

# パネル法風洞壁干渉修正の JAXA 6. 5 m×5. 5 m低速風洞への適用

青木 良尚、日高 亜希子 (JAXA)、森田 義朗 (JAST)

## The Application of Panel Method to JAXA 6.5- by 5.5- m Low Speed Wind Tunnel Wall Interference Correction

Aoki yoshihisa, Hidaka akiko (JAXA), Morita yoshio (JAST)

### Abstract

We added the facility to acquire the data of wall static pressure for conducting the static pressure wall interference correction method using panel method to JAXA 6.5- by 5.5- m low speed wind tunnel strut cart. The standard model test set on two struts support system was conducted and wall static pressure was acquired then we applied the method to the test results. We confirmed that we could acquire the data of wall static pressure using the facility except some ports, the method couldn't be applied to the only alpha angle sweep test but also the beta angle sweep test to which we couldn't have applied the traditional wall interference correction method and there were some problems of the JAXA Wall Interference Correction Program in the low speed wind tunnel test using strut support system.

### 1. はじめに

風洞試験データから、実機の空力特性をより正確に推算するためには、風洞壁により模型に及ぼされる空力干渉量を修正する必要がある。現在 JAXA で開発しているパネル法を用いた風洞壁干渉修正<sup>1)2)3)4)</sup>を JAXA 6. 5 m×5. 5 m低速風洞に適用するために、風洞付帯のストラットカートに壁面静圧分布を取得する設備を設置した。2本ストラット支持 ONERA M5 2.5 倍相似模型を使った風洞試験を実施して、この設備が正常に稼動すること、ストラット支持風洞試験に対してパネル法を用いた風洞壁干渉修正を適用可能であること、この手法を適用する上での課題を確認したのでこれを報告する。

2章でパネル法風洞壁干渉修正の概要を、3章で2004年度に設置した JAXA 6. 5 m×5. 5 m低速風洞ストラットカート壁面静圧分布取得設備について、4章で2本ストラット支持 ONERA M5 2.5 倍相似模型にパネル法風洞壁干渉修正法を適用する上で行った改善と結果について、5章でまとめを、6章で今後の課題について述べる。

### 2. パネル法風洞壁干渉修正の概要

低速風洞におけるパネル法風洞壁境界修正については、参考文献3において詳しい説明がなされているのでここでは省略する。

### 3. JAXA 6. 5 m×5. 5 m低速風洞ストラットカート壁面静圧分布取得設備

パネル法を用いた風洞壁干渉修正を JAXA 6. 5 m×5. 5 m低速風洞に適用するために、付帯のストラットカートに壁面静圧を取得する設備を設置した。図1に概要図を示す。ストラットカート内の図1に示す位置に、南北壁面に1列当たり30点の静圧孔列を4列、上壁面に1列当たり10点の静圧孔列を2列、合計140点の静圧孔を設置した。2本ストラット支持 ONERA M5 2.5 倍相似模型の位置との対応を図2に示す。

基準となる測定部が空の状態である時の壁面静圧がカートの設置状態に依存しないかどうかを確認するために、意図的にカートをずらして設置し、12回の再現性試験を行った。それぞれの静圧孔で計測された静圧圧力係数平

均値を基準とした計測結果を図3～図8に示す。この結果から、南北壁面におけるカート上流側3点程度の壁面静圧計測値は、カートの設置状態の影響を受けることがわかった。

以上の結果から、風洞壁干渉修正に用いる壁面静圧データは、南北壁面におけるカート上流側3点を除いたものが望ましいことがわかった。

#### 4. パネル法風洞壁干渉修正の2本ストラット支持 ONERA M5 2.5 倍相似模型への適用

##### 4.1 JAXA 風洞壁干渉修正プログラムの改修

これまでJAXAで開発されてきたパネル法風洞壁干渉修正プログラムを低速風洞用に改修した。主な改修点は以下の3点である。

a) 入力データ作成プログラム、風洞壁圧フィッティングプログラム、風洞壁干渉修正量計算プログラムを統合  
遷音速風洞の風洞壁干渉修正計算方法<sup>4)</sup>の特性から、試行段階においてこれら3つのプログラムはそれぞれ別のプログラムとして作成されていた。しかし、低速風洞の風洞壁干渉修正計算においては試行段階ということも考慮してもこれらを別のプログラムとして作成するメリットはなく、寧ろ計算に手間がかかるというデメリットの方が大きい。これらの理由から、これらの3つのプログラムを1つのプログラムに統合して、低速風洞における風洞壁干渉修正の計算の効率化を図った。但し、実用化を考えるとこの効率化は入力方法が複雑であるという点において不十分である。

b) 計算速度向上のためマッハ数を0に固定して壁面影響係数行列を保存

遷音速風洞においては圧縮性パラメータがマッハ数に依存するので、同一の風洞壁面パネルを定義したとしても計算上の風洞壁面パネルは変化するため、厳密に風洞壁干渉修正量を計算するためには、それぞれのマッハ数に対して壁面影響係数行列の再計算が必要となる。通常では、低速風洞においては気流の圧縮性を考慮しないのが一般的であり、マッハ数を0に固定することにより、風洞壁面パネルの定義が変わらなければ壁面影響係数行列の再計算は必要ではなくなるので、これをデータとして保存することにより多少の計算速度向上が期待できる。

c) 2本ストラット支持に対応させる為にストラット支持装置のモデル化機能を追加  
これまで支持装置を含めてパネル法風洞壁境界修正を

試みていたのは、スティング支持による風洞試験のみであった。したがって、JAXAで開発中のパネル法風洞壁境界修正プログラムにはスティング支持装置をモデル化する機能しか含まれていないため、ストラット支持装置による風洞試験には対応していなかった。今回、2本ストラット支持装置風洞試験においてパネル法風洞壁干渉修正を行うために、ストラット支持装置のモデル化機能を追加した。図9に2本ストラット支持装置を含めた2本ストラット支持ONERA M5 2.5倍相似模型のパネル法風洞壁干渉修正モデルを示す。

##### 4.2 横滑り角試験における風洞壁面擾乱速度分布計測値と計算値との大きな不一致対策

横滑り角を取った試験に対してパネル法風洞壁干渉修正計算を行うと、風洞壁面擾乱速度分布計測値と計算値との大きな不一致が発生することが確認された。図10の左図に、この不一致の一例として迎角 $0^\circ$ 、横滑り角 $-20^\circ$ における列Fの風洞壁面擾乱速度分布計測値と計算値を示す。

この原因を探るために、パネル法風洞壁干渉モデルパラメータを強制的に変更してパラメトリックスタディを行った結果、楕円断面を持ちその長軸が前部ストラット中心に固定されている後部ストラット風防が発生する揚力が増大すると、この不一致が生じることがわかった。様々な検討結果から、風洞壁面パネルの中心の位置を風洞壁面静圧孔に合わせると、この不一致が緩和されることがわかった。図10の右図に風洞壁面パネルの中心の位置を風洞壁面静圧孔に合わせた時の迎角 $0^\circ$ 、横滑り角 $-20^\circ$ における列Fの風洞壁面擾乱速度分布計測値と計算値を示す。この不一致が生じる根本的な原因がパネル法風洞壁干渉モデルにあるのか、単純な計算の誤差であるのか、計算法にあるのか等については現状では不明であるので、この不一致の対策として前述の方法が正しいかどうかを含めて今後検討する必要があることがわかった。

##### 4.3 迎角変化試験に対する適用

2本ストラット支持迎角変化試験におけるパネル法と古典的手法による風洞壁干渉修正結果を図11に、それぞれの風洞壁干渉修正量の比較を図12に示す。

図11より、ポーラーカーブはどちらの手法においてもほぼ一致しているが、図12から、パネル法は古典的手法よりもブロッケージが大きいことがわかる。パネル法では風洞壁面静圧を用いているため、古典的手法よりも風洞壁干渉修正の精度が高いと予想されるが、この結果の妥当性について検証を行う必要がある。

#### 4.4 横滑り角変化試験に対する適用

2本ストラット支持横滑り角変化試験におけるパネル法と古典的手法による風洞壁干渉修正量の比較を図13に示す。

図13より、パネル法風洞壁干渉修正法では、古典的手法では考慮できていなかった横滑り角の修正が可能であることがわかった。また、横滑り角の増加によるプロッケージの増大も捕らえられており、横滑り角の正負による風洞壁干渉修正量の対象性も見られる。修正量の値の増減についても物理的に妥当であるので、横滑り角変化試験に対してもパネル法風洞壁干渉修正が適用できることがわかった。但し、この結果の妥当性については迎角変化試験と同様に検証を行う必要がある。

#### 5. まとめ

JAXA 6.5 m×5.5 m低速風洞ストラットカートに壁面静圧分布取得設備を設置し、2本ストラット支持ONERA M5 2.5倍相似模型試験に対してJAXAで開発中のパネル法風洞壁干渉修正を適用した。

壁面静圧分布取得設備は南北壁面の上流側3点の静圧孔はカート設置状態の影響を受けることがわかった。

低速風洞2本ストラット試験にJAXAで開発中のパネル法風洞壁干渉修正を適用するために、プログラムの改修を行った。

ストラット後部風防の揚力が原因とみられる風洞壁面擾乱速度分布計測値と計算値の不一致が見られた。風洞壁面パネルの中心に静圧孔位置を合わせるにより不一致が緩和されることがわかったが、根本的な原因は現状では不明である。

2本ストラット支持ONERA M5 2.5倍相似模型試験を行い、迎角変化試験と古典的手法では風洞壁干渉修正ができていなかった横滑り角変化試験に対してパネル法風洞壁干渉修正を適用しこの有効性を確認した。

#### 6. 今後の課題

- ・様々な試験に対する適用

- ・計測値の誤差が風洞壁干渉量に対して与える影響の評価
- ・パネル法風洞壁干渉修正モデルや風洞壁面擾乱速度分布フィッティング精度の向上
- ・計算時間の短縮化

#### 謝辞

最後になりますが、2本ストラット支持ONERA M5 2.5倍相似模型試験を行うに当たり、JAXA低速風洞セクションの真城派遣員と遠藤派遣員には140本の7.5m長圧力配管作成作業の協力を、星野主任研究員と遠藤派遣員にはスキャニバルブと全140点に及ぶ壁面静圧孔との圧力配管接続作業を含む計測準備の協力とデータ計測を、室田主任研究員、細江主任研究員、真城派遣員には模型設置の協力と風洞運転を、伊藤セクションリーダーには低速風洞セクション全体の取りまとめを行って頂きました。

また、共同研究者の日高研究員にはこれまでに開発されていたJAXA風洞壁干渉修正プログラムの提供と説明、森田派遣員にはパネル法風洞壁干渉修正理論に関する技術的なアドバイスを頂きました。

ここに感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) James D. Keller and Ray H. Wright, A Numerical Method of Calculating the Boundary Induced Interference in Slotted or Perforated Wind Tunnels of Rectangular Cross Section, NASA TR R-379, November 1971
- 2) Norbert Ulbrich, Description of Panel Method Code ANTARES, NASA/CR-2000-209592, May 2000
- 3) 日高, 森田, 口石, パネル法風洞壁境界修正の低速風洞試験への適用, 第72回風洞研究会議論文集, 2005
- 4) 日高, 森田, 口石, 他2名, パネル法風洞壁境界修正の遷音速風洞試験への適用, 第73回風洞研究会議論文集, 2005

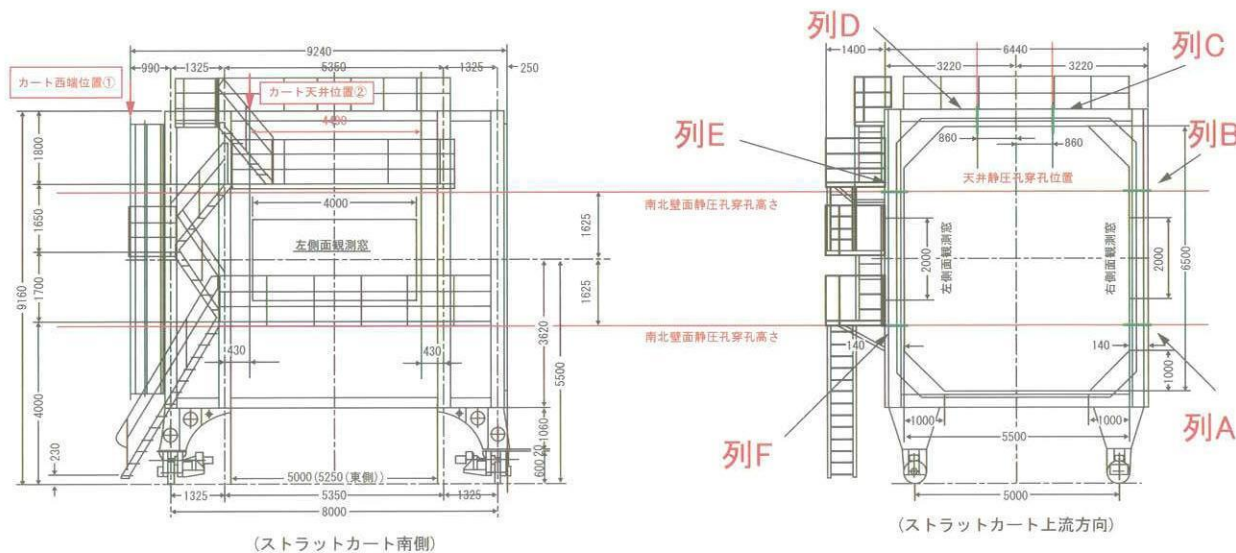


図 1 JAXA 6. 5 m× 5. 5 m低速風洞ストラットカート壁面静圧分布取得設備概要図

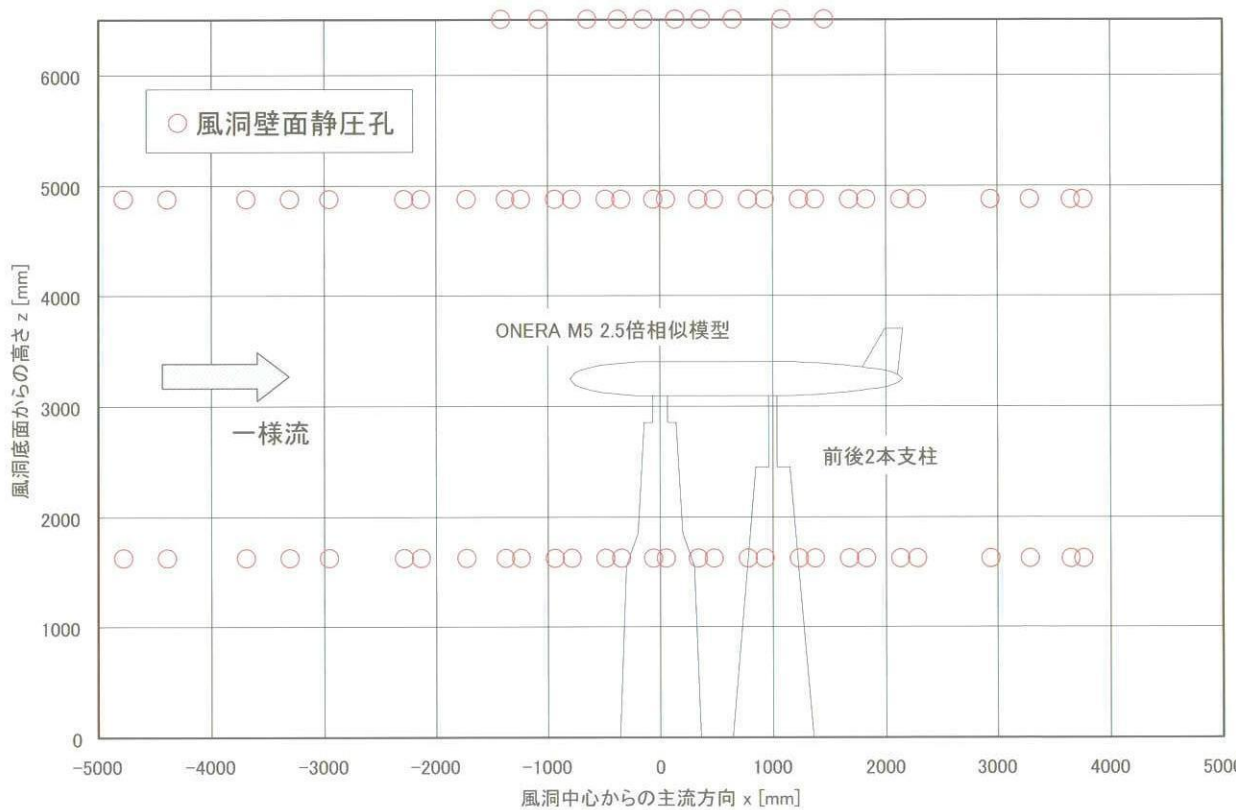


図 2 壁面静圧孔と 2 本ストラット支持 ONERA M5 2.5 倍相似模型の位置との対応（南側）

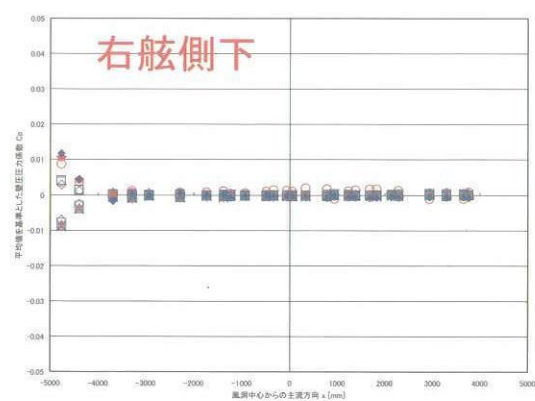


図3 測定部が空の状態での壁面静圧計測結果 (列A)

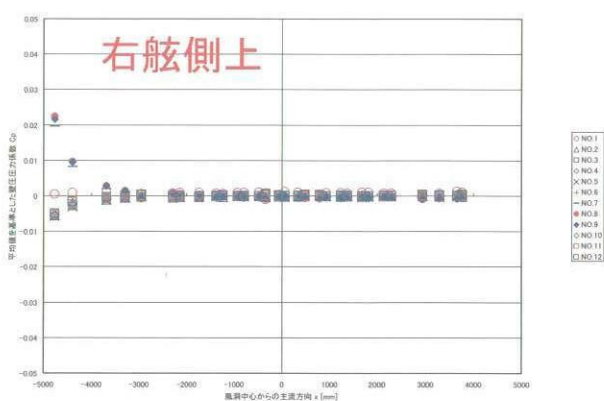


図4 測定部が空の状態での壁面静圧計測結果 (列B)

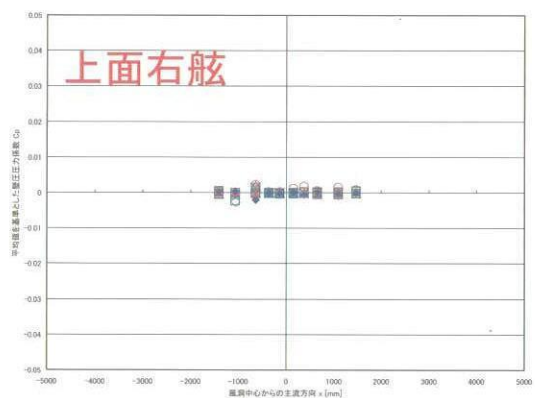


図5 測定部が空の状態での壁面静圧計測結果 (列C)

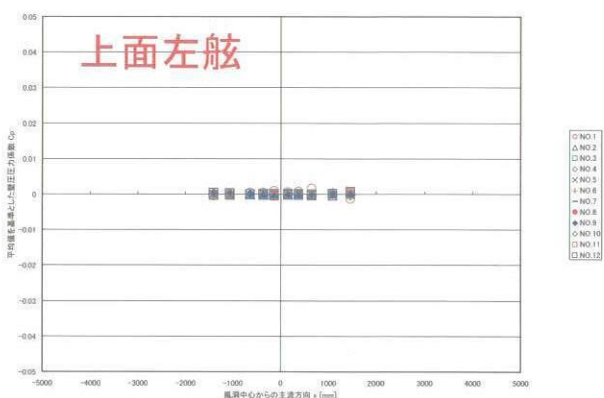


図6 測定部が空の状態での壁面静圧計測結果 (列D)

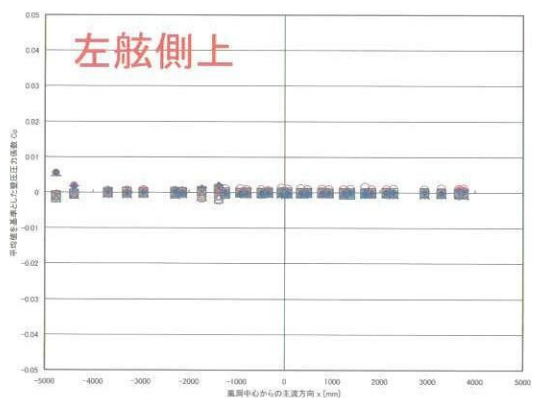


図7 測定部が空の状態での壁面静圧計測結果 (列E)

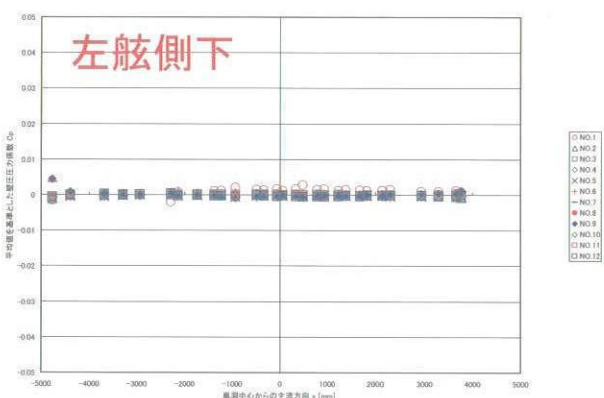


図8 測定部が空の状態での壁面静圧計測結果 (列F)

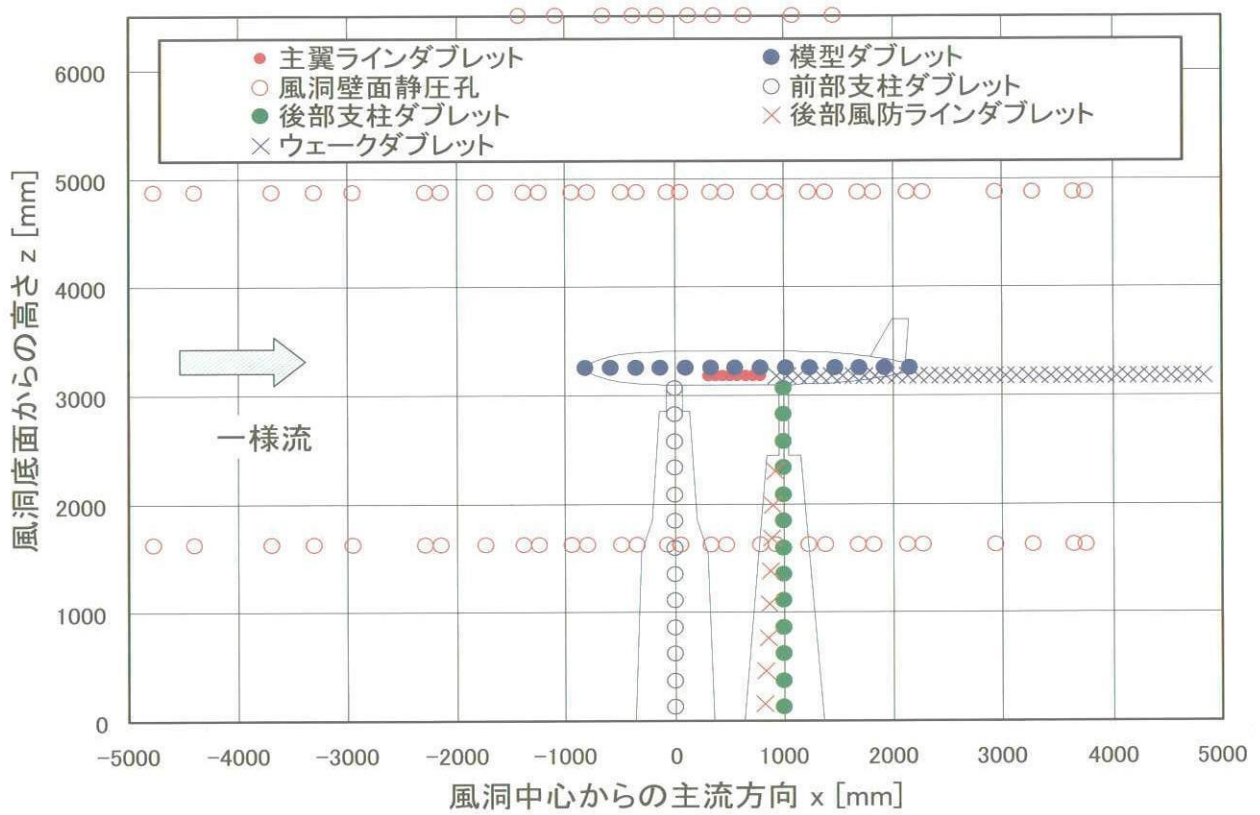


図 9 2本ストラット支持 ONERA M5 2.5 倍相似模型のパネル法風洞壁干渉修正モデル

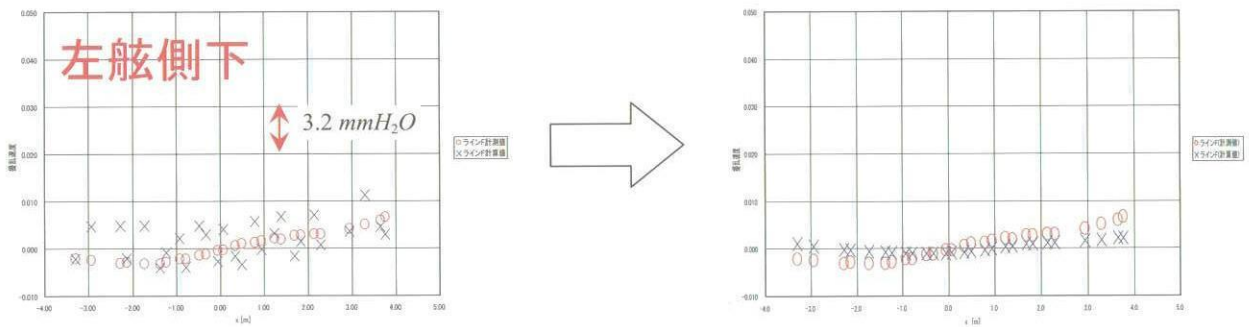


図 10  $\alpha = 0^\circ$ 、 $\beta = -20^\circ$  における列 F 壁面擾乱速度フィッティング結果比較 (左: 自動分割)



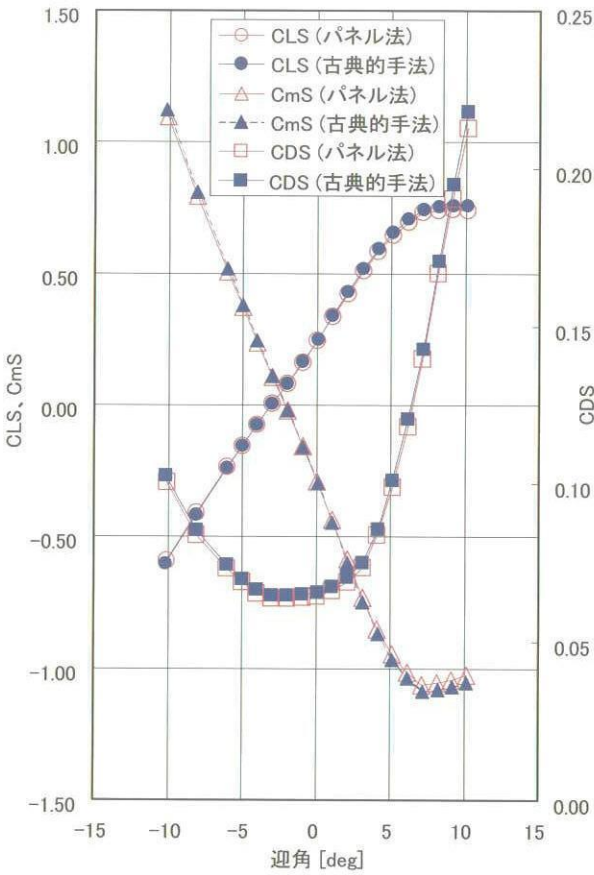


図 11 迎角変化試験における風洞壁干渉修正結果

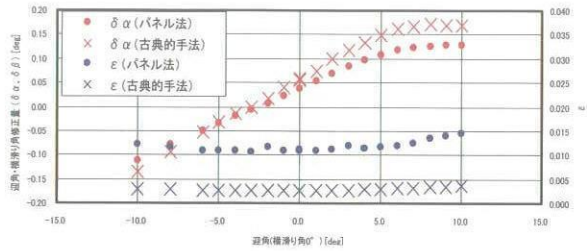


図12 パネル法と古典的手法による風洞壁干渉修正量比較（迎角変化試験）

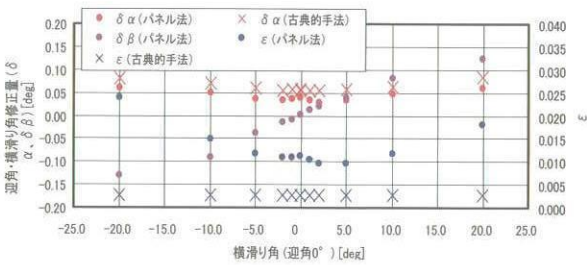


図13 パネル法と古典的手法による風洞壁干渉修正量比較（横滑り角変化試験）