

回転球に作用する負のマグヌス力について

Numerical simulation of negative Magnus force on a rotating sphere

- 武藤昌也, 北大院, 札幌市北区北十三条西八, masayam@eng.hokudai.ac.jp
 坪倉誠, 北大院, 札幌市北区北十三条西八, mtsubo@eng.hokudai.ac.jp
 大島伸行, 北大院, 札幌市北区北十三条西八, oshima@eng.hokudai.ac.jp
 Masaya MUTO, Hokkaido University, N13W8 Kita-ku, Sapporo
 Makoto TSUBOKURA, Hokkaido University, N13W8 Kita-ku, Sapporo
 Nobuyuki OSHIMA, Hokkaido University, N13W8 Kita-ku, Sapporo

Flow characteristics and fluid force on a sphere rotating along with axis perpendicular to mean air flow were investigated using Large Eddy Simulation (LES) at two different Reynolds numbers Re_p of 10^4 and 2.0×10^5 . As a result of simulation, opposite flow characteristics around the sphere and displacement of the separation point were visualized depending on the Reynolds number even though rotation speed according to the Reynolds number is the same. When the sphere rotates at some specific rotation velocity and at $Re_p = 10^4$, flow characteristics agree with the flow field explained in the Magnus effect. While sphere rotates at the same rotation velocity while increasing Re_p to 2.0×10^5 , separation point moves in opposite direction and wake appears in the different direction. The reason of the negative Magnus force was discussed in terms of the boundary layer transition on the surface.

主流と垂直な軸周りに回転する球にはマグヌス揚力が働くことが知られている。マグヌス揚力は、球の回転に伴って境界層の剥離位置が非軸対称化することにより、球表面の主流と垂直な方向に圧力差が生じて揚力が発生するものである⁽¹⁾。一方、球表面の境界層が層流状態から乱流状態へ遷移するレイノルズ数付近では、限られた球の回転数範囲でマグヌス揚力と逆向きの揚力が発生するとの報告が Macoll⁽²⁾や Davies⁽³⁾の実験計測よりなされており、負のマグヌス揚力と呼ばれている⁽¹⁾。しかしながら、回転する球周りの流れ場の計測は難しく、現象は十分に調べられていない。本研究ではラージエディシミュレーション (LES) を用いて、球表面から境界層が層流剥離するレイノルズ数が 10^4 のときと、境界層の遷移に伴い抗力の急激な減少が生じる臨界レイノルズ数に近い 2×10^5 の場合に球周りの気流解析を行い、主流と垂直な軸周りの球の回転が周囲の流れ場および揚力に与える影響について調べた結果を報告する。

図1から3には、二種類のレイノルズ数条件下における、球周りの主流方向速度と球表面の圧力係数分布の解析結果を示す。主流は左から右へ、球の回転方向は紙面に対して時計回りである。レイノルズ数が 10^4 のとき (図1)、球表面が主流と同じ向きに回転する側では境界層の剥離点位置が、静止球の場合と比較して下流に移動し、逆向きに回転する側では剥離点が上流に移動する様子が見られ、従来のマグヌス揚力発生時に見られる特徴と一致している。一方、レイノルズ数が 2.0×10^5 のときには (図2)、球表面が主流と同じ向きに回転する側 (z 正側) では剥離点位置が静止球の場合と比較して上流に移動し、逆向きに回転する側 (z 負側) では剥離点位置に大きな変化は見られないが、剥離に伴う表面圧力係数の増大が抑制される様子が見られた。これは、図3に示す瞬時の各物理量の可視化図より、 z 正側では球の回転に伴い流れが層流化され、 z 負側では乱流遷移が促され境界層の剥離に伴う圧力の回復が抑制されたためと考えられる。

参考文献

- (1) Taneda, S., Negative Magnus Effect, *Report of Research Institute for Applied Mechanics*, Vol. 5, No. 20, (1957), pp. 123-128.
- (2) Macoll, J. H., Aerodynamics of a Spinning Balls, *Journal of the Royal Aeronautical Society*, Vol. 32, (1928), pp. 777-798.
- (3) Davies, J. M., The Aerodynamics of Golf Balls, *Journal of Applied Physics*, Vol. 20, (1949), pp. 821-828.

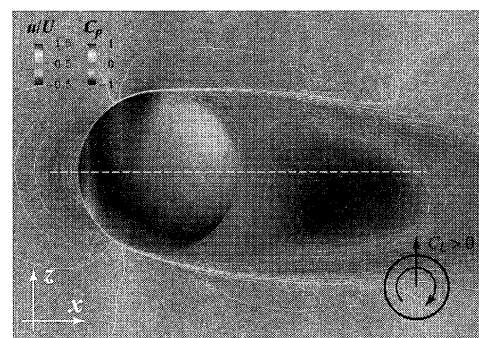


Fig. 1 Averaged velocity distribution ($Re_p=1.0 \times 10^4$, $F=0.2$)

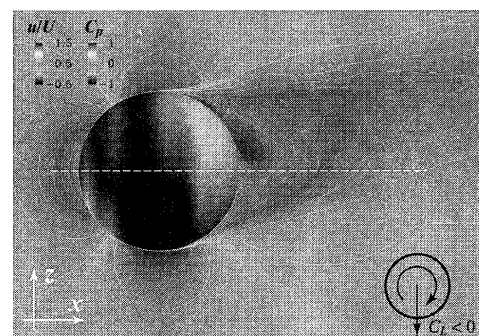


Fig. 2 Averaged velocity distribution ($Re_p=2.0 \times 10^5$, $F=0.2$)

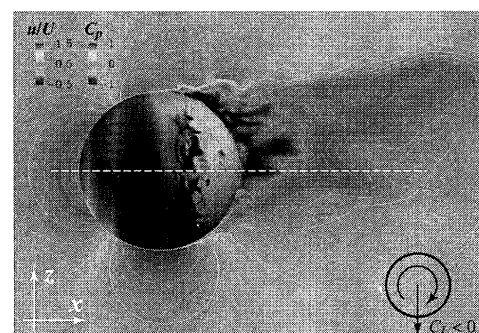


Fig. 3 Instantaneous velocity distribution ($Re_p=2 \times 10^5$, $F=0.2$)