボール周りの流速分布をみると、境界層の剥離点が前方岐点より約 120 deg 程度となっており、可視化実験映像と同様の傾向を示した。
- 4) CFD における揚力係数をみると、抗力係数の値が安定し始める 0.1 s あたりから、最大 0.1 程度の不規則な変動がみられた。この傾向は全てのケースで見られ、後流の渦構造と関係があるのではないかと考えられた。
- 5) ボールからやや離れた地点までの流れの傾向をパスライン表示でみると、ボール直後の渦は観察されるが、やや離れた後方の流れの乱れは少なくなっていた。実際の可視化実験映像では、非対称な渦構造を示す場合が多く、本研究の CFD は早期に渦が散逸しているように思われた。

5. 文献

- 1) Mehta, R. (1985) Aerodynamics of sports balls, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 17: 151-189.
- 2) Carré, M. J. & Asai, T. (2004) Biomechanics and Aerodynamics in Soccer. in *Biomedical Engineering Principles in Sports* (eds Hung, G. K. & Pallis, J. M.), Kluwer Academic Plenum Publishers, New York: 333-364.
- 3) Carré, M. J., Goodwill, S. R., Haake, S. J., Hanna, R. K. & Wilms, J. (2004) Understanding the aerodynamics of a spinning soccer ball, *The Engineering of Sport 5 vol.1* (eds Hubbard, M., Mehta, R. D. & Pallis, J. M.), The International Sports Engineering Association, Sheffield: 70-76.
- 4) Asai T. *et al.* (2006) Flow Visualization on a Real Flight Non-spinning and Spinning Soccer Ball,

- The Engineering of Sport 6, Vol. 1, ISEA, 327-332.
- 5) Barber S., Haake S. J. and Carré, M. J. (2006)
Using CFD to Understand the Effects of Seam
Geometry on Soccer Ball Aerodynamics. The
Engineering of Sport 6, Vol. 2, ISEA, 127-132.