

No. 9

宇宙往還機模型のストラット支持干渉測定試験結果について

野中 修、近藤洋史、星野秀雄（航空宇宙技術研究所）

Wind tunnel test for the strut support interference of the Obiting plane model.

Osamu Nonaka, Hirofumi Kondo, Hideo Hoshino(NAL)

概要

近年NAL大型低速風洞においては、宇宙往還機模型を供試体とした風洞試験¹⁾が多くなっている。その中で、ストラット、スティングの2種類の支持方法による空気力データを取得したところ、スティング支持の空気力データに比べてストラット支持の空気力データがピッチングモーメントに大きく出ることが判った。これはストラット支持干渉によるものである。このことを風洞側独自の課題としてNAL大型低速風洞のストラット支持による風試データの補正量を明らかにする目的で、宇宙往還機模型をNASDA(宇宙開発事業団)より借用して、宇宙往還機模型のストラット支持干渉測定試験を実施した。その結果、 $V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=0^\circ$ 、 α スweepのストラット支持干渉量 ΔC_{ms} 、 ΔC_{ys} 、 ΔC_{ls} はそれ自身の空力係数の約10パーセント程度の範囲の干渉量で、補正する必要があることが判った。また、 ΔC_{ls} 、 ΔC_{ds} 、 ΔC_{ns} の値は天秤精度以下またはそれ自身の空力係数が微小であるので補正することが困難であることが判った。また、得られた実験データをパネル法で求めたストラット支持干渉量と比較した結果、実験で測定したストラット支持干渉量に対して、パネル法で求めたストラット支持干渉量の値は一致しなかった。

1. はじめに

ストラット支持干渉量を測定する方法としては、重見²⁾らが行った鏡像式支柱干渉量測定法³⁾が一般的に行われている。この方法を当風洞での干渉量測定に適用した場合、ダミー支柱ならびにダミー風防のカート天井壁への設置、模型の逆吊りの取付等の作業が必要となり、NAL大型低速風洞のように大きな測定断面(幅5.5m×高さ6.5m)を持ったカートで、しかも大きな模型を扱う当風洞においては、試験装置に多額の経費を費やさない限り、これを実行するには多大な労力とセット替え時間が必要となる。NAL大型低速風洞においては、平成6年度に完成したスティング支持装置⁴⁾で模型を支持し、これに製作した実物のストラット及び風防を模擬したストラットダミーを近接させた状態で、

ストラットダミーがない状態との空気力の差からストラット支持干渉量を簡易的に測定する方法でデータを取得し、このデータをパネル法で求めたストラット支持干渉量との比較を行ったので、その試験方法及び結果について報告する。

2. 供試体

2.1 模型

ストラット支持干渉測定試験用模型は、09-HOPE形状模型(以下、宇宙往還機模型という)であり、去る平成9年10月にNAL大型低速風洞で行われた09-HOPE15%模型低速風試に使用したものをNASDAより借用した。図1に宇宙往還機模型(基本形態)の外形図ならびに主要諸元と内挿/外装天秤の天秤取付位置を示す。胴体底面部にはRCS(Reaction

Control System)が設けられている。さらに底面には底面(ベース)圧力測定用の静圧孔と 6.4 項に述べる主翼(右舷)上、下面に静圧孔が設けられている。本模型は 2 種類の支持(スティング/ストラット)形態での試験が可能である。内挿天秤中心はモーメント基準点より X 方向が上流側に 36 mm ずれている他は、Y、Z の座標はモーメント基準点と一致している。外装天秤中心は、モーメント基準点より X 座標が上流側に 536 mm、Z 座標がモーメント基準点より下方側に 250.5 mm ずれている。Y 座標はモーメント基準点と一致している。また、本試験用に図 2 に示す模型支持部カバーを製作し模型側に取り付けて使用した。

2.2 ストラットダミー

(1) ストラットダミーの概要

ストラット支持干渉測定試験に使用するために製作したストラットダミーは、図 2、図 3 に示すように前・後部ストラット用模型支持金具、前・後部ストラット、前・後部風防、ストラットダミー移動架台、その他(調整ネジ、ハンドル類)の部品等で構成されたもの一式の総称であり、ストラット支持(外装天秤使用時の)力試験の際に、風路測定部内の模型を除く風にさらされる部分を模擬している。この中の構成部品の 1 つであるストラットダミー移動架台、その他(調整ネジ、ハンドル類)の部品については、実際のストラット(前・後部ストラット用模型支持金具含む)及び風防が受ける風圧面積より 435 mm の高さの面積分だけは余分ではある。本体の正面面積はできるだけこのことを考慮して、模型への影響が無いように気流が抜けやすくなるような構造になっている。また、ストラットダミー移動架台はスティングで支持した模型の姿勢角を変化させた時、スティングで支持した模型の内挿天秤位置が X 方向へずれる移動量分だけ補正するために用いられる。模型迎角 α の変角時のストラットダミーの調整は、図 3

に示すその他の調整ネジ、ハンドル類を使って後部ストラットの風防からの露出分($\alpha = -10^\circ \sim 25^\circ$ 分の高さに相当する高さ H の調整可能)の調整と後部風防の傾きを調整する。模型横滑り角(β)の変角時のストラットダミーの調整は、ストラットダミーと風防を取り付けた基盤を前部ストラットを中心軸にして回転させる。このようにして、ストラットダミー模型支持部の位置関係を一定にすることができる。風洞床面より 435 mm 上方の部分については文献 4)に基づき実物と同寸法で製作された。図 3 に示すように、模型下面とストラットダミー模型支持部(前、後部支持ピン中心)の相対距離、または前部風防上端と前部支持用ピン中心との相対距離はそれぞれ 25 mm、400 mm である。

(2) ストラットダミーパラメータ(α 、 β 、H、h、X)の測定

ストラット支持干渉試験の前に、スティング支持模型の姿勢角(α 、 β)を実際の試験ケースの α 、 β の値に設定して、この模型の前・後部支持部カバーとストラットダミーの前・後部模型支持金具との相対位置関係や模型下面から前・後部ストラットの模型支持用ピン穴中心までの距離を 2.2(1)項で前述した寸法に合わせてストラットダミーパラメータ(α 、 β 、H、h、X)を測定し、これをストラット支持干渉試験でストラットダミーのセットパラメータとして使用した。

3. 使用測定カート及び試験装置

3.1 ストラット支持干渉試験

ストラット支持干渉測定試験には、図 4 に示すようなスティング測定カート及びスティング支持装置 4)、ストラットダミー、標準ピトー管その他、データ収集及び計測装置 5)、データ処理装置が使用された。風洞測定部の大きさは、幅が 5.5 m、高さが 6.5 m である。スティング支持装置では、模型迎角(α)変角($\pm 40^\circ$ の範囲)の変

角可能)の際、スティングポッドがストラットに沿って移動し、模型回転中心が常に風洞中心高さになるように補償される方式となっている。また、模型横滑り角(β)の設定についても、2つの関節軸により直接横滑り角($\pm 25^\circ$ の範囲の変角可能)を設定できるようになっている。模型迎角(α)は、模型胴体内部に搭載された Sensorex 社製サーボ加速度計により、横滑り角はスティング支持装置の角度エンコーダにより測定された。図5にスティング支持によるストラット支持干渉風試(ストラットダミー有)の状況を示す。

3.2 ストラット支持力試験

ストラット支持力試験には、NAL大型低速風洞設備⁴⁾であるストラットカート、標準ピトー管、ピラミッド型6分力天秤装置(ストラット、風防含む)の他、データ収集及び計測装置、データ処理装置⁵⁾が使用された。模型迎角(α)は、模型胴体内部に搭載された Sensorex 社製サーボ加速度計により、横滑り角(β)はピラミッド型天秤装置の β 変角表示装置により測定された。図6にストラットカート内のストラット支持による宇宙往還機模型の風試状況を示す。

4. ストラット支持干渉量測定法

ストラット支持(外装天秤)による力試験では、図7に示すように、模型(m)に加わる真の空気力(D_m)の他に、ストラット・テアによる空気力(D_{st})、模型からストラットへの干渉($I_{m/str}$)、ストラットから模型への干渉($I_{str/m}$)を含んだ(1)式の空気力データ [$D(P)$] が測定データとして取得される。NAL大型低速風洞においてはこれに対して、次に述べる近藤の方法によりストラット・テア分(D_{st})と模型からストラットへの干渉分($I_{m/str}$)の補正を行っている。

$$D(P) = D_m + D_{st} + I_{m/str} + I_{str/m} \cdots \cdots (1)$$

$$D(IN) = D_m + I_{str/m} \cdots \cdots (2)$$

$$(1) - (2) = D_{st} + I_{m/str} \cdots \cdots (3)$$

近藤の方法では図8に示すように、外装天秤と内挿天秤の2つの天秤で同時に空気力を測定し、外装天秤で測定される(1)式の空気力 [$D(P)$] から内挿天秤で測定される(2)式の空気力 [$D(IN)$] を差し引いた(3)式で、ストラット・テア分(D_{st})と模型からストラットへの干渉分($I_{m/str}$)の補正量を求めることができる。さらに残ったストラットから模型への干渉分($I_{str/m}$)については近藤の方法では評価できないため、今回簡易的にスティング支持装置とストラットダミーを用いてストラット支持干渉量の測定を行った。以下にその測定法について述べる。

ストラット支持干渉量 [$\Delta C_{X(Str)}$] は、図9に示す測定法から次の(4)式によって算出して求められる。

$$\Delta C_{X(Str)} = C''_x - C'_x \cdots \cdots (4)$$

(4)式の右辺 C''_x は、模型(m')に加わる真の空気力($D_{m'}$)の他に、ストラット [Str(風防含む)] から模型(m')への干渉 [$I_{str/m'}$]、スティング(Sti)から模型(m')への干渉 [$I_{sti/m'}$] 等を含んだ空力係数データである。(4)式の右辺 C'_x は、模型(m')に加わる真の空気力($D_{m'}$)の他に、スティング(Sti)から模型(m')への干渉が含まれた空力係数データであり、この両者の差($C''_x - C'_x$)をとるとストラット支持干渉量 [$\Delta C_{X(Str)}$] が求められる。近藤の方法で求められたストラット・テア分(D_{st})は、図8の模型形態であり、その値は、ストラットに支持された模型形態により異なり、今回の宇宙往還機模型のストラット・テアとは異なることに注意しておく必要がある。

5. 天秤仕様及び精度

ストラット支持干渉測定試験に使用された内挿天秤(60MT6-700-81 型)の仕様/精度を表1に、ストラット支持による宇宙往還機模型の基本空力特性風試に使用された外装天秤(ピラミッド型 1/2 容量)の仕様/精度を表2にそれぞれ示す。表1、表2それぞれの表中に示す各空力係数の

精度は、[誤差/容量(%)]を本試験条件の処理基準量[$q=912\text{ Pa}$ ($V=40\text{ m/s}$)、 $S=1.4625\text{ m}^2$ 、 $C=1.1625\text{ m}^2$ 、 $b=1.364\text{ m}^2$]を用いて C_L ～ C_I のそれぞれの空力係数に換算した値を示す。内挿天秤と外装天秤両者の天秤精度を比較してみると、 $C_L(F_z)$ 、 $C_D(F_x)$ については外装天秤の方が天秤容量が大きいのにもかかわらず天秤精度が良い。これ以外の $C_m(M_Y)$ 、 $C_Y(F_Y)$ 、 $C_n(M_X)$ 、 $C_I(M_Z)$ の値については内挿天秤の方が良いことが判る。

6. 風洞試験

6.1 予備試験

ストラット支持干渉測定試験で、ストラットダミー有、無の力データの差から干渉量を求める場合、通常NALの大型低速風洞試験の計測で行っている1回(100個の平均値)のデータ収集ではデータの信頼性に欠けると考えられる。本予備試験では、データ取得回数とデータのばらつき誤差の関係を調べて本ストラット支持干渉測定試験でのデータ取得回数を定めるため、スティング支持で、模型の迎角(α)を宇宙往還機模型のノミナル値の 10° 、横滑り角(β)を本ストラット支持干渉測定試験の最大(目標)値である 15° にそれぞれ設定した形態で、6分力空力データを3回または5回それぞれ取得した。

図10は縦3分力(C_{LS} 、 C_{DS} 、 C_{ms})データのばらつきをデータ取得回数3回と5回で比較したもので、データ取得回数3回、5回それぞれの C_{LS} 、 C_{DS} 、 C_{ms} のばらつき誤差は、内挿天秤精度の範囲内であることが判る。また、データ取得回数3回の平均 C_{LS} 、 C_{DS} 、 C_{ms} 値とデータ取得回数5回の平均 C_{LS} 、 C_{DS} 、 C_{ms} 値は天秤精度の範囲内でほぼ同値であることと、実験の制約時間を考慮してストラット支持干渉試験のストラットダミー有の試験ではデータ取得回数は3回とした。

6.2 ストラット支持干渉測定試験

ストラット支持干渉試験は、従来より問題提起されている、NAL大型低速風洞のストラット支持風試データに含まれるストラット支持干渉量(ストラットテアー分は除く)を測定し、ストラット支持干渉の補正への適否を評価する目的で行った。ストラット支持干渉測定試験は、スティングで支持された模型の真下にストラットダミーを設置した状態をストラットダミー有とする形態と、スティングで支持された模型の真下には何もない状態をストラットダミー無とする2つの試験形態で行われた。ストラットダミー有または無の試験条件としては、模型形態は基本形態(全舵角零度)で、試験風速は 40 m/s で、模型姿勢角(α 、 β)の変角の α スイープは $0^\circ \sim 20^\circ$ (5° ピッチ)の範囲で、 β スイープは $-10^\circ \sim +10^\circ$ (5° ピッチ)の範囲でそれぞれ行った。データ計測は、ストラットダミー有の場合、 α または β の1スイープの中で、1つの姿勢角(α または β)につきデータを3回取得し、この同ケースのスイープを3回繰り返し行った。ストラットダミー無の場合は従来同様 α または β の1スイープの中で、1つの姿勢角(α または β)につきデータを1回取得して同ケースのスイープを1回行った。この他、ストラットダミー無の再現性試験を同様の試験ケースで1度行った。

6.3 ストラット支持による力試験

風洞内でストラット支持により行う力試験で起こるストラット支持干渉は、ストラットで支持される模型の形状またはストラット(模型支持金具、風防含む)の形状によって、模型とストラット相互の干渉も異なる。本ストラット支持による基本空力特性試験では、宇宙往還機形状模型のストラット支持干渉を評価する基礎データをを得るために、宇宙往還機模型(基本形態)の基本空力特性試験を行った。試験風速は 40 m/s と 60 m/s の2種類で、模型姿勢角(α 、 β)の変角スイープは① $\beta=0$ 、 α スイープ $[-6^\circ \sim$

20° (2° ピッチ)], ② $\beta=5$ 、 α スイープ [−6° ~20° (2° ピッチ)], ③ $\beta=10$ 、 α スイープ [−6° ~20° (2° ピッチ)], ④ $\alpha=10$ 、 β スイープ [−16° ~16° (2° ピッチ)] でそれぞれ行った。データ取得は1回とした。同様に再現性試験を1度行った。

6.4 圧力分布測定

圧力分布測定は、ステイニング支持でストラットダミー有と無の形態でのベース圧への影響を調べる目的と、模型主翼面(エレボン含む)上、下面の圧力変化を調べるための主翼上、下面の圧力測定の種類2種類の圧力計測を力試験と同時に行った。ベース圧の計測は図11に示すベース面を9分割されたP1~P10(P7を除く)の静圧孔位置の静圧を、主翼(エレボン含む)上、下面の圧力測定は、図12に示すW-1, W-2, W-3それぞれの断面線上(上、下面)に設けた静圧孔の静圧をスキヤニバルブ(D型, 5連式)、圧力変換器を用いて測定した。

7. データ処理、補正

7.1 風試データの処理、補正

(1) 6分力風試データの処理

6分力風試データの処理⁶⁾は、NAL大型低速風洞標準の処理形式に従って処理され、6分力空力係数 [$C_L \sim C_1$ (風洞軸系、安定軸系、機体軸系の3軸系に変換して)], 圧力係数 (C_p) の形で最終的な出力データとして出力される。この中で C_D の値はストラット・テアー補正(近藤の方法による)された値である。また、ステイニング、ストラット両支持による空力データ(パネル法含む)は全て模型のモーメント基準点に変換した値である。以下、7.1(2)項以降で述べる力試験データは、全て安定軸まわりで整理されている。

(2) ストラット支持干渉量の算出

ストラット支持干渉量の算出は、図13に示すように、最初に各 α または β におけるストラ

ット支持ダミー有の力試験で得られた9個、またはストラット支持ダミー無の力試験で得られた2個それぞれのデータを使って、各 α または β に対して各空力係数データをグラフ上にプロットして $C_{LS} \sim \alpha \dots$ 、 $C_{LS} \sim \beta \dots$ 等の基本特性データの作成を行う。次にこのグラフ上で求めた基本特性データに対して、多項式近似によるカーブフィッティングを行ってカーブフィットデータを求めた後、ストラットダミー有、無の両者のカーブフィットデータの差から各 α または β に対するストラット支持干渉量 ($\Delta C_{LS} \sim \Delta C_{LS}$) を求めた。

(3) ベース圧によるピッチングモーメント係数の算出

ベース圧によるピッチングモーメント係数の評価は、ベース圧測定データ(P1~P10)を次式に示す(1)式でピッチングモーメントの形で積分し、さらにこれを(2)式に代入してピッチングモーメント係数を求めた。ここで $r_1 \sim r_{10}$ は、模型のモーメント基準点からの距離(m)を示す。

1) 積算ベース圧(P_B)によるピッチングモーメント (P_{Br}) の算出

$$P_{Br} = (P_1 \times 0.0141 \times r_1 + (P_2 + P_5) \times 0.0306 \times r_2 + (P_3 + P_4) \times 0.0168 \times r_3 + P_9 \times 0.0132 \times r_9 + (P_8 + P_{10}) \times 0.0176 \times r_8 + P_6 \times 0.0264 \times r_6) / 0.1837 \dots \dots (5)$$

2) ピッチングモーメント係数 (C_{mB}) の算出

$$C_{mB} = P_{Br} \cdot S_B / S_W \cdot q \cdot C \dots \dots \dots (6)$$

7.2 パネル法データの処理条件

宇宙往還機模型のストラット支持干渉試験で求めたストラット支持干渉量データの妥当性を評価するためにパネル法による結果と比較した。以前に作成した09-HOPE模型とほぼ同形状の07-HOPE模型を、NAL大型低速風洞のストラット(風防、模型支持金具含む)で支持した形状をパネル法で解析して支持干渉量を求めた結果との比較も行った。以下に表3に07-HOPE

モデル(ストラット支持)処理基準値を示した。

8. 結果

8.1 基本特性(再現性含む)

図 14 は、 $V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=0^\circ$ の α スイープの再現性を含めた縦 3 分力(安定軸系)の基本特性について示したもので、図中の上段が C_{LS} 、中段が C_{DS} 、下段が C_{ms} をそれぞれ表したものである。各段の図中の○印は、スティング支持ダミー有、△印はスティング支持ダミー無データを表す。図 14 から C_{LS} の値は、ストラットダミー有、無共に α に対してほぼニアに変化しており、再現性についても両者共に良好であることが判る。 C_{DS} の値は、ストラットダミー有、無それぞれの C_{DS} の値のバラツキは共に内挿天秤精度の範囲内に収まっており、再現性も両者共に良好である。ストラットダミー有、無の C_{ms} の差分は内挿天秤精度を越えており、 $\alpha=14^\circ$ を除く両者の再現性は共に良好であり補正が可能であることが判る。図 15 は、 $\alpha=10^\circ$ の β スイープの縦 3 分力(安定軸系)の基本特性を示した。 C_{LS} 値の β スイープに対する干渉量の対称性が良いことが判る。 C_{DS} の値は、スティング支持の β に対する変化は、 C_{DS} 値が $0.07\sim 0.08$ の範囲内でほぼ一定となっている。 C_{ms} の値は、ストラットダミー有の方が、ストラットダミー無に比べて大きいことが判る。これらのことからストラット支持干渉は C_m に大きく影響することが判る。

8.2 ストラット支持力試験データの再現性

ストラット支持の縦 3 分力(安定軸系)基本特性の再現性について図 16、図 17 に示した。図 16 はストラット支持の基本特性($V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=0^\circ$ の α スイープ)の再現性を示した。図から C_{LS} の再現性は悪く、 $\alpha=0\sim 20^\circ$ の範囲で外装天秤精度範囲を越えるバラツキが見られる。 C_{DS} は、 $\alpha=17^\circ$ までは天秤精度の範囲内に収まっているが、 $\alpha=18^\circ$ を越えると再現性が悪く

なる。 C_{ms} は、 $\alpha=-6^\circ\sim 20^\circ$ の範囲で再現性が良好である。図 17 は、 $V=40\text{m/s}$ 、 $\alpha=10^\circ$ の β スイープ)のストラット支持の基本特性の再現性を示した。 C_{LS} の再現性は悪く、天秤精度を越えたバラツキが見られる。 C_{DS} 及び C_{ms} の再現性は良好である。

8.3 ストラット支持干渉量

(1) $V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=0^\circ$ の α スイープのストラット支持干渉量

$V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=0^\circ$ の α スイープのストラット支持干渉量を図 18、図 19 に示した。図 18 は縦 3 分力(安定軸系)のストラット支持干渉量(ΔC_{LS} 、 ΔC_{DS} 、 ΔC_{ms})を示す。図中の●印は実験により測定した宇宙往還機模型のストラット支持干渉量を、□印はパネル法で推算した 07-HOPE 模型のストラット支持干渉量($V=70\text{m/s}$)を示す。 ΔC_{LS} について見ると、実験によるストラット支持干渉量は、内挿天秤精度を越えるものの $-0.01\sim -0.006$ の範囲に収まっており、生の測定値 C_{LS} の値に比べて著しく微小であるので補正することが困難であることが判る。これに対して、パネル法から求めたストラット支持干渉量は、負側に大きくずれており、その値は $-0.014\sim -0.023$ の範囲に収まっている。 ΔC_{DS} は、実験によるストラット支持干渉量とパネル法によるストラット支持干渉量の値は、 $\alpha=+5^\circ\sim +10^\circ$ の範囲では良く一致しているが、共に天秤精度以下である。従って補正は困難であることが判る。 ΔC_{ms} は、実験によるストラット支持干渉量とパネル法によるストラット支持干渉量の勾配変化が逆になる傾向が見られる。図 19 は、 $V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=0^\circ$ の α スイープのストラット支持干渉量(ΔC_{YS} 、 ΔC_{LS} 、 ΔC_{NS})を示す。 ΔC_{YS} は、 $\alpha=0\sim 20^\circ$ の範囲で最大 0.0035 程度となっている。 ΔC_{LS} は、パネル法の値は α に対してほぼ一定であるが、実験によるストラット支持干渉量は、 α の増加に伴って増大し、最大で 0.00105 ($\alpha=14^\circ$)

で)程度である。 ΔC_{ns} は、 $\alpha=0^\circ \sim 15^\circ$ の範囲では天秤精度と同レベルでほぼ一定であることが判る。

(2) $V=40\text{m/s}$ 、 $\alpha=10^\circ$ の β スイープのストラット支持干渉量

$V=40\text{m/s}$ 、 $\alpha=10^\circ$ の β スイープのストラット支持干渉量を図 20、図 21 に示した。図 20 は、縦 3 分力(安定軸系)のストラット支持干渉量(ΔC_{LS} 、 ΔC_{DS} 、 ΔC_{ms})を示す。 ΔC_{LS} についてみると、実験によるストラット支持干渉量は、 $\beta=\pm 10^\circ$ の範囲で $-0.002 \sim -0.007$ の範囲でゆるやかに変化しているのに対し、パネル法から求めたストラット支持干渉量は、負側に約4倍程度と大きくずれている。 ΔC_{DS} の値は、実験によるストラット支持干渉量は、 $-0.004 \sim -0.003$ の範囲に収まっている。パネル法によるストラット支持干渉量は $-0.004 \sim -0.006$ の範囲に収まっており、両者の傾向は良く一致している。 ΔC_{ms} は、実験によるストラット支持干渉量は、負側に出ている($-0.005 \sim -0.007$)が、パネル法によるストラット支持干渉量は正側に出て($0 \sim 0.0075$)おり、傾向も異なっている。図 21 は、横 3 分力(ΔC_{YS} 、 ΔC_{ns} 、 ΔC_{IS})のストラット支持干渉量を示す。 ΔC_{YS} についてみると、パネル法によるストラット支持干渉量の値は、ほとんど零付近で変化しないが、実験によるストラット支持干渉量の変化は、負の勾配を持って直線的に変化しており、 $+0.008 \sim -0.013$ の範囲に収まっている。 ΔC_{IS} について、パネル法によるストラット支持干渉量の値は、 $0 \sim 0.0025$ の範囲でほぼ一定であるが、実験によるストラット支持干渉量は、負側に勾配を持って直線的に変化し、 $0.006 \sim -0.004$ の範囲内に収まっている。 ΔC_{ms} の値は、 $\beta=\pm 5^\circ$ の範囲ではほぼ天秤精度範囲内で一定であるが、 $\beta=\pm 5^\circ \sim \pm 10^\circ$ の範囲では天秤精度範囲を越えて負の傾きを持って変化していることが判る。

8.4 主翼(エレボン含)上、下面の圧力測定

結果

図 22 [図 22(a)、図 22(b)] はストラットダミーの模型への影響を調べるため、ストラット支持干渉測定試験の際に力データと同時に主翼(エレボン含)上、下面に設けた静圧孔の圧力測定を行った結果を C_p 分布で示した。試験条件は、模型の形態は基本形態で、風速は 40m/s 、 $\beta=0^\circ$ 、 $\alpha=10^\circ$ である。図 22(a)、図 22(b)で、縦軸は C_p の値を、横軸は主翼(W-1 またはW-3)断面X方向の静圧孔の位置を主翼コードに対する割合(%)で示した。●印は、ストラットダミー無の主翼上面の C_p を、○印は、ストラットダミー無の主翼下面の C_p を、▲印は、ストラットダミー有の主翼上面の C_p を、△印は、ストラットダミー有の主翼下面の C_p をそれぞれ表している。また、図の右最上部には、W-1、W-3 それぞれの C_p 分布の図から求めた $\Delta C_p (= \text{上面} C_p - \text{下面} C_p)$ にモーメント基準点からの距離(r)と単位幅 dx を乗じ、さらにこれを主翼コード方向に積分して求めたピッチングモーメント係数の値を、ストラットダミー有、無の2種類について示す。図 22(a)は主翼 W-1 断面の C_p 分布を示す。図からストラットダミー有に比べて、ストラットダミー無の C_p 分布の方が上(正側)にシフトしていることから、ストラット支持系の模型胴体底面付近への影響が下面のみならず上翼側にも及んでいることが判る。また、 C_p 分布から求めたピッチングモーメントの値は、ストラットダミー有、無での差は、 0.00015 程度出ている。図 22(b)は主翼 W-3 断面の C_p 分布を示す。ストラットダミー有、無による C_p の変化は小さい。これはw-3 断面の位置がW-1 断面位置よりもストラットからの距離が長くなる位置にあることと、W-3 断面のコード長が短くなることによると考えられる。

8.5 ベース圧から求めたピッチングモーメント係数の比較

図 23 は、 $V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=0^\circ$ 、 α スイープにお

けるベース圧測定データを 7.1 項の計算式により求めたピッチングモーメント係数を示す。

図の縦軸は C_{mB} を、横軸は α (deg) を示した。

●印はストラットダミー有、○印はストラットダミー無を表す。図からストラットダミー有、無によるピッチングモーメント係数への寄与分は、 $\alpha=5^\circ \sim 20^\circ$ の範囲では 0.00015~0.0002 程度とストラット支持干渉力試験測定データ C_{mS} の天秤精度と同オーダーであり、ストラットのベース圧への影響はほぼ無いものと考えられる。

9 まとめ

宇宙往還機模型 (09-HOPE 15% 模型) とスティング支持装置及びストラットダミーを使用してストラット支持干渉測定試験を行い、さらに、ストラット支持干渉測定試験データに対して、近藤の方法によるストラット・テア分の補正を加えて宇宙往還機模型のストラット支持干渉量が求められた。また、ストラット支持干渉測定試験の結果から、

- (1) ストラット支持による干渉は、 C_{mS} に大きく影響することが判った。これは、ストラット近傍の吹上によるものと考えられる。
- (2) 測定したストラット支持干渉量のうち、 $V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=0^\circ$ 、 α スイープでは、 ΔC_{mS} 、 ΔC_{YS} 、 ΔC_{IS} については補正する必要があるが、 ΔC_{LS} 、 ΔC_{DS} 、 ΔC_{NS} については天秤精度以下、または空力係数それ自身の数パーセント以下のオーダーであるので補正することが困難であることが判った。また、 $V=40\text{m/s}$ 、 $\alpha=10^\circ$ 、 β スイープでは、 ΔC_{mS} 、 ΔC_{YS} 、 ΔC_{IS} 、 ΔC_{NS} については補正する必要があるが、 ΔC_{LS} 、 ΔC_{DS} については、天秤精度と同等、または空力係数それ自身の数パーセント以下のオーダーであるので補正することが困難であることが判った。
- (3) パネル法 (07-HOPE、 $V=70\text{m/s}$) データとの比較を行った結果、実験結果とは

一致しなかった。パネル法では粘性が考慮されていないこと、ウェークの取扱が実際の物理現象を模擬していないこと等が原因と思われる。

今後の課題としては、

- (1) 近藤の方法によるストラット・テア分の補正は、宇宙往還機模型とは異なっており、厳密な意味での補正量としての正確さに欠けるため、ストラット支持干渉測定試験と同形状の模型を使用したストラット・テア試験を実施し、ストラット・テアのデータベース化を図る。
- (2) 引き続きデルタ翼形状模型以外の飛行船模型、航空機 (輸送機) 模型等それぞれの代表的な形状の模型と現在使用のストラット間相互の干渉測定試験を実施し、模型形状の違いによるストラット支持干渉補正量のデータベース化を図り、風試精度の向上をめざす。
- (3) ストラット支持干渉測定試験のデータ取得効率を上げるために、ストラットダミーのパラメータ調整機構の自動化を図る。
- (4) スティング支持干渉補正を行うためのスティング支持干渉測定試験を実施する。

謝辞

本ストラット支持干渉測定試験を実施するにあたり、宇宙開発事業団より本試験の供試体である宇宙往還機模型の借用に関してご協力を頂いた。また、富士重工業 (株) 宇都宮製作所の若井氏からは、本研究に必要な宇宙往還機模型に関するデータをご提供頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 柳原正明、他; ALFLEX 実験機の懸吊風洞試験. 航空宇宙技術研究所報告. TR-136. 1996
- 2) 重見 仁、他; HOPE 小型自動着陸実験機 9% 模型の低速風洞試験. 航空宇宙技術研究所

報告. TR-1215. 1993

3) 進藤章二郎著；低速風洞実験法、コロナ社. 1992

4) 萱場重男、他；大型低速風洞の概要、航空宇宙技術研究所資料. 近刊予定

5) 星野秀雄、他；大型低速風洞における分散処理システムについて、航空宇宙技術研究所資

料. TM-629. 1990

6) 桑野尚明、他；大型低速風洞データ処理システムについて I - システムの更新と計測のオンライン化-航空宇宙技術研料. TM-345. 1978

7) 室田勝一、他；07-HOPE15%模型のNAL 大低風試、DRA5m 低速風試の結果比較、第 58・59 回風洞研究会議論文集. SP-38. 1998

表 1 内挿天秤 (60MT6-700-81) 仕様

	$F_x [C_D (N)]$	$F_y [C_Y (N)]$	$F_z [C_L (N)]$	$M_x [C_n (Nm)]$	$M_y [C_m (Nm)]$	$M_z [C_l (Nm)]$
容量	±2,942	±981	±6,865	±392	±981	±392
誤差	±5	±1.1	±4.8	±0.47	±0.49	±0.196
誤差/容量 (%)	±0.17	±0.11	±0.07	±0.12	±0.05	±0.05
精度 (空力係数換算値*)	±0.00375	±0.000809	±0.0036	±0.000259	±0.00032	±0.000108

空力係数換算値*：誤差/容量 (%) の値を本試験条件の処理基準量 [$q=912 \text{ Pa}$ ($V=40 \text{ m/S}$), $S=1.4625 \text{ m}^2$, $C=1.1652 \text{ m}^2$, $b=1.364 \text{ m}$] を用いて空力係数に換算した値を示す。

表 2 外装天秤 [ピラミッド型 (1/2 容量)] 仕様

	$F_x [C_D (N)]$	$F_y [C_Y (N)]$	$F_z [C_L (N)]$	$M_x [C_n (Nm)]$	$M_y [C_m (Nm)]$	$M_z [C_l (Nm)]$
容量	1,961 (+1,716 ~ -245)	1,961 (+981 ~ -981)	11,278 (+7,355 ~ -3,923)	2,942 (+1,471 ~ -1,471)	4,904 (+2,452 ~ -2,452)	2,942 (+1,471 ~ -1,471)
誤差	±0.98	±1.765	±0.78	±2.35	±2.35	±0.78
誤差/容量 (%)	±0.05	±0.09	±0.007	±0.08	±0.048	±0.027
精度 (空力係数換算値*)	±0.000743	±0.001337	±0.000594	±0.00153	±0.001307	±0.000436

空力係数換算値*：誤差/容量 (%) の値を本試験条件の処理基準量 [$q=912 \text{ Pa}$ ($V=40 \text{ m/S}$), $S=1.4625 \text{ m}^2$, $C=1.1652 \text{ m}^2$, $b=1.364 \text{ m}$] を用いて空力係数に換算した値を示す。

表 3 07-HOPEモデル (+ストラット支持部) 処理基準値

項 目	処 理 基 準 値
模型スケール	実機想定 15%
基準面積	1.4625 m^2
縦基準長	1.1652 m
横基準長	1.3641 m
モーメント基準点	ノーズ先端より 1.4952 m (62.3%) 胴体長
天秤中心	前部ストラット中心軸と風洞中心軸の交点が一致した位置
風 速	70 m/S
圧縮性	Karman-Tsien formula による圧縮性の補正を加えた
パネル数	07-HOPE 模型形状のパネル数=3300、風洞測定部 (ストラット支持方式) 形状パネル数=4000、ストラット支持装置形状のパネル数=2500

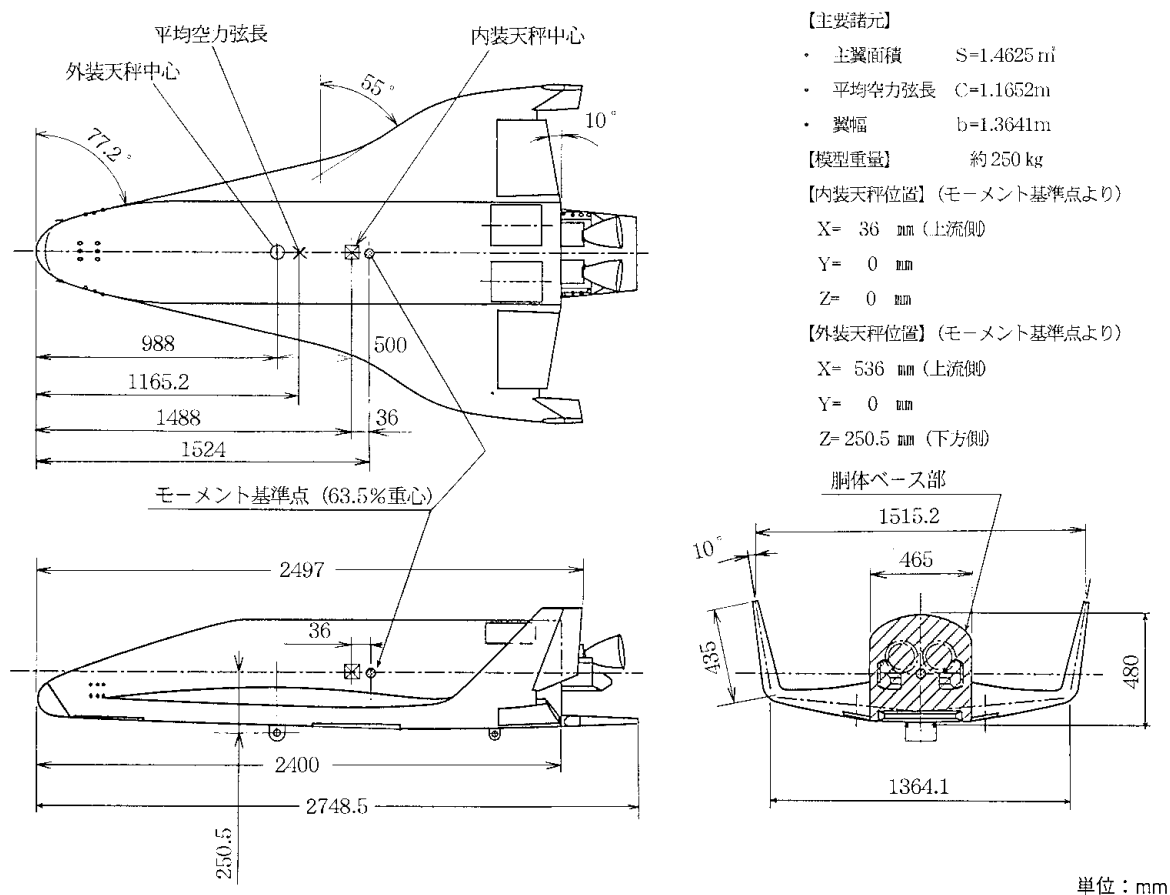


図1 宇宙往還機低速風試模型 (基本形態)

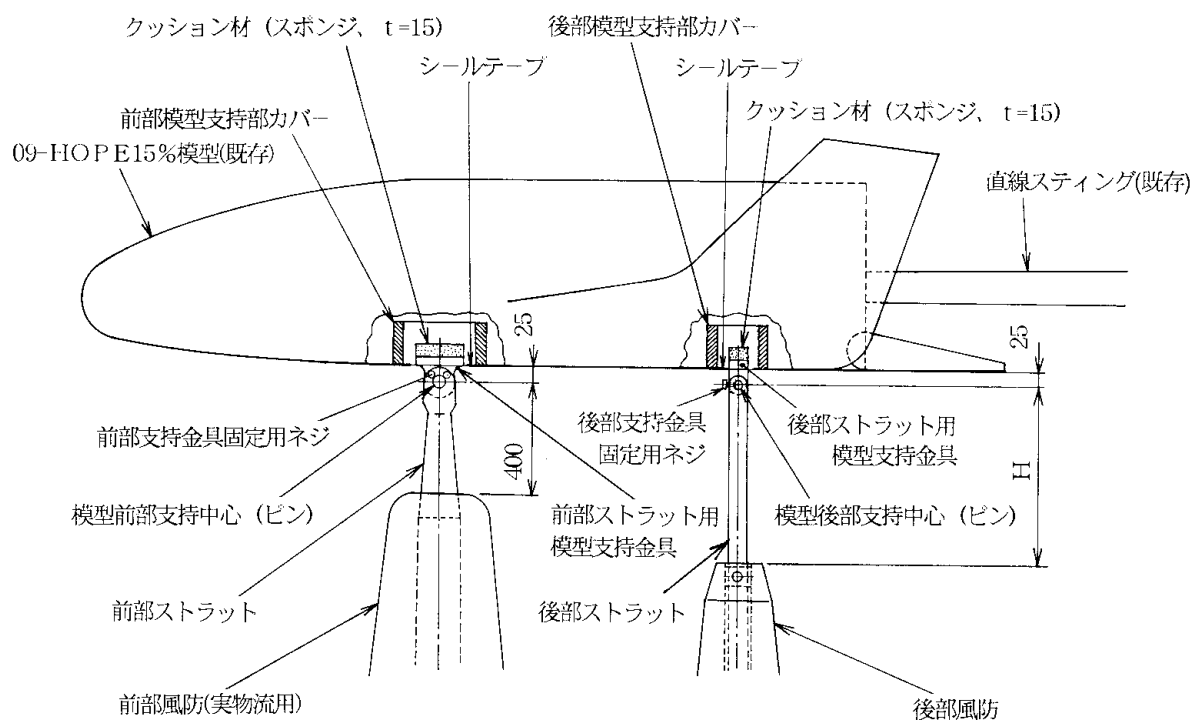


図2 ストラットダミー模型支持部の詳細

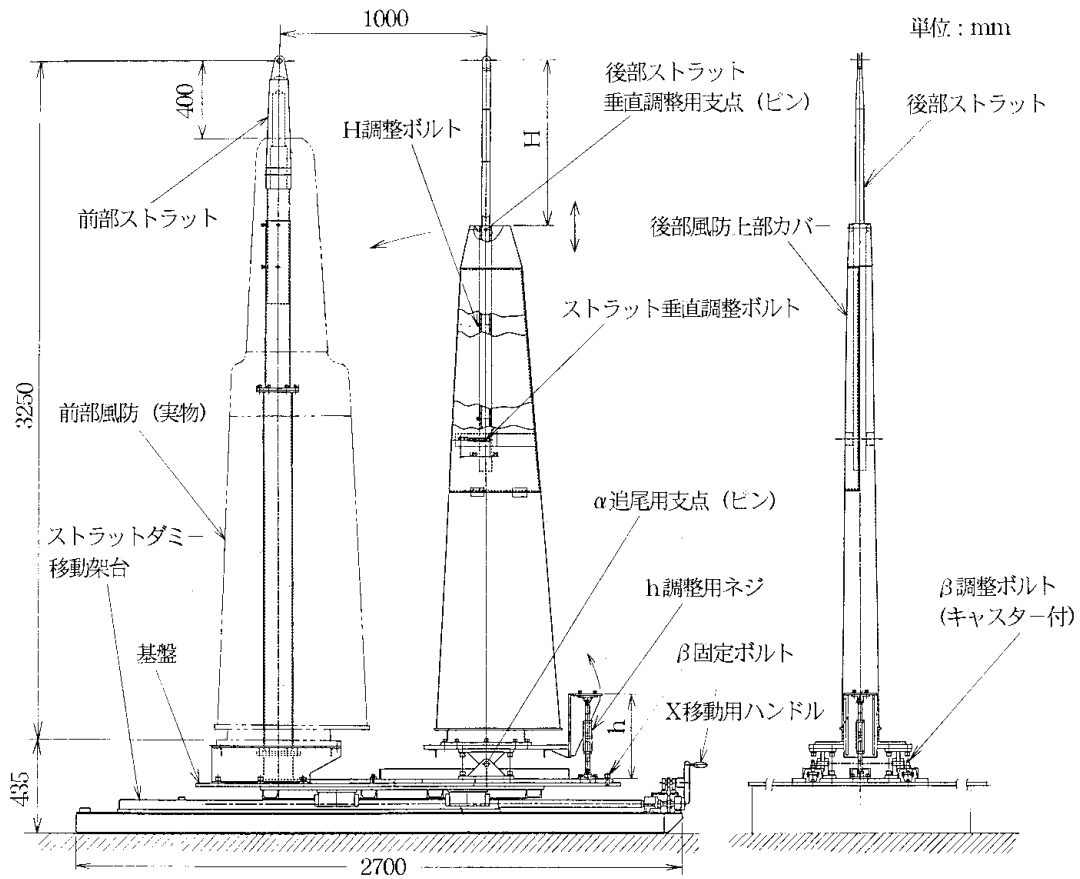


図 3 ストラットダミーの概要

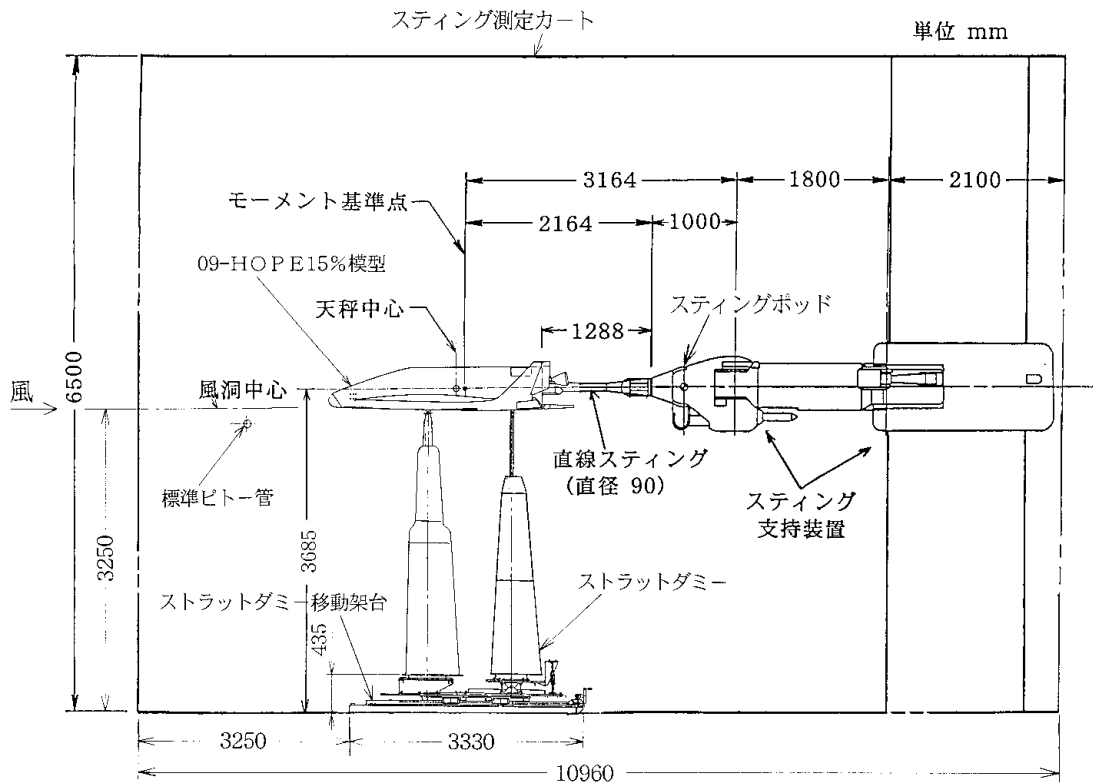


図 4 宇宙往還機模型支持およびストラットダミー設置の概要

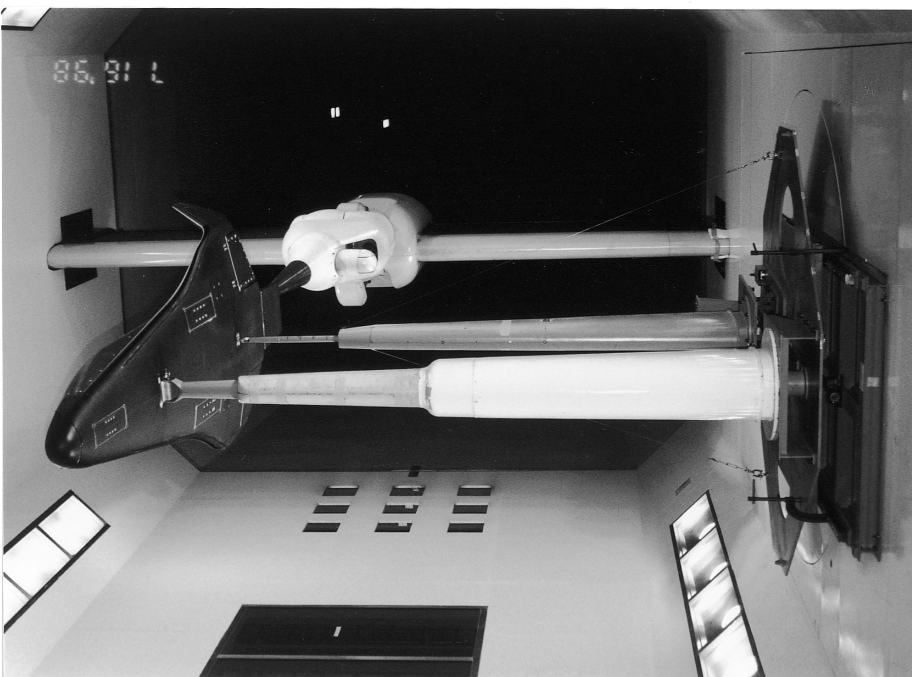


図5 ステイング支持によるストラット支持干渉風試状況



図6 ストラット支持力試験（基本特性）状況

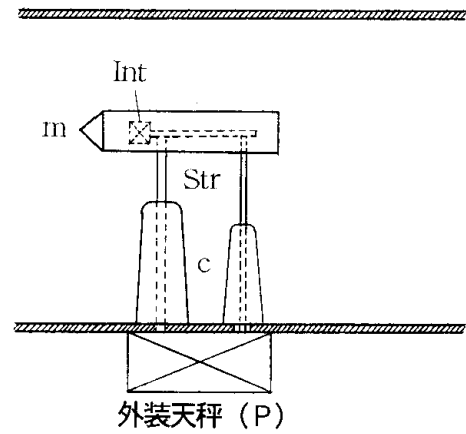
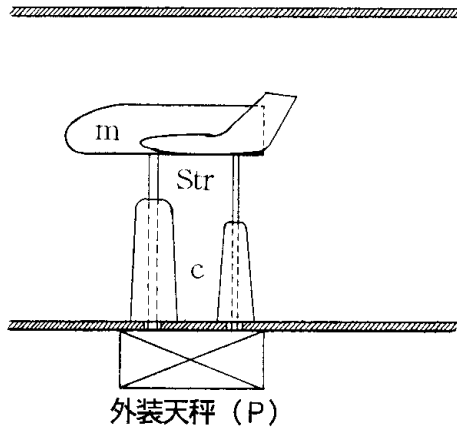


図7 ストラット支持による空気力測定 (未補正)

図8 ストラット・テア ($l_{m/str}$ 含む) の測定

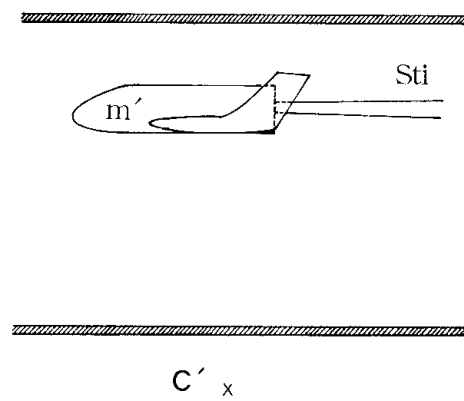
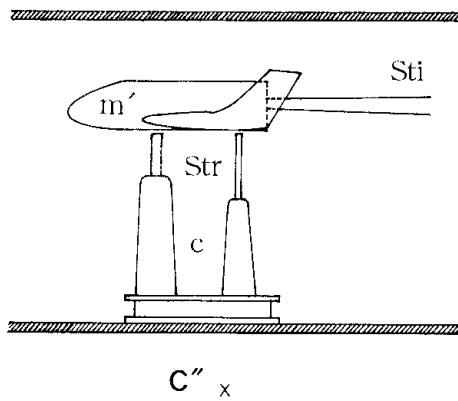


図9 ストラット支持干渉量測定法

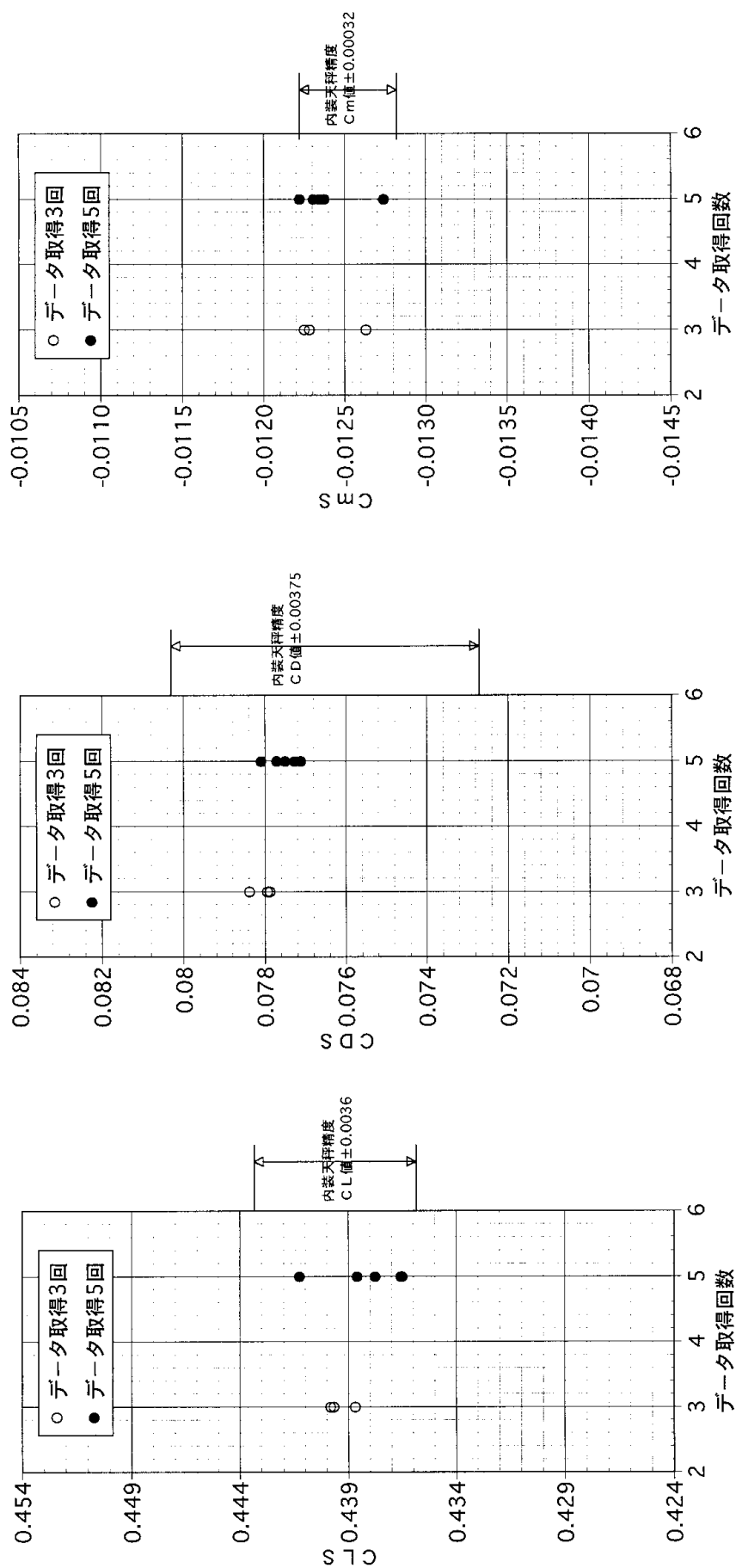


図 10 データ取得回数とデータのばらつき関係
($V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=15^\circ$ 、 $\alpha=10^\circ$)

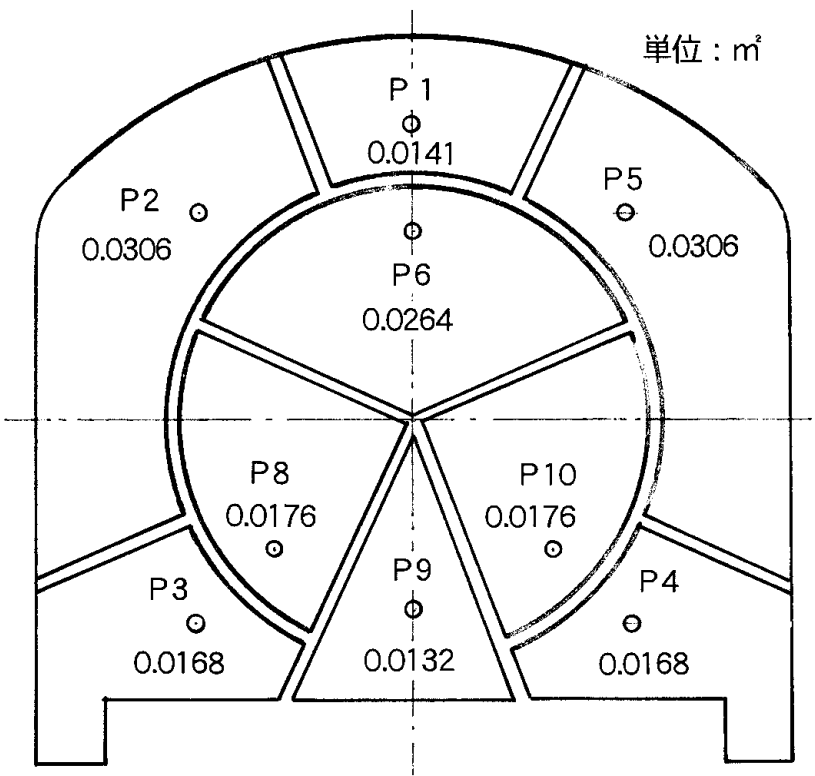


図 11 ベース圧計測面

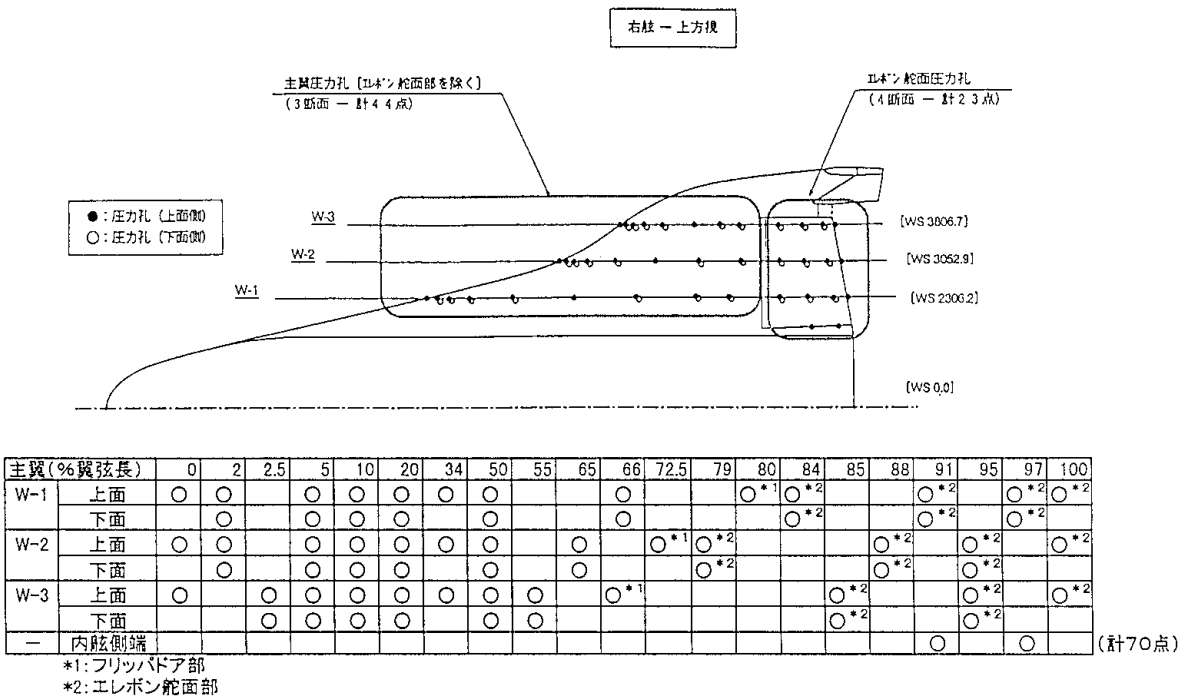


図 12 主翼・エレボン圧力孔位置

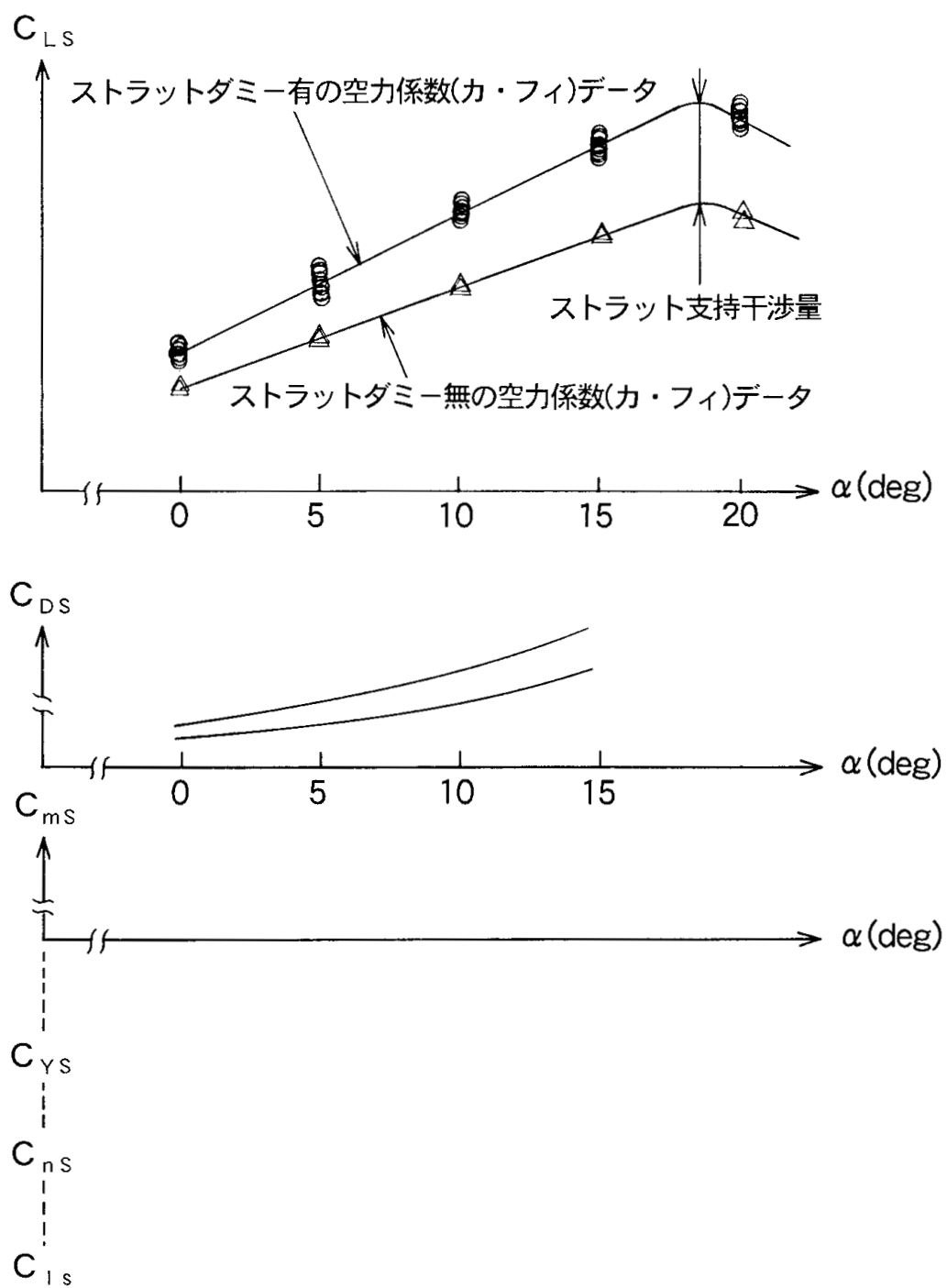


図 13 ストラット支持干渉量の測定 (算出) 方法

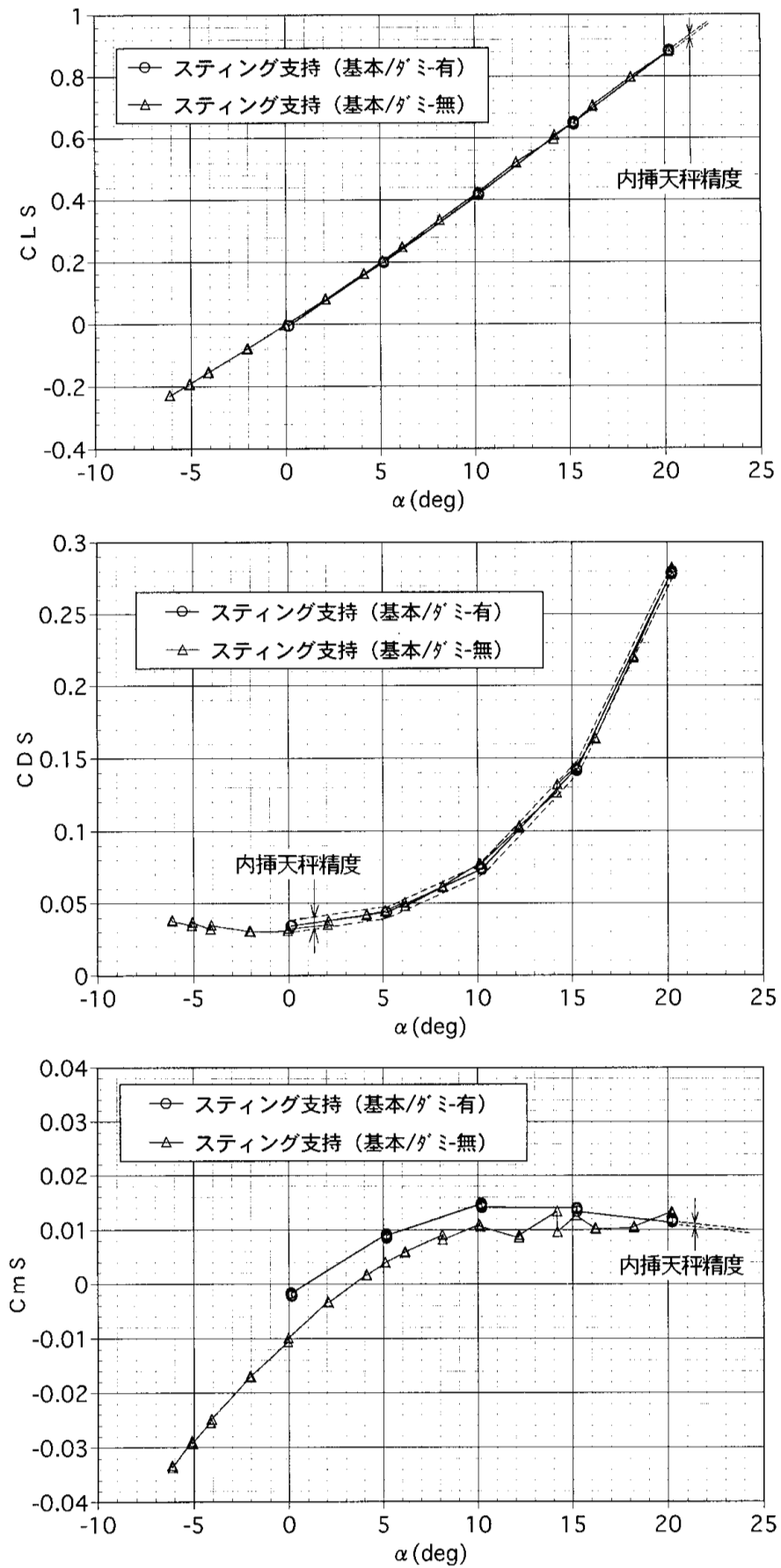


図 14 基本・縦 3 分力特性 ($V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=0^\circ$ 、 α スweep)

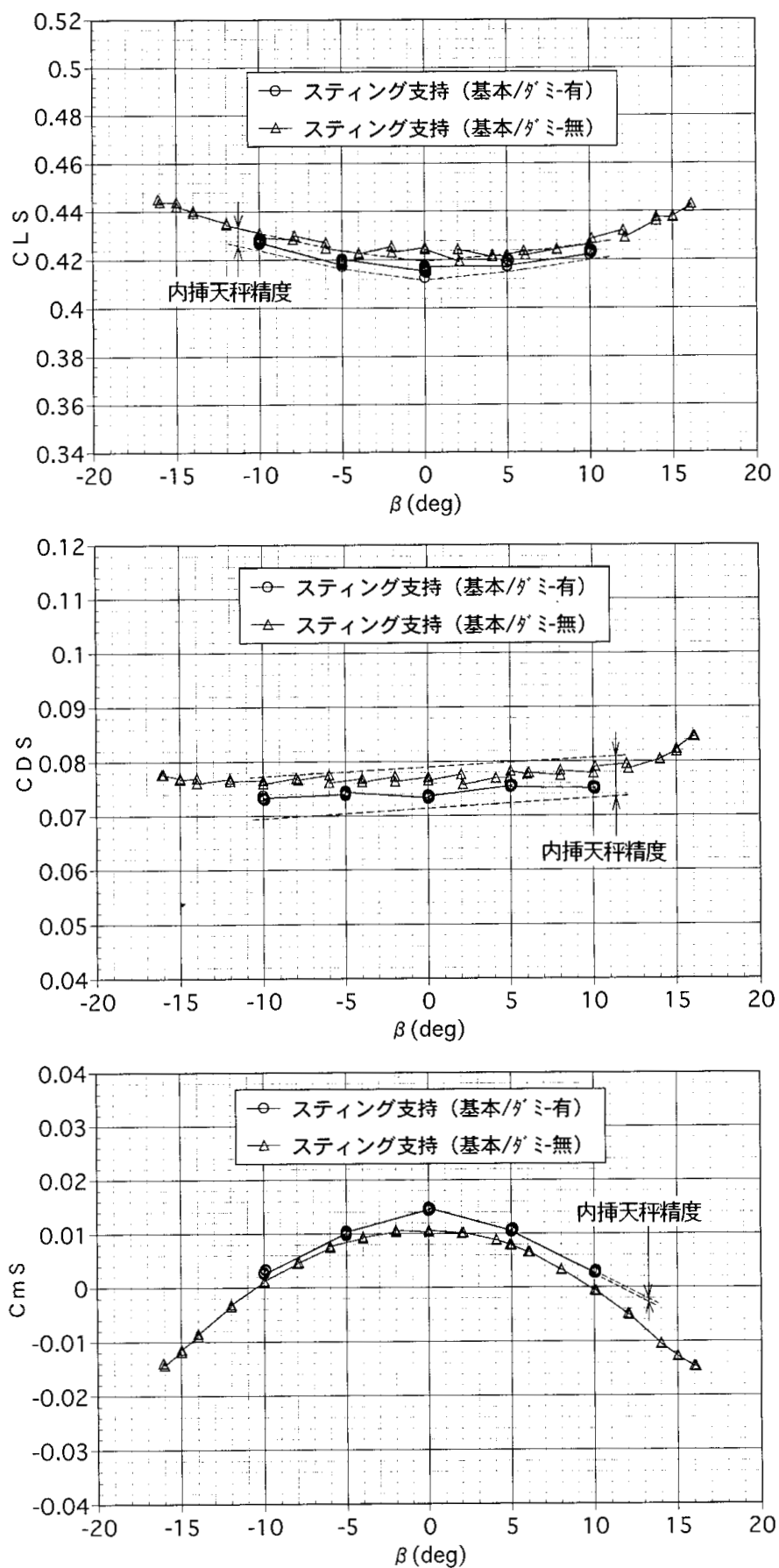
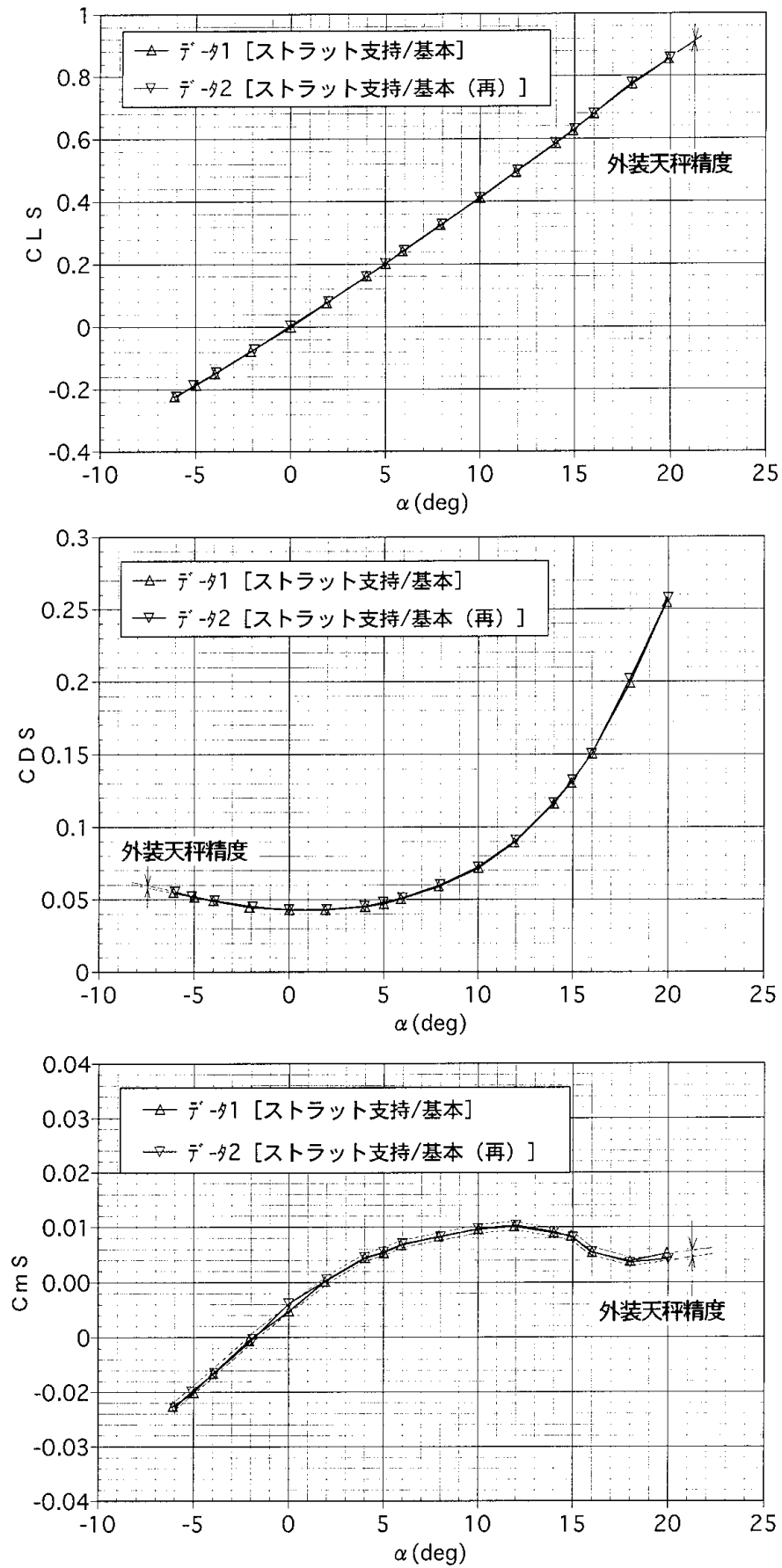


図 15 基本・縦 3 分力特性 ($V=40\text{m/s}$ 、 $\alpha=10^\circ$ 、 β スweep)

図16 ストラット支持の再現性 ($V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=0^\circ$ 、 α スweep)

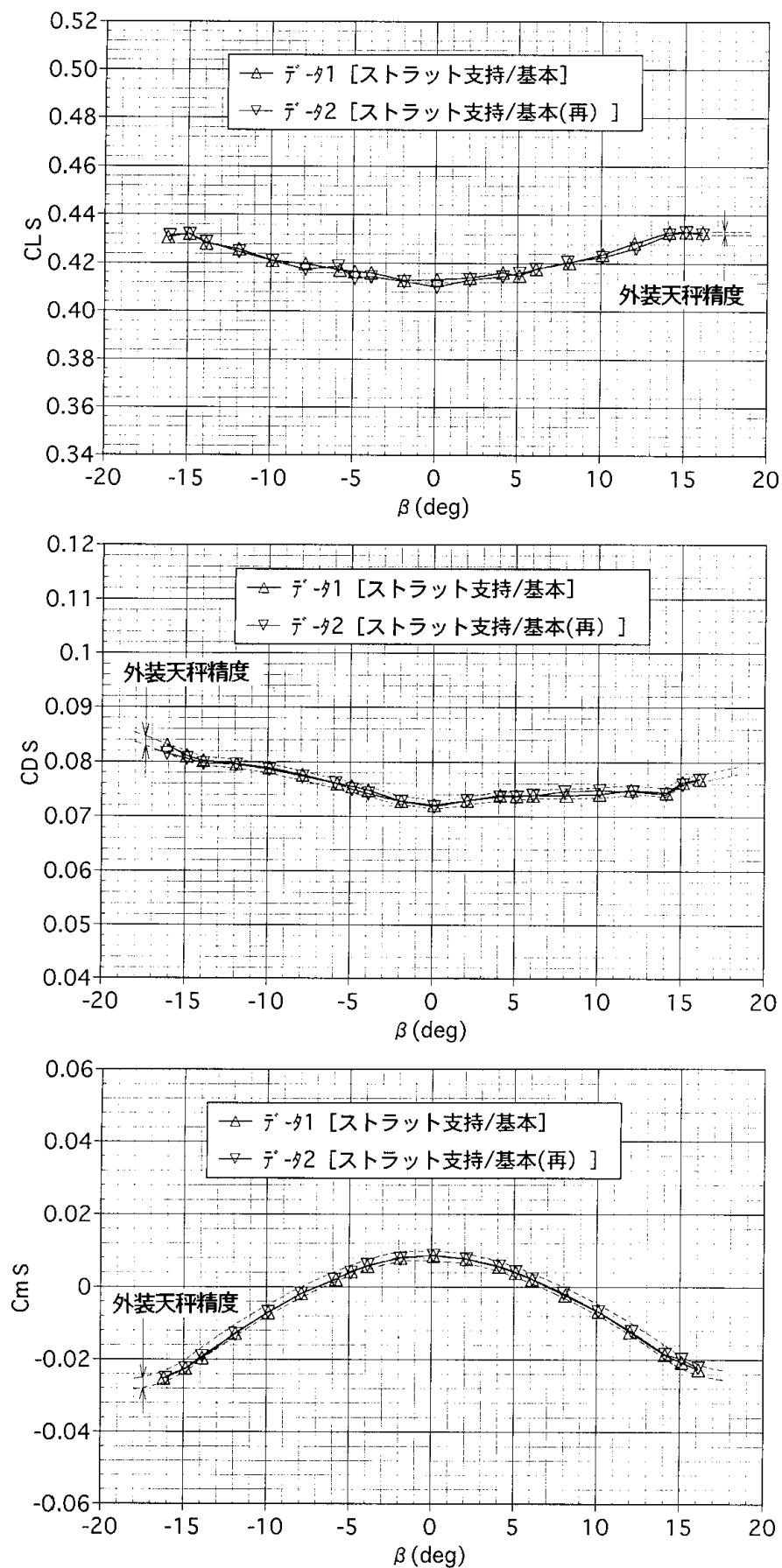


図 17 ストラット支持の再現性 ($V=40\text{m/s}$ 、 $\alpha=10^\circ$ 、 β スweep)

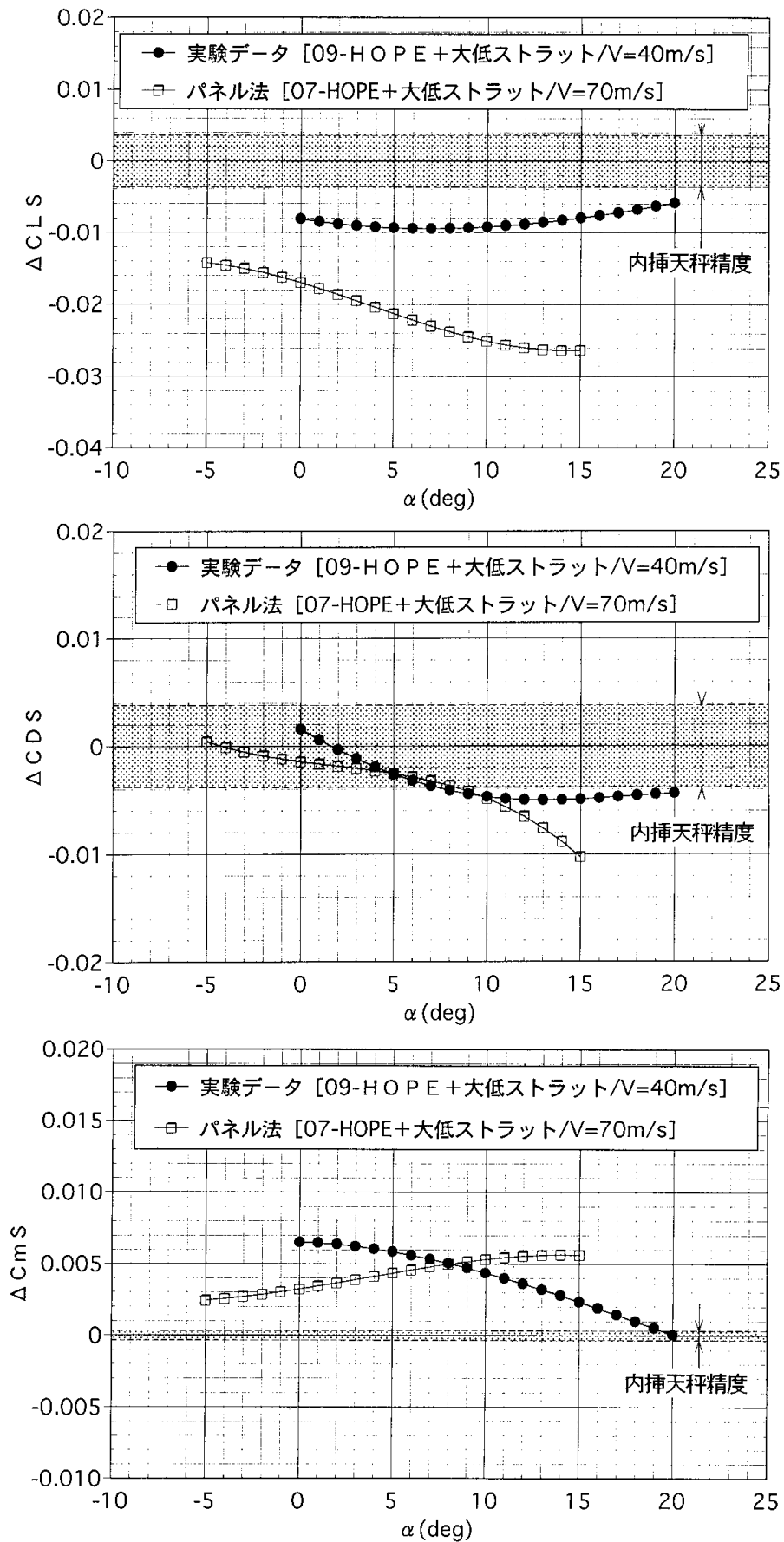


図18 ストラット支持干渉量 ($V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=0^\circ$ 、 α スイープ)

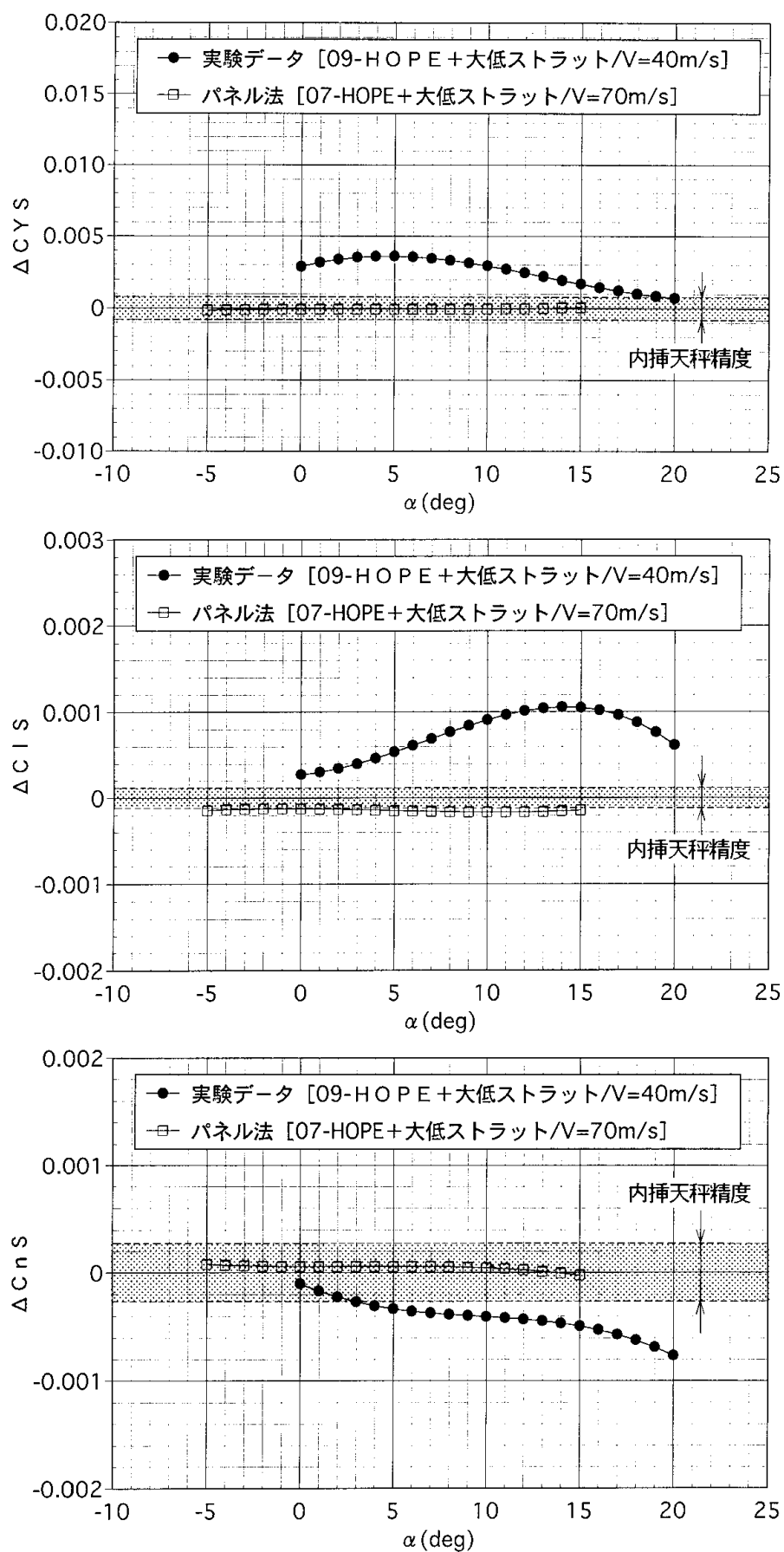
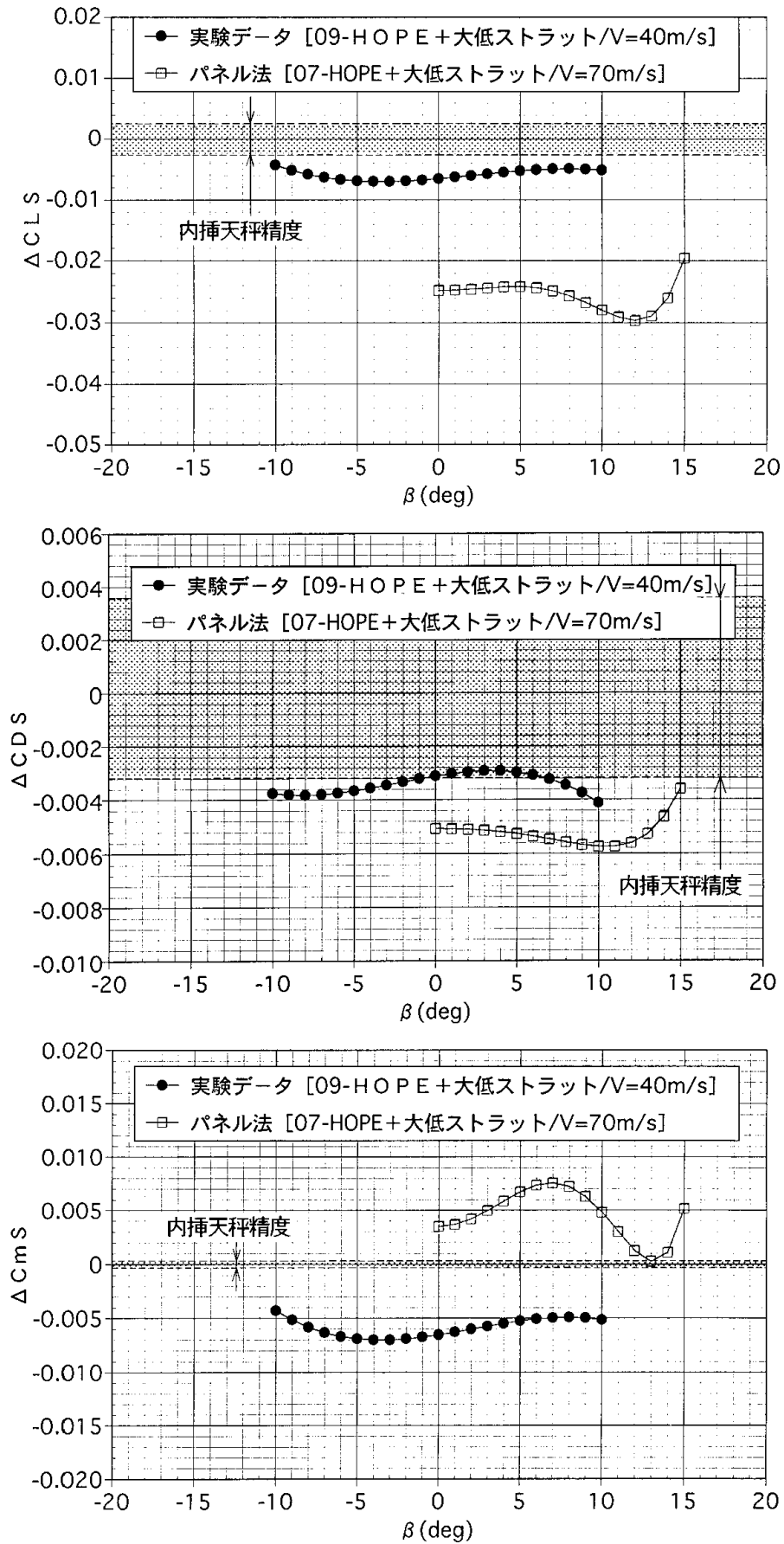


図 19 ストラット支持干渉量 ($V=40\text{m/s}$ 、 $\beta=0^\circ$ 、 α スweep)

図20 ストラット支持干渉量 ($V=40\text{m/s}$ 、 $\alpha=10^\circ$ 、 β スイープ)

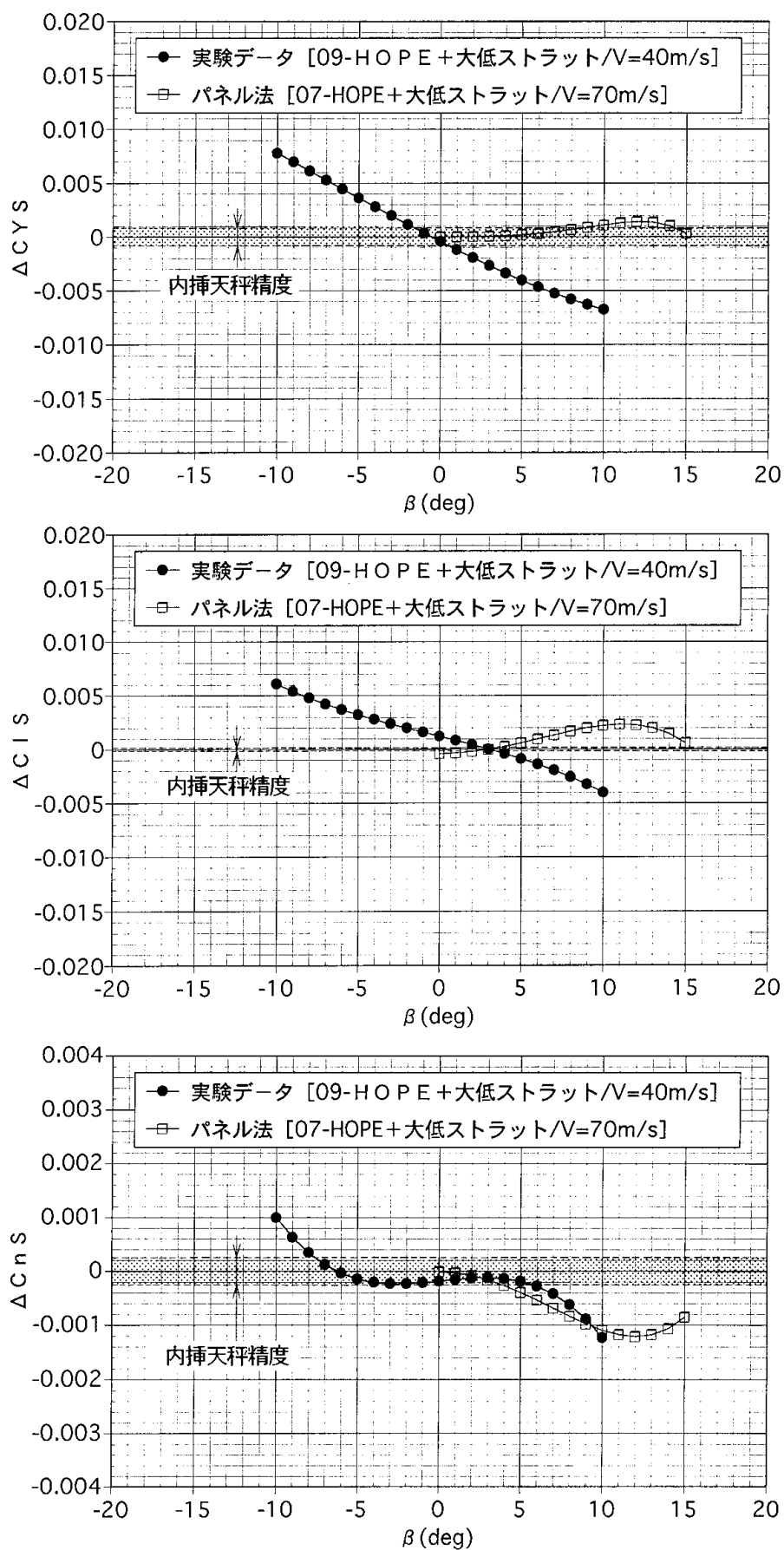


図 21 ストラット支持干渉量 ($V=40\text{m/s}$ 、 $\alpha=10^\circ$ 、 β スweep)

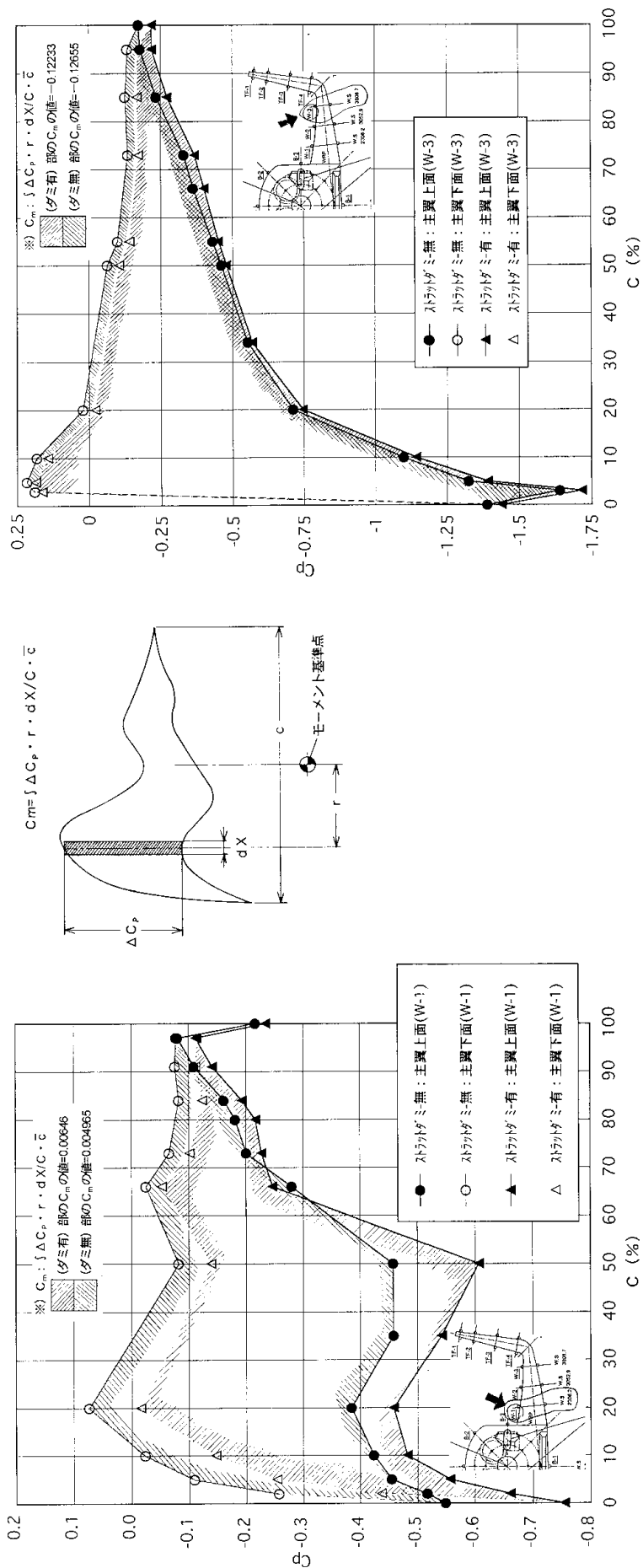


図 22(a) 主翼W-1 断面の C_p 分布

図 22(b) 主翼W-3 断面の C_p 分布

図 22 主翼 (エレボン含) 上、下面の C_p 分布 [$V=40\text{m/s}$, $\beta=0^\circ$, $\alpha=10^\circ$]

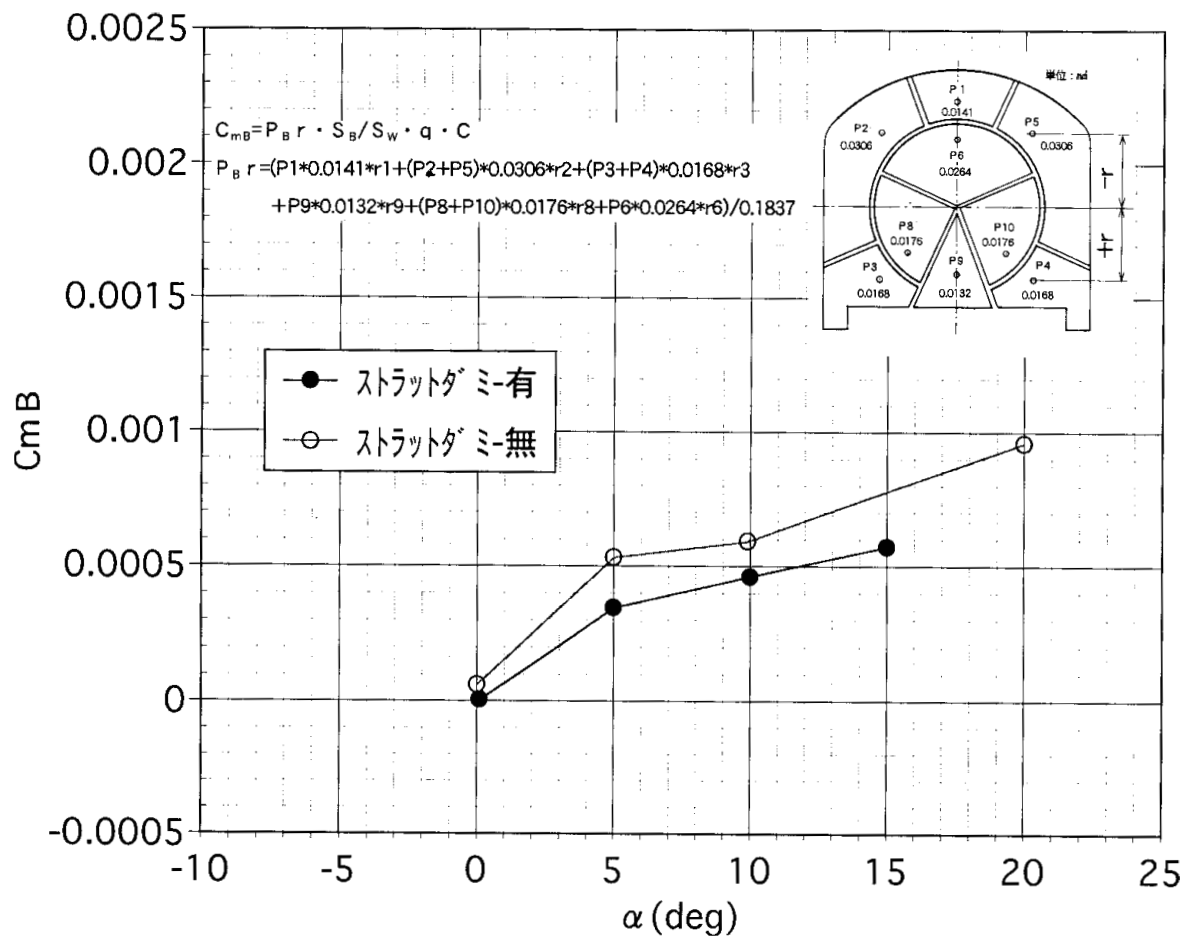


図 23 ピッチングモーメント係数 C_{mB} の比較 ($V=40\text{ms}$, $\beta=0^\circ$, α スweep)
(ベース圧分布から求めた)