

飛行船風洞試験における支柱干渉の影響

原田 賢哉, 澤田 秀夫, 高橋 侔 (航技研)

Support-Interference effects on Airship Wind Tunnel Testing

Kenya Harada, Hideo Sawada, Hitoshi Takahashi (NAL)

Key Words : Support Interference, Airship, MSBS

Abstract

An experimental investigation of support-Interference effects on airship wind tunnel testing has been conducted by means of low-speed wind tunnel installed with NAL 60cm Magnetic Suspension and Balance System. In this report, interference effects of a cylindrical strut on a 4:1 spheroid were quantified by comparing the aerodynamic force measured with and without a dummy strut.

1. 序論

高度20kmの成層圏に飛行船を滞空させて地球観測や通信・放送などに利用しようとする「成層圏プラットフォーム」の開発プロジェクトが文部科学省と総務省によって進められている。航技研は船体システムの開発を担当しており、平成11年度より大型低速風洞を用いて飛行船船体模型の空力特性試験を行ってきたが(図1)、その中で支持干渉の問題が顕在化してきた。支柱によって飛行船模型(細長比4の流線形、尾翼無し)に生じる干渉量を評価した結果、以下のような値が得られたのである。

抗力係数, C_D +0.02

揚力係数, C_L -0.01

縦揺れモーメント係数, C_m +0.01

この C_D は無迎角時の抗力係数に匹敵する値であるし、 C_L 、 C_m はいずれも迎角1~2度の違いに相当する値である。したがって、これら支持干渉の影響を正確に補正することが強く求められている。

ところで、航技研では磁力支持天秤装置の開発が進められており、実用が可能な段階にある。磁力支持天秤装置とは、磁力によって風洞模型を気流中に支持することにより、従来の支持装置を用いずとも模型にはたらく空気力の計測を可能とする装置である。そこで、この装置を利用して、飛行船模型における支持干渉に関する研究を開始した。研究の最終目的は、大型低速風洞にて行う飛行船風洞試験において、より高精度な支持干渉補正を行うための知見を得ることにある。平成12年度は、その第一段階として、単純化した模型を用いて支柱干渉に関する基礎的なデータを求めたので、概要を以下に報告する。

2. 実験方法

2.1 実験装置

2.1.1 風洞

実験には磁力支持天秤装置を組み込んだ60×60cm²の矩形流路をもつ回流型風洞を使用した。主流流速は15~35m/s、主流乱れ強さは0.05%以下である。また、主流は鉛直方向に0.2度、水平方向に0.3度傾いており、模型中心軸を同じ角度だけ傾けて設定した。磁力支持天秤装置の詳細については文献1,2を参照されたい。



図1. 支柱によって大型低速風洞測定部に支持された飛行船模型

2.1.2 供試模型およびダミー支柱

供試模型およびダミー支柱の形状を図2に示す。飛行船船体を模擬する供試模型は全長360mmの4:1回転楕円体である。アルミニウムの外殻の内部に円柱磁石（ALNICO5, 直径55mm, 全長245mm）が組み込まれている。表面は白色塗料の上に透明艶消し塗料を塗り、1500番の研磨ペーパーで仕上げている。ダミー支柱（以下「支柱」）は直径9mmの円柱で、風洞測定部床面に固定されている。また、その周囲に直径18mmのダミー風防（図2破線；以下「風防」）を取り付けることによって二重円柱となる。図3は、風洞測定部において支柱を設置し模型を磁力支持させた状態の写真である。模型と支柱とは接触しておらず、その間隔は模型位置を移動させることによって0.1～2.5mmの範囲に設定される。また、模型および支柱の風洞流路に対するブロック率は、それぞれ1.76%および0.73%（風防装着時は+0.50%）である。

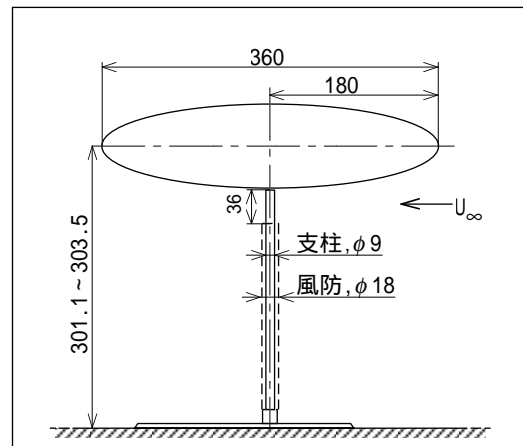


図2. 供試模型およびダミー支柱の形状

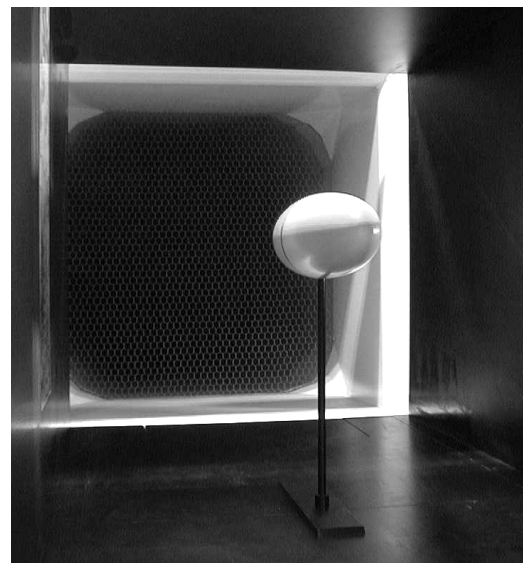


図3. 供試模型およびダミー支柱の写真

2.2 計測

2.2.1 主流動圧

主流動圧 q については、模型位置より1032 mm上流に設置したピトー管によって計測した動圧 q_0 をもとに、風洞壁による閉塞効果として以下の補正を行った。

$$q = q_0 (1 + 2K t_1 V / A^{3/2}) = 1.011 q_0$$

ここに、 K は模型形状に依存する定数、 t_1 は模型および風洞形状に依存する定数で、それぞれ 0.97, 0.82 を与えた。また、 V は模型体積 (0.00153m^3)、 A は風洞流路面積 (0.36m^2) である。

2.2.2 縦三分力

模型にはたらく力は、模型を支持するのに要したコイル電流から求められる。これらの関係は別途校正試験によって求めた。すなわち、図4に示すように、風洞測定部に模型を磁力支持した状態で、抗力、揚力、縦揺れモーメントを重りによって付加し、対応する各コイル電流を計測した。なお、本試験（通風試験）では抗力について水平浮力効果に対する以下の補正を行った。

$$D = D_0 - C_p q V$$

ここに、 D_0 は補正前の抗力、 C_p は圧力勾配を表す風洞に固有の値 ($-0.03/\text{m}$) である。

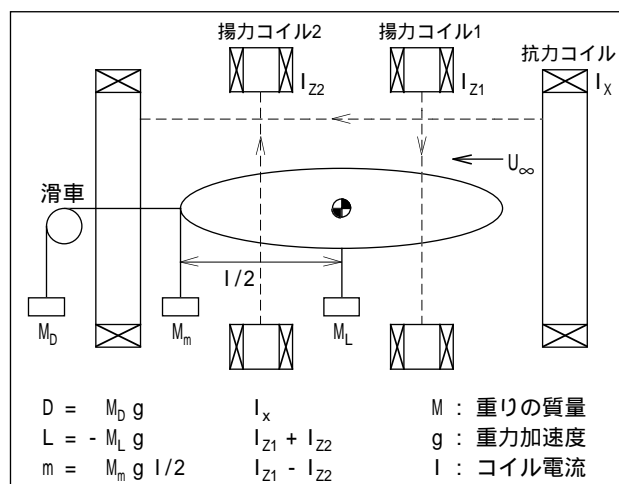


図4. 縦三分力校正

3. 実験結果

実験結果を図5～10に示す。

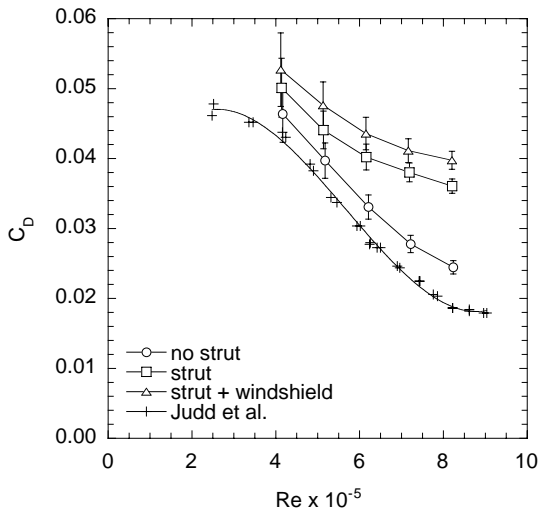


図5. 支柱干渉による抗力係数の相違

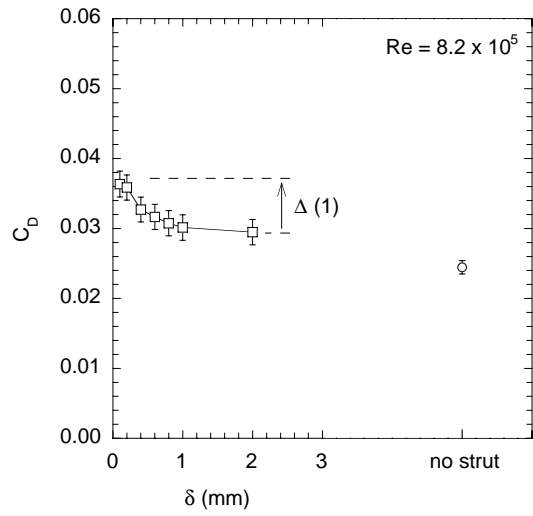


図6. 抗力係数に与える模型-支柱間隔の影響

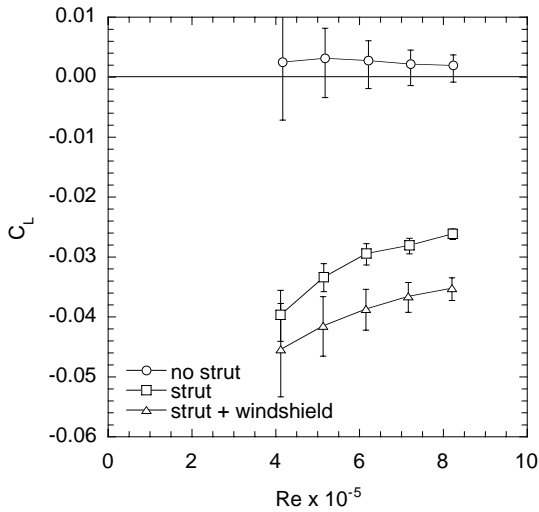


図7. 支柱干渉による揚力係数の相違

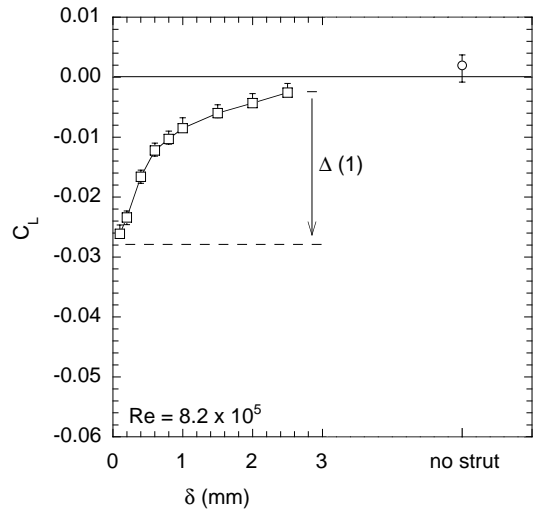


図8. 揚力係数に与える模型-支柱間隔の影響

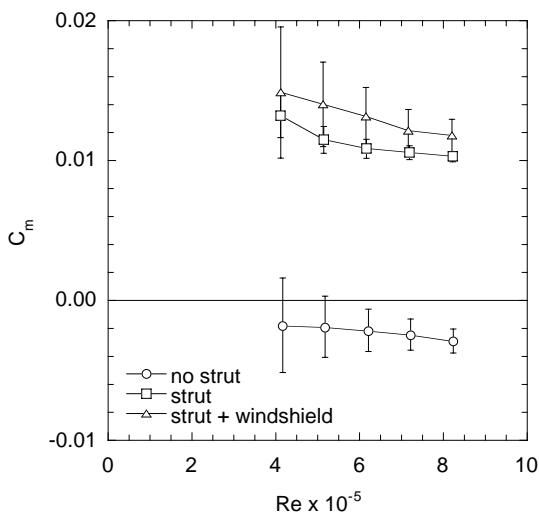


図9. 支柱干渉による縦揺れモーメント係数の相違

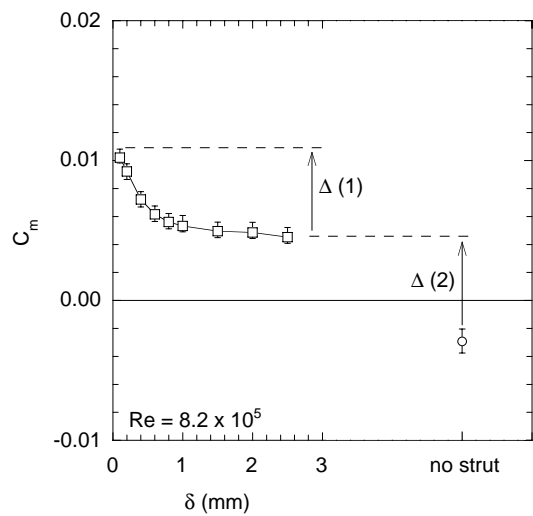


図10. 縦揺れモーメント係数に与える模型-支柱間隔の影響

図5,7,9 は、主流Reynolds数に対する各空力係数 C_D , C_L , C_m を、

- (a) 模型単体 (no strut)
- (b) 支柱あり (strut)
- (c) 支柱及び風防あり (strut + windshield)

のそれぞれの場合について重ねて示したもので、(b)および(c)の模型-支柱間隔は0.1mm (最小値) である。各点は2~4回の計測の平均値を示しており、推定誤差を表すエラーバーは主に動圧およびコイル電流の基準値のドリフト (またはヒステリシス) に起因するものである。抗力係数 (図5) については、Juddらによる結果 [文献3] を併せて示した。

図6,8,10 は、Reynolds数が 8.2×10^5 の場合について模型-支柱間隔 に対する各空力係数を示したものであり、各点は1回の計測による結果である。また、比較のため図中右端に模型単体の場合の結果を示した。

なお、ここに示す各空力係数は模型体積の2/3乗を代表面積として定義した値である。正面面積に基づく空力係数 $C_{x,F}$ および濡れ面積に基づく空力係数 $C_{x,W}$ とは、それぞれ以下の関係にある。

$$C_{x,F} = 2.08 C_x \quad (x = D, L, m)$$

$$C_{x,W} = 0.162 C_x \quad (x = D, L, m)$$

4. 考察

Eckertは、DNW(German-Dutch Wind Tunnel)で行われた航空機の風洞試験結果をもとに、支持干渉の影響を (1)「模型に接する支柱要素によって生じる効果 (near field effects)」と (2)「模型から離れて存在する支柱の容積に依存する効果 (far field effects)」とに分離し、(1)は(2)に比べて小さく、また(2)は主流迎角と動圧の補正によって表されることを示した [文献4]。しかし、これは航空機模型の胴体を支持した場合であり、主要な空気を生じる翼が支柱から離れているゆえの結果である。飛行船の場合、空気を生じる船体を直接支持することになるので、同様の結果が得られるとは限らない。実際のところ、本実験の結果からは、抗力、揚力、縦揺れモーメントの何れについても(1)の影響を明らかに読みとることができる (図6,8,10; (1))。これらは支柱と模型表面上の境界層との干渉によって模型後部底面に生じた低圧領域によるものと考えられる。一方、(2)については、風防有り/無しと比較から、少なくとも大きなReynolds数条件では何れの空力係数に対しても有意な影響を読みとることができる。また、モーメントに関しては $>1\text{mm}$ 以上の場合と支柱なしの場合との比較からも明確な影響を読みとることができる (図10; (2))。しかし、これらの影響を主流迎角または動圧の補正によって矛盾無く表せるかどうかについては、現時点ではデータ不足であるために判断できない。

5. おわりに

今回の試験では、支柱の有無・形状および模型-支柱間隔をパラメタとして4:1回転楕円体模型に働く空気を計測した結果、支持干渉についての基礎的なデータを取得することができた。今後、当面の課題として、

- データ精度の向上 (毎回の無負荷時データ取得)
- オイルフロー試験による剥離位置の特定
- 迎角試験による空力微係数の計測
- 5孔ピトー管による模型後方の流れ場計測
- トリップングワイヤーによる高Reynolds条件の模擬

を考えており、いずれも今年度中に実施する予定である。

参考文献

1. 澤田秀夫, 河野敬, 国益徹也, "60cm磁力支持装置の低速風洞への適用," 日本航空宇宙学会第31期年会講演会前刷り集, 2000年3月, pp.222-225.
2. 澤田秀夫, 国益徹也, 原田賢哉, "磁力支持天秤装置を用いた回転楕円体模型の抗力測定結果," 第32回流体力学講演会前刷り集, 2000年10月, pp.171-174.
3. Judd, M., Vlajinac, M., and Covert, E. E., "Sting-free Drag Measurements on Ellipsoidal Cylinders at Transition Reynolds Numbers," J. Fluid Mech., Vol.48-2, 1971, pp.353-364.
4. Eckert, D., "Correction of Support Influences on Measurements with sting Mounted Wind Tunnel Models," AGARD CP-535, 1993.