

遷音速風洞フラッタ緊急停止装置性能試験 (その2) 第3カート用装置*

半澤 麻雄*¹, 小國 保男*¹, 鈴木 正光*¹
唐澤 敏夫*¹, 小松 行夫*¹, 安藤 泰勝*²

Performance Test of Flutter Emergency Stopper for Transonic Wind Tunnel (Part 2) The III Cart Device *

Asao HANZAWA *¹, Yasuo OGUNI *¹, Masamitsu SUZUKI *¹
Toshio KARASAWA *¹, Yukio KOMATSU(NAL) *¹, Yasukatsu ANDO(JAST) *²

ABSTRACT

A flutter emergency stopper was installed on the III cart device of the 2m×2m transonic wind tunnel at the National Aerospace Laboratory in 1993. Wind tunnel testing with the device revealed that while the decline in Mach number obtained when the flutter stopper opens coincided with the design value, pressure fluctuation did occur. To eliminate this pressure fluctuation, improvements were made to the flutter stopper plate and opening angle. Subsequent test results confirmed the effectiveness and safety of the flutter-suppressing device. This report presents the improvements made to the flutter-suppressing device, the tests conducted and test results.

Keywords : Flutter suppression device, transonic wind tunnel, flutter model test.

概 要

航空宇宙技術研究所2m×2m遷音速風洞の第3カート上にフラッタ緊急停止装置が1993年度に設置された。この装置を用いた風洞試験の結果、全開時のマッハ数低下量については計画通りであるが、圧力変動を生ずることが分った。今回、この不具合を解消する改良をフラッタ停止板と開度について行い、良い結果が得られたので、改良の内容と試験結果について報告する。

1. 序 論

航空宇宙技術研究所(NAL)では、革新航空宇宙輸送技術の研究の一環として空力弾性を対象にした能動制御技術(Active Control Technology : ACT)の研究として、1983年に実験的研究を低速範囲から進めた。研究の遂行上、フラッタ緊急停止装置が必要不可欠となり、この研究と並行してフラッタ緊急停止装置の開発が大型低速風

洞とそのパイロット風洞を用いて行われ、NAL独自のフラッタ停止装置(特許番号1623594)を開発した。その効果を高速範囲で実験的に検証するため、フラッタ緊急停止装置の予備実験が2m×2m遷音速風洞のパイロット風洞を用いて1989年と1992年に行われ^{3,4)}、風洞試験における遷音速フラッタ停止装置(特許番号2099140)として2m×2m遷音速風洞の第2カート上に1993年に設置された²⁾。その後、第3カートの改修が1993年度に行わ

* 平成14年3月19日受付 (received 19 March, 2002)

*¹ 風洞技術開発センター (Wind Tunnel Technology Center)

*² JAST (Japan Aero Space Technology)

れ、このカートの改修で壁型式が4面固体壁から上下壁を開口率6%の多溝壁に改修され、空力弾性試験に対する重要性の要求から空力弾性試験装置として、空力弾性模型支持装置とフラッタ緊急停止装置がカート上に設置された¹⁾。この装置を用いた風洞試験の結果、全開時のマッハ数低下量については計画通りであるが、圧力変動を生ずることが分かった²⁾。今回、この不具合を解消する改良をフラッタ停止板と開度について行い、良い結果が得られたので、改良の内容と試験結果について報告する。

2. 既設フラッタ緊急停止装置

2m × 2m 遷音速風洞は、1960年に稼働を開始してから第3カートの改修が1993年度に行われた。このカートの改修で壁型式は、4面固体壁から上下壁を開口率6%の多溝壁に改修され、空力弾性試験に対する重要性の要求から空力弾性試験装置として、空力弾性模型支持装置とフラッタ緊急停止装置（フラッタ停止装置）がカート上に設置された。フラッタ停止装置の写真を図1に示す。図2にA分電盤、図3に空力弾性制御盤そして図4に空力弾性操作卓をそれぞれ示す。フラッタ停止装置の操作は、各電源投入後に計測室の専用操作卓の操作で制御する。

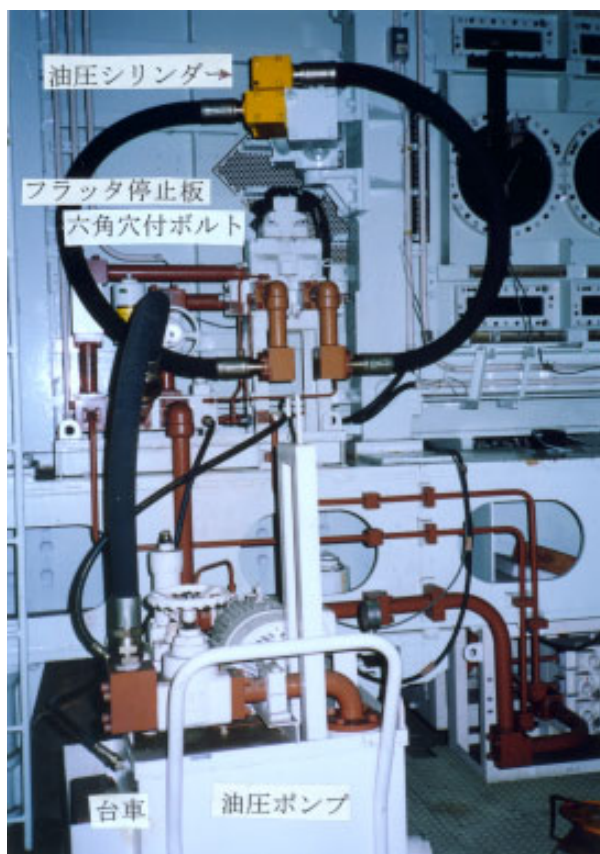


図1 フラッタ停止装置

2.1 装置の構造

フラッタ停止装置は、図1に示す油圧シリンダー駆動により、0°～90°まで立上げ可能で、立上がり時間を30ミリ秒以内、開方向最大速度160°/秒以上である。図1に示す油圧装置は、ポンプ吐出圧力13.7MPa、ポンプ吐出量20リットル/分、タンク容量200リットルの性能を有し、手動で移動する台車上に取付、風洞試験時に図のカート横に運んでホース等を接続して使用する。図5に油圧回路を示す。



図2 A分電盤



図3 空力弾性制御盤



図4 空力弾性操作卓

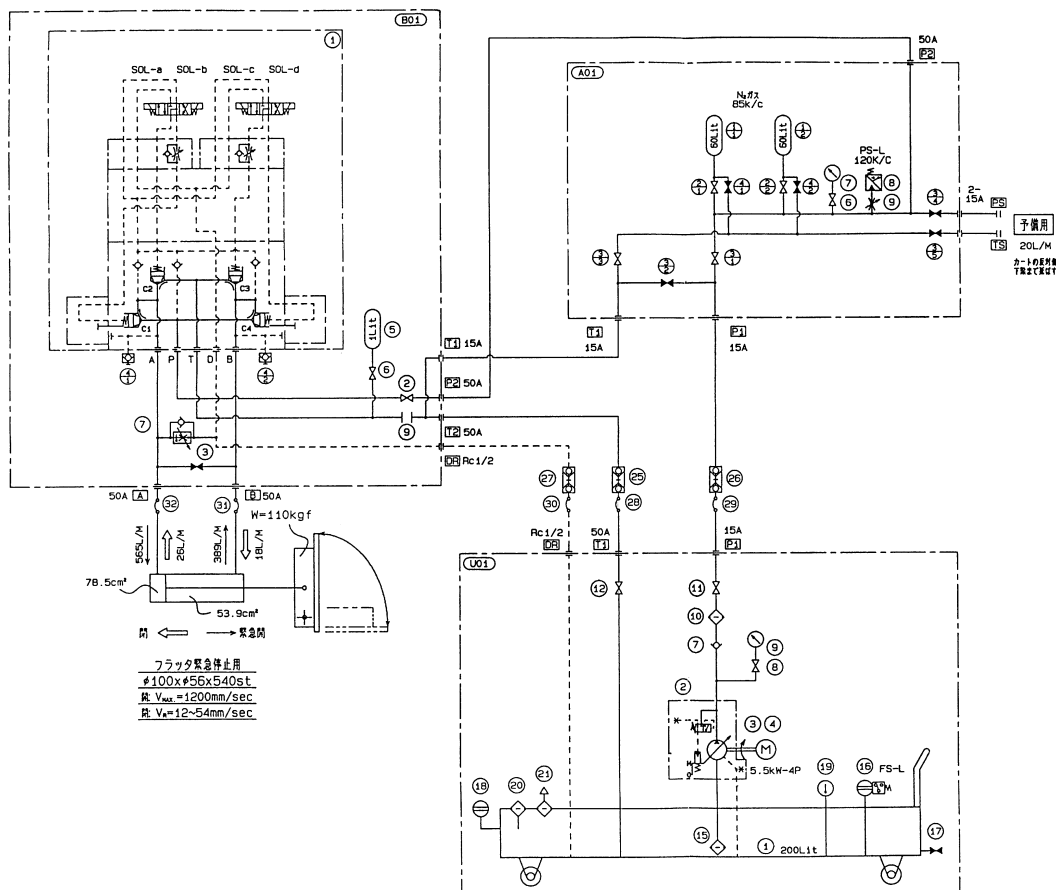


図5 油圧回路

3. フラッタ停止装置の改修

第3カートのフラッタ停止板は第2カートのフラッタ停止装置の経験を基に製作された。図6に両カートのフラッタ停止装置の比較を示す。図6より、第2カートのフラッタ停止板と翼模型の位置関係は狭い時で382mm離れている。それに対して第3カートではそれよりも更に狭い212mmである。また、第3カートのフラッタ停止板は左右壁と同じ平板で構成されたため、フラッタ停止板を測定部内に出したとき設計した特性は得られるが、圧力変動を改善する必要がある。

そこで今回の改修目的は、実用に供している第2カートのフラッタ停止装置を参考に、

- ・フラッタ停止板を多孔板に変更して圧力変動を改善する。
- ・フラッタ停止板の開度を狭くし、測定部中央での増速を軽減する。
- ・片持翼模型及び全機模型も試験を可能にする。
- ・フラッタ停止板の交換を容易にして、一般風洞として従来通りに使用する。

既設第3カートのフラッタ停止装置の単板型式（開口率0%，開度90度）を、第2カートのフラッタ停止板と

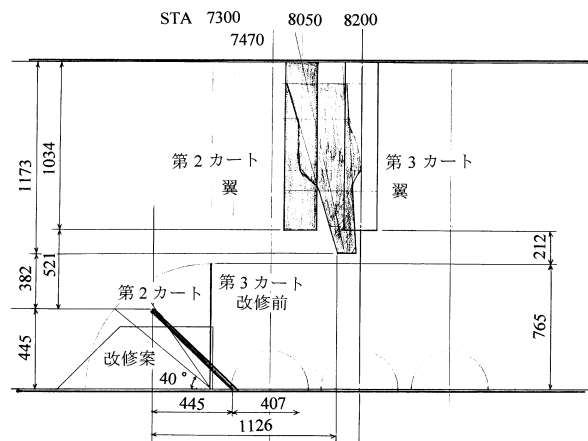


図6 第2、第3カートのフラッタ停止装置の比較

翼模型の位置関係と同等にするため、図6の改修案より複板型式（多孔板，開度40度）のフラッタ停止板に改造する。この改造でフラッタ停止装置の機能改善と風洞気流の一様性を図る。次に、フラッタ停止板の改修とフラッタ停止板開度の変更について述べる。

3.1 フラッタ停止板の改修

フラッタ停止板は既設の平板溶接構造を取り除き、開

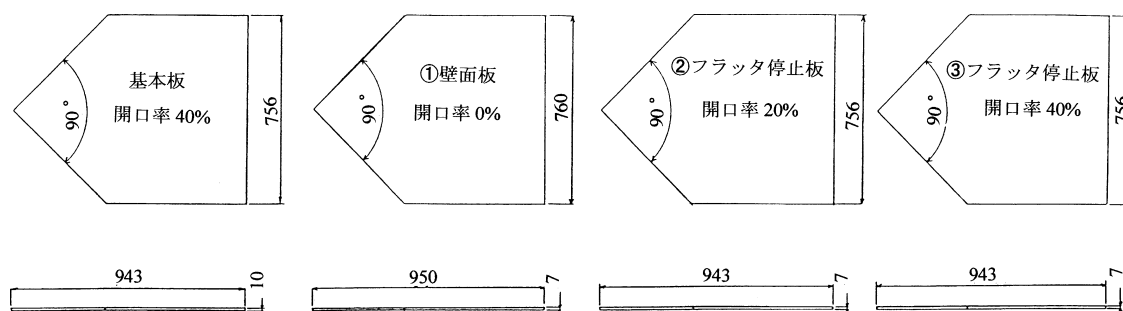


図7 新製フラッタ停止板

開口率40%の多孔基本板及び開口率0%, 20%そして40%の3枚の交換用板を新しく製作した。新製のフラッタ停止板は使用目的毎に、溶接された開口率40%の多孔基本板にネジ止めで重ねる複板型式に改めた。図7に新製の基本板と交換用のフラッタ停止板を示す。複板型式の構造は、基板の開口率40%に交換用板(開口率0%, 開口率20%及び開口率40%)を重ねボルト等で固定して1対のフラッタ停止板とするもので、フラッタ試験では、模型に適したフラッタ停止板を選択しフラッタ試験を行うことが出来る。また、開口率0%の停止板は、一般風洞試験用の壁面となる。そのため既設停止板より隙間を少なくしている。各停止板の材質はSS400である。開口率、板厚及び質量を下記に示す。

基本板	開口率 40%, 板厚 10mm, 81.0Kg
交換用停止板	開口率 0%, 板厚 7mm, 31.7Kg 開口率 20%, 板厚 7mm, 25.0Kg 開口率 40%, 板厚 7mm, 19.1Kg

3.2 フラッタ停止板開度の変更

既設フラッタ停止板の動作時の開度90度を新製のフラッタ停止板では開度40度に変更する。そのため既設の駆動用油圧シリンダは取り除き、新規に開度40度ストローク用の油圧シリンダ及び油圧配管と交換した。しかし、完成は開度41度となった。その他の油圧装置は既設品をそのまま使用している。図8に開度41度の停止板の一部分を写真で示す。

4. フラッタ停止装置の特性試験

第3カートのフラッタ停止板は開口率を20%或いは40%の多孔板に交換する方式に変更し、フラッタ停止板の開度も90度から41度に縮小する改修をそれぞれ行った。改修後のフラッタ停止板の安全と機能を確認する目的で以下の3ケースについて試験を行った。



図8 開度41度のフラッタ停止板

1. 模型無しの場合
2. H-II ロケットフェアリング模型を用いた場合
3. ピトー管付翼模型を用いた場合

次に、その特性試験と得られた結果について述べる。

4.1 模型無し特性試験

風洞試験は、フラッタ停止板の開口率20%と40%の多孔板について、試験条件を総圧 $P_0=80\text{kPa}$ 一定に保ち、マッハ数を $M=0.4\sim 0.9$ まで0.05毎に段階的に高めて試験を行った。計測は2つのフラッタ停止板について安全と機能を確認するため、気流が安定した状態でのフラッタ停止板の閉と開について行った。この試験範囲ではフラ

ッタ停止板の開・閉動作は安全であった。計測項目は風洞の試験条件とフラッタ停止板の機能としてのマッハ数等の低下量を求めるためマッハ数、総圧、静圧及び動圧を測定した。フラッタ停止板の気流特性は、測定部気流方向のマッハ数分布を求める。そのため測定部床壁中央の既設静圧孔を利用して、スキヤニバルブによる42点の圧力計測を行った。フラッタ停止板の動特性は測定部の非定常総圧、即ち、測定部天井壁右側に取付けたピトー管型圧力センサーによる圧力、及びフラッタ停止板の開・閉トリガー信号とポテンショメータの角度信号の計測である。この項目の内、フラッタ停止板のトリガー信号とポテンショメータの角度信号及び非定常総圧についてはデータレコーダとペンレコーダに記録した。その他の信号は遷音速風洞の計測システムを使用した。フラッタ停止板の開・閉動作はビデオ・カメラを用意し、測定部の観測窓から監視すると共にビデオ・テープに録画した。

次に、試験結果について述べる。フラッタ停止板の開閉動作の一例として、無風時と通風時の場合の開の動作の一例を図9に、閉の動作、即ち、復帰動作を図10にそれぞれ示す。図9と図10より分かるように開の動作は迅速にして、模型のフラッタを止めなければならない。しかし、フラッタ停止板の復帰動作は模型のフラッタが止り、且つ、風洞の条件を安全に保ってから動作するため

開の動作に比べてゆっくりである。マッハ数 $M=0.4\sim0.9$ までの試験範囲ではフラッタ停止板の開・閉の動作はこの様に安全であった。図11に改修前と改修時のフラッタ停止板の設計マッハ数低下量を比較して示す。設計マッハ数低下量(ΔM)は実験式 $\Delta M = \sqrt{2/(\kappa + 1) \times (Fp/Fw)} \cdot M^2$ で表される。ここで Fp = 停止板断面積、 Fw = 風洞断面積である。風洞試験時のマッハ数低下量は集合胴総圧、抽気室静圧から換算されたマッハ数で測定部中央の値である。改修によってマッハ数低下量は図11の様に少なくなる。フラッタ停止板の開口率20%の場合について、フラッタ停止板を開・閉して求めた総圧 $P_0=80\text{kPa}$ 一定、マッハ数 $M=0.4\sim0.9$ までのマッハ数低下量と動圧低下量を結果の一例として図12と図13にそれぞれ示す。図14には、気流方向のマッハ数分布を示す。この2つの図は測定部床壁中央の既設静圧孔を利用してスキヤニバルブで計測した42点の静圧分布より求めた結果である。この場合のフラッタ停止板の開口率は20%である。図14の上の図はフラッタ停止板が閉、そして図14の下図は開のマッハ数分布である。図14の上の図よりフラッタ停止板が閉の場合は測定部のマッハ数は設定マッハ数で分布は大体一定である。しかし、図14の下図ではフラッタ停止板を開にすると、測定部のマッハ数は、停止板の前方では設計低下値を示している

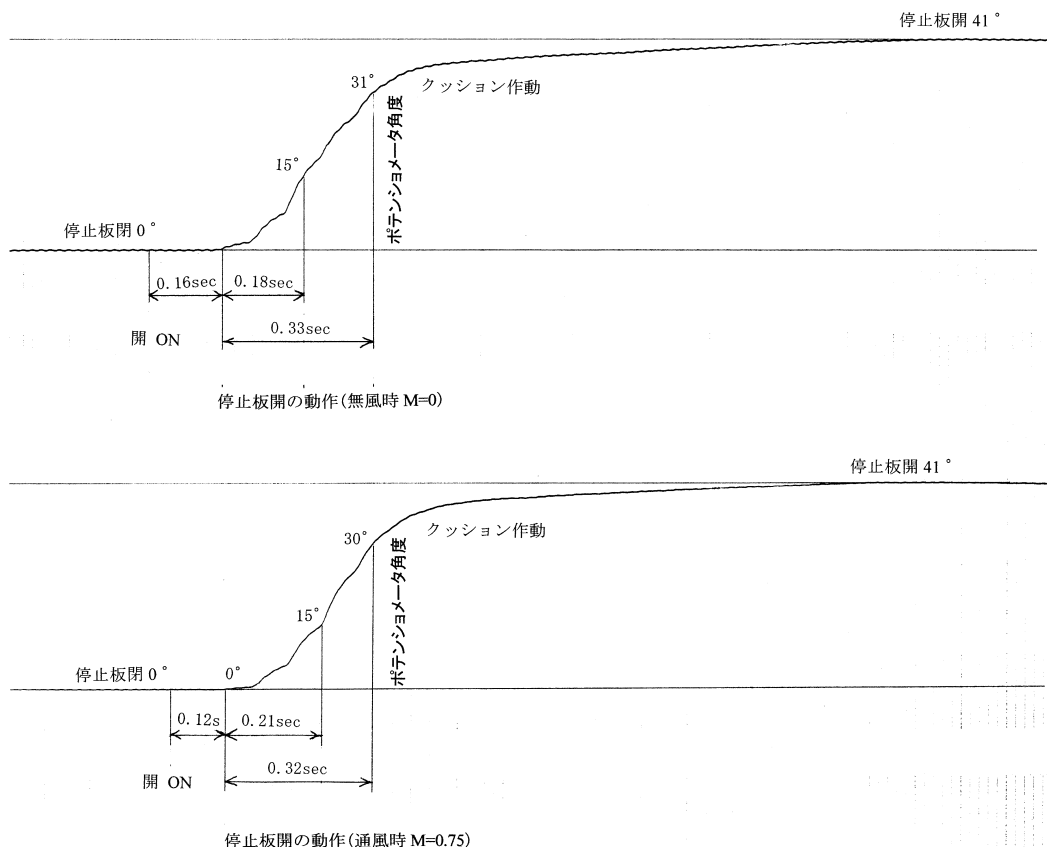


図9 無風時と通風時の開動作

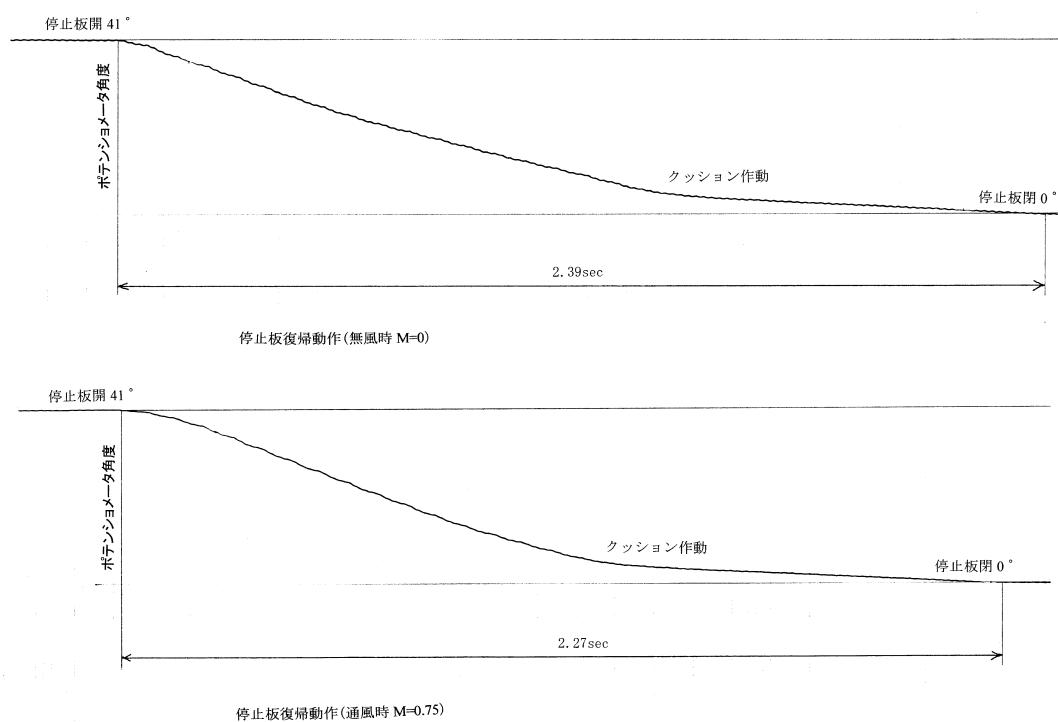


図 10 無風時と通風時の復帰動作

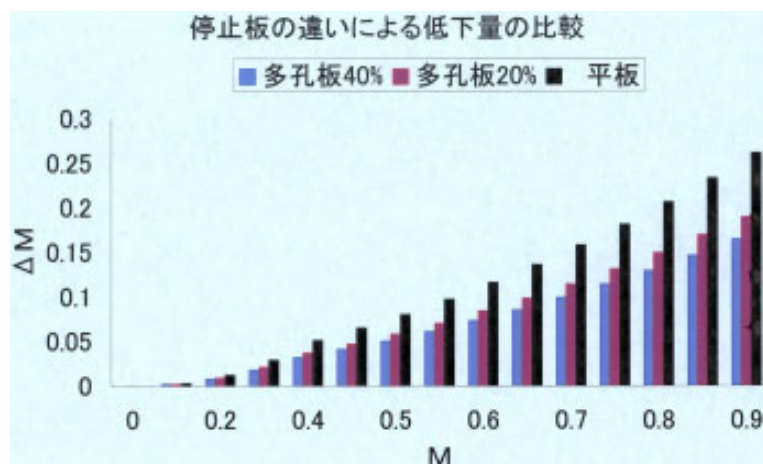


図 11 設計マッハ数低下量の比較

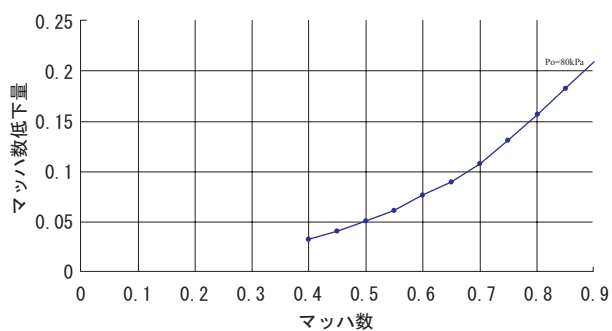


図 12 マッハ数低下量

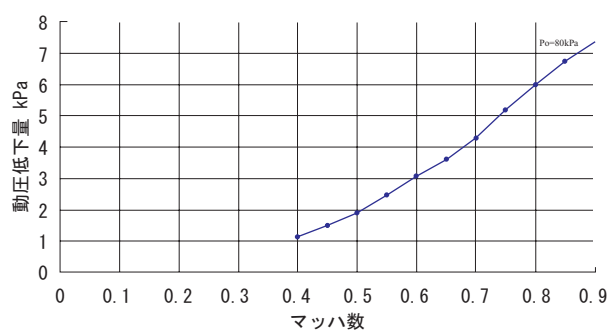


図 13 動圧低下量

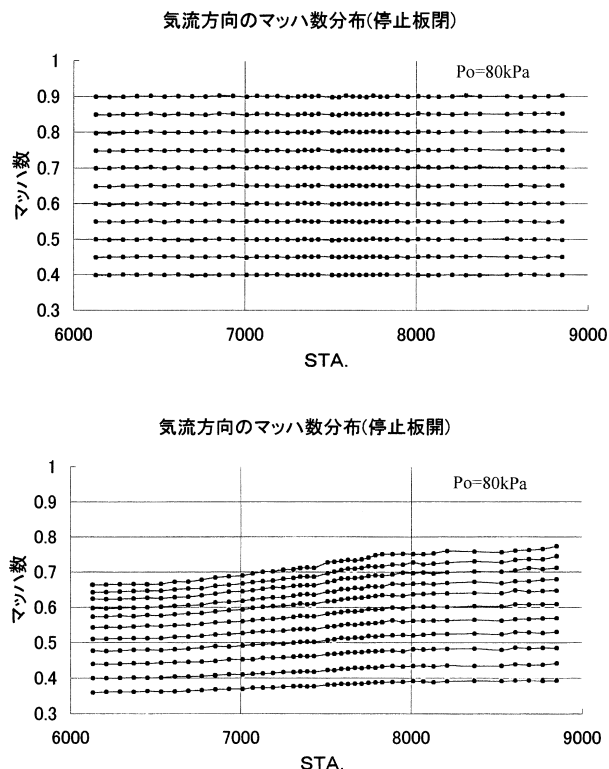


図14 気流方向のマッハ数分布

が、フラッタ停止板以後では低下値から増加している。このことは、上下の多溝壁の場合、フラッタ停止板後方ではマッハ数が回復するように抽気室内の気流が作用しているものと推測される。従って、フラッタ試験の場合、模型は出来るだけフラッタ停止板の近くに配置すると、フラッタ停止に効果がある。次に、フラッタ停止板を開・閉した場合の測定部の非定常総圧の変動を図15に示す。この図15は、測定部天井壁右側に取付けたピトー管型圧力センサーによるペンレコーダの記録を読み取った結果である。図中の20%と40%はフラッタ停止板の開口率を表している。開口率40%の場合は一部計測が欠けてい

る。開口率20%の場合、マッハ数 $M=0.6$ まではフラッタ停止板を開にすると、総圧の変動は増加している。しかし、マッハ数 $M=0.6$ 以上では大体一定している。開口率が20%と40%では、40%の場合の総圧の変動が僅かに大きい。従って、マッハ数低下量、動圧低下量及び総圧の変動を考慮した場合、フラッタ停止板の開口率は20%が機能として有効である。

4.2 H-II ロケットフェアリング模型の特性試験

模型の無い状態でのフラッタ停止板の安全と機能は大体確認された。次に、模型を用いた試験でフラッタ停止板の安全と機能を確認する。この試験ではスケジュールと安全を考慮し、模型は全機模型を想定し、大型で且つ空力弾性的不安要素のない構造上剛な模型としてH-II ロケットフェアリング模型⁹⁾を選び、再利用する。この模型についての概要を図16と写真を図17にそれぞれ示す。H-II ロケットフェアリング模型についての計測は特に設けてない。従って、試験と計測及び計測項目は模型無しの場合と同じである。本模型はスティング・ストラットに水平に取付け、測定部の中央に配置した。模型無しの試験との相違は、ビデオ・カメラを一台追加し、フラッタ停止板を開・閉した時の模型の振動を監視して、試験領域での安全を確かめた。

H-II ロケットフェアリング模型がスティング・ストラットに取付いた状態でのフラッタ停止板の開・閉によるマッハ数低下量と動圧低下量を図18と図19にそれぞれ示す。図18と図19にはフラッタ停止板の開口率が20%と40%の場合を示している。マッハ数低下量と動圧低下量共に、フラッタ停止板の開口率に比例してマッハ数低下量 ΔM は $\Delta M = \sqrt{(2/(\kappa + 1)) \times (Fp/Fw)} \cdot M^2$ より開口率 (Fp/Fw) が決まれば、 ΔM が求められ、この値と風洞での実測値は良く一致するので、マッハ数低下量が低下し、図12と図13の模型無しの場合と比較して、

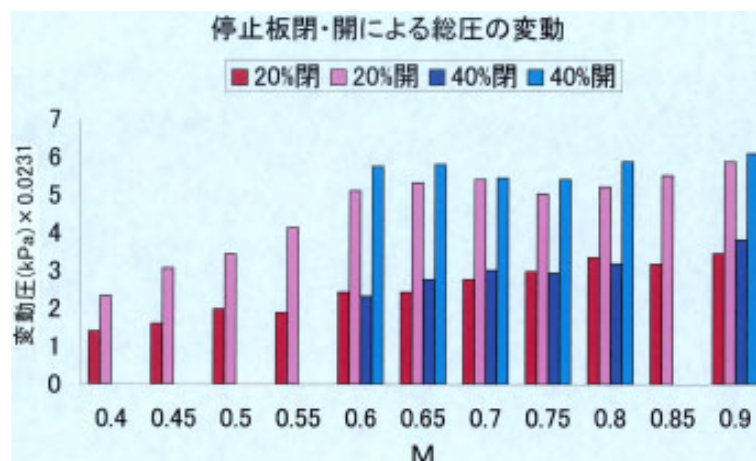


図15 非定常総圧の変動

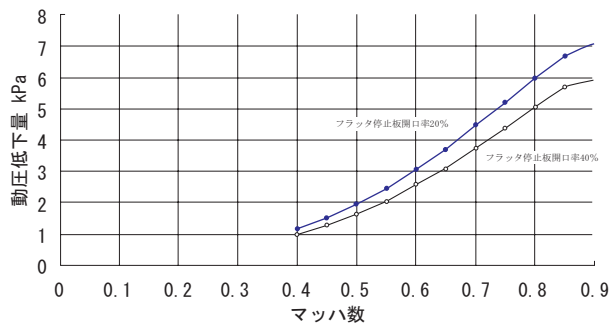


図19 動圧低下量

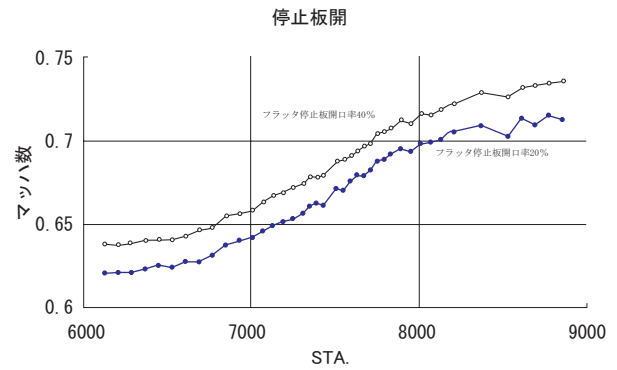


図20 マッハ数分布の一例 (M=0.8)

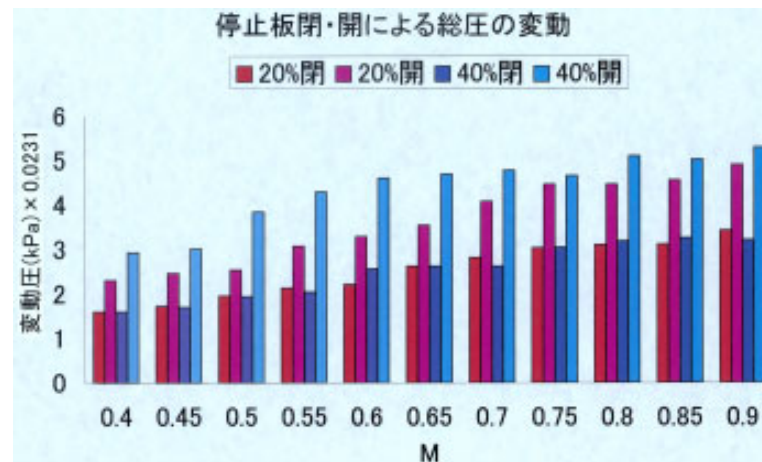


図21 非定常総圧の変動

特性は変わらない。次に、測定部のマッハ数分布の一例として総圧 $P_o=80\text{kPa}$ 、マッハ数 $M=0.8$ の場合について、図20に示す。この図20の特性も模型無しの場合と同じである。図21に、フラッタ停止板の開・閉による総圧の変動を示す。この場合、試験範囲での計測はすべて得られている。従って、模型無しの場合と比較してより特性が明白である。マッハ数の増加と共にフラッタ停止板が閉のときは徐々に総圧の変動も増すが、フラッタ停止板を開くと総圧の変動は閉の場合よりも大きく、開口率が20%と40%では、40%の場合の総圧の変動が大きい。この特性は模型無しの場合と同じである。試験範囲でマッハ数が $M=0.9$ に近づくに従って、両者の差は小さくなる傾向を表している。一方、ビデオ・カメラによるH-IIロケットフェアリング模型の監視では、試験範囲に亘ってフラッタ停止板の開・閉に伴う模型の不規則励振は確認出来なかった。従って、全機模型のフラッタ試験に於いても、フラッタ停止板の開・閉動作に伴う安全と機能が大体確かめられた。

4.3 ピトー管付翼模型の特性試験

フラッタ停止板の安全と機能は模型の無い状態及び全

機模型に相当するH-IIロケットフェアリング模型を用いた試験では大体確認された。試験の最終目的は、改修後のフラッタ停止板が空力弾性模型を用いた試験に於いて、模型の破損や飛散を防止する装置の一つとして、試験範囲に亘って安全に、且つ有効に機能することを確認することにある。しかし、遷音速風洞グループには、この様な試験に用いる適切な空力弾性模型がない。そこで、資料と支持方法の検討から当所での製作可能な仕様を決め、ピトー管付翼模型を設計した。ピトー管付翼模型の平面形を図22に、写真を図23にそれぞれ示す。測定部中央での非定常総圧を計測するため本模型の前部胴体にピトー管を設け、ピトー管内には非定常圧力センサを埋込んだ。翼は厚さ1mm、後退角 30° のアルミ合金(5052)製空力弾性翼である。翼の振動特性を計測するため、左右両翼の翼根部中央の上下面にはゲージ長3mmの歪ゲージ各2組を貼付した。胴体中央部は翼交換可能な構造にし、測定部天井壁の観測窓からフラッタ停止板の開・閉動作と模型の両翼の挙動を同時に監視できるよう、赤色と緑色の発光ダイオード(LED)の表示灯を胴体上部に埋込んだ。胴体後部は遷音速風洞のステーシングに取付ける構造とした。この模型の製作は当所の工作で行った。

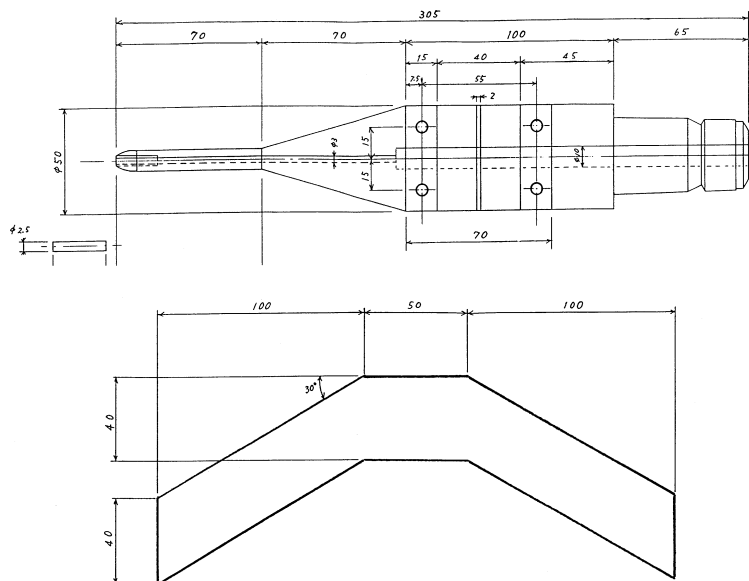


図 22 ピトー管付翼模型の平面形

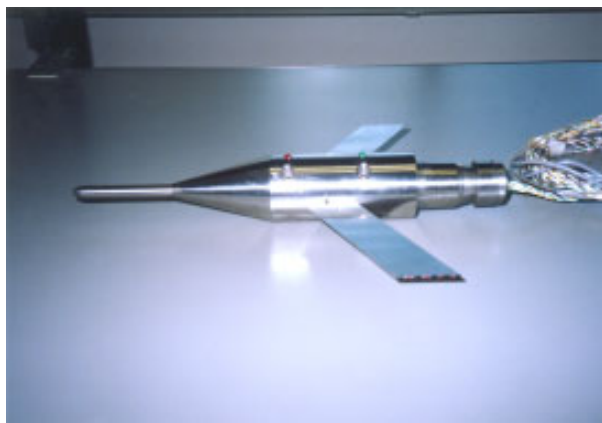


図 23 ピトー管付翼模型

ピトー管付翼模型の試験は、試験の前後に、翼を手で不規則に加振し、翼の歪ゲージの応答信号を2CHのFFTアナライザを用いてパワースペクトル密度(PSD)解析を行い、スペクトルのピークの振動数を求める方法で振動試験を行った。翼の振動特性を表1に示す。風洞試験と計測は前記試験と同じであるが、計測項目として模型の非定常総圧と左右両翼の歪みの計測が増加した。これらの信号は下記の点に着目した。

- それぞれの信号をデータレコーダとペンレコーダに記録し、振動の振幅増大に注意する。
- 左右両翼の歪ゲージの信号は試験中、2CHの

表 1 ピトー管付翼模型の固有振動
単位(Hz)

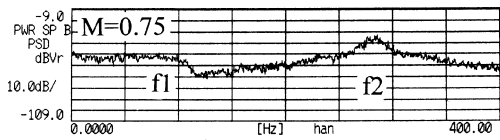
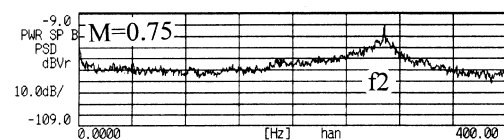
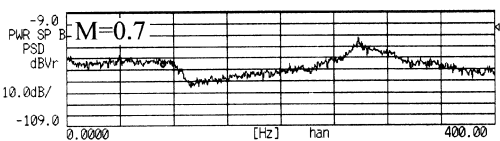
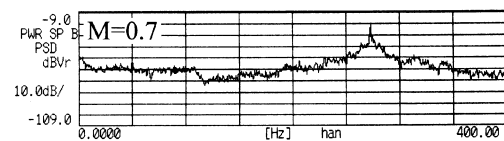
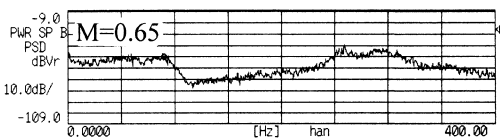
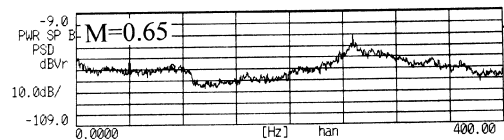
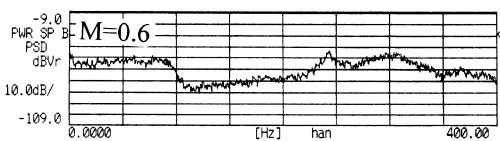
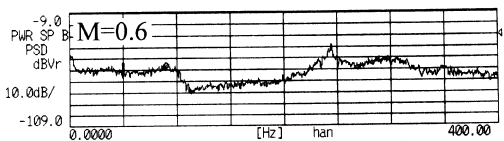
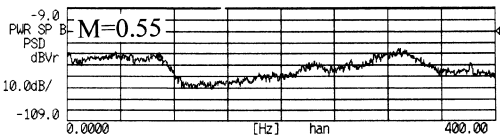
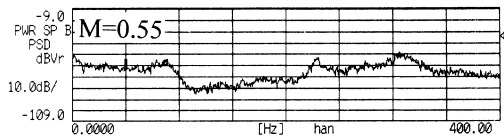
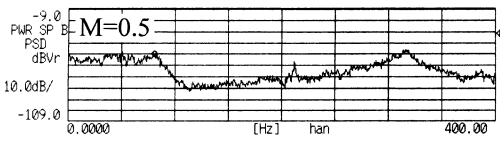
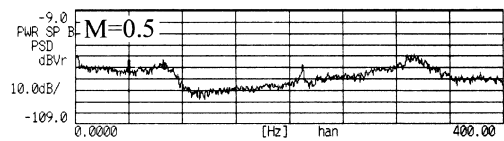
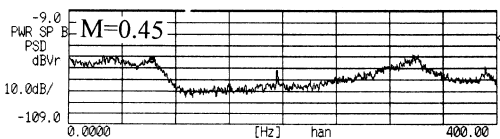
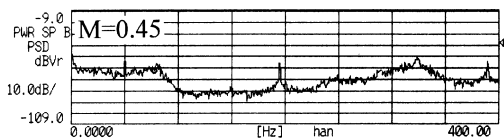
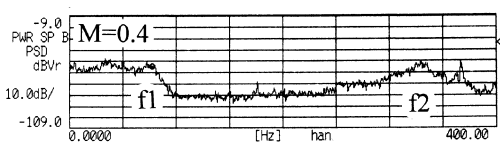
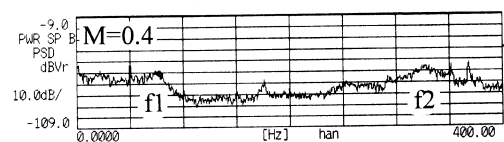
モード	左 翼	右 翼
1 次	60.5	60.5
2 次	345.5	340.0

FFTアナライザを用いてパワースペクトル密度 PSD を常時解析・監視し、フラッタの発生を予知する。

- 測定部天井の観測窓に取付けたビデオ・カメラの映像を監視し、フラッタ停止板の開・閉動作に伴う模型の過渡応答に注意する。

試験は上記の情報を基に安全を確かめて進めた。

図 24 と図 25 に、ピトー管付翼模型の左翼の応答のパワースペクトル密度 PSD を示す。図 24 はフラッタ停止板の開口率が 20% の場合、図 25 は同じく 40% の場合のパワースペクトル密度 PSD をそれぞれ表している。2つの図より、ピトー管付翼模型の試験は、総圧 $P_0=80\text{kPa}$ 一定で、マッハ数が $M=0.4\sim 0.7$ まではパワースペクトル密度 PSD より翼の振動特性は安全であるが、マッハ数 $M=0.75$ になると、パワースペクトル密度 PSD のピークの観察から 1 次モードと 2 次モードのうちの 1 次モードが判別出来なくなった。今回の試験では、フラッタを発生させないことも試験条件であるため、試験の安全を考えてこのマッハ数で試験を止めた。フラッタ停止板の開口率 20% と 40% の特性は同じである。次に、総圧を $P_0=50\text{kPa}$ 一定に保ち、マッハ数は $M=0.4\sim 0.9$ まで 0.05 毎に段階的に高めた試験を、開口率 20% についてのみ行った。その最後に、通風中のフラッタ停止板の開・閉動作を確認するデータを取得して一連の試験を安全に終了した。図 26 と図 27 に、フラッタ停止板の開口率が 20% の場合のマッハ数低下量と動圧低下量をそれぞれ示す。マッハ数低下量、動圧低下量共に模型の有無に係わらず安全で特性は同じである。同様に、マッハ数分布の一例を図 28 に示す。この特性も模型の有無に係わらず安全で特性は同じである。次に、フラッタ停止板の開・閉によ



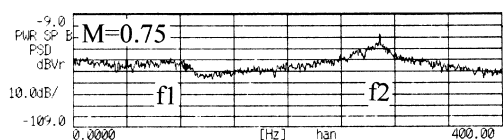
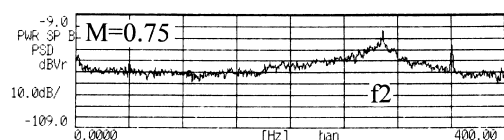
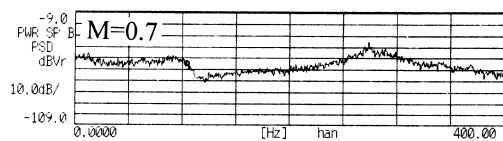
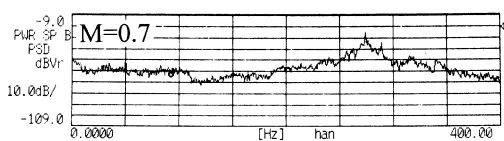
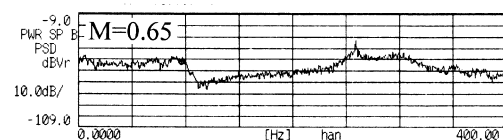
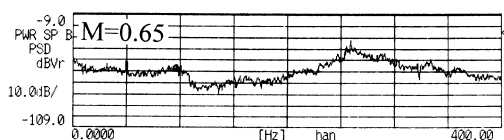
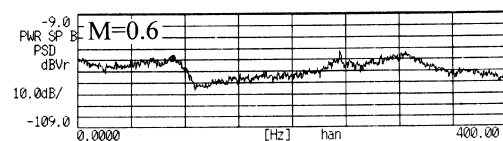
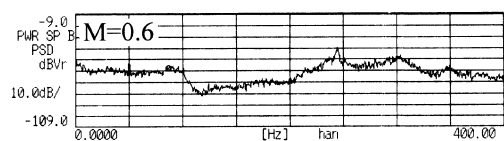
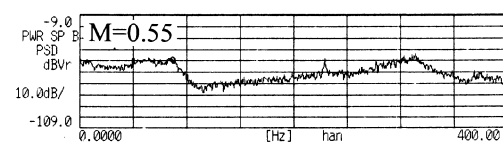
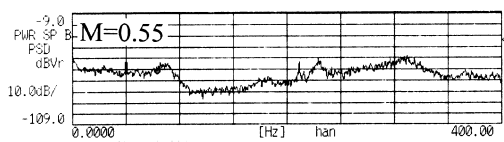
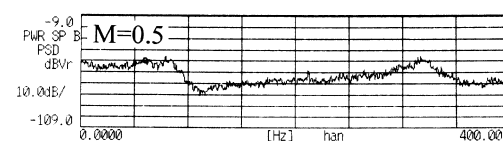
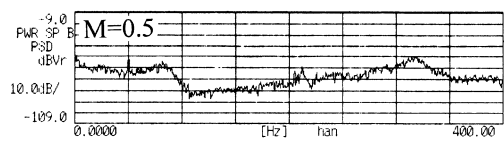
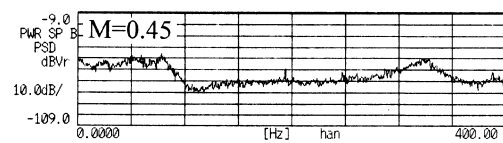
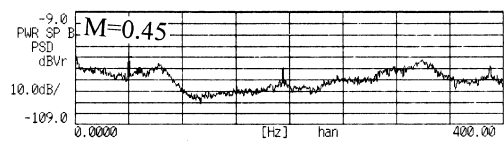
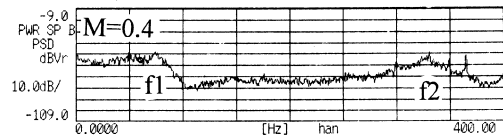
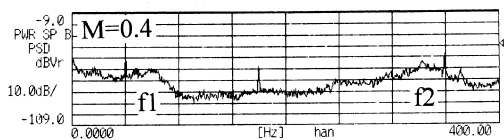
停止板閉の場合

停止板開の場合

左翼の応答のパワースペクトル密度

フラッタ停止板開口率 20%

図 24 パワースペクトル密度 PSD(開口率 20%)



停止板閉の場合

停止板開の場合

左翼の応答のパワースペクトル密度

フラッタ停止板開口率 40%

図 25 パワースペクトル密度 PSD(開口率 40%)

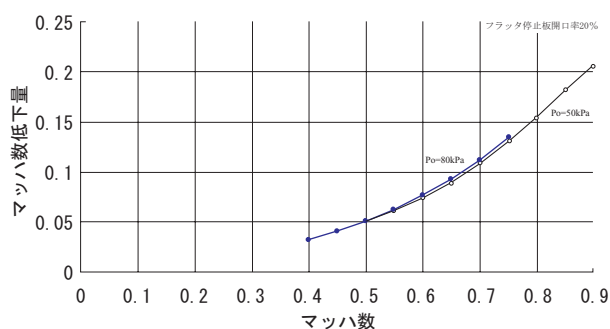


図26 マッハ数低下量 (開口率20%)

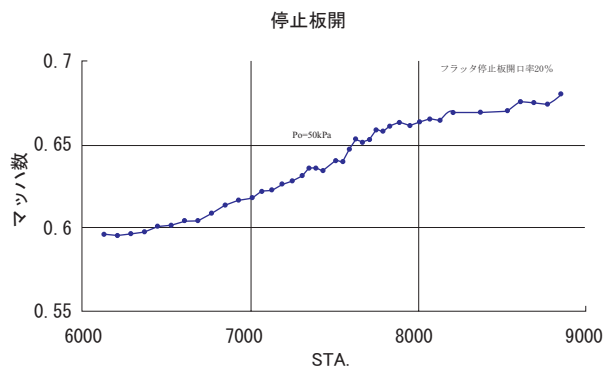


図28 マッハ数分布の一例 (M=0.8)

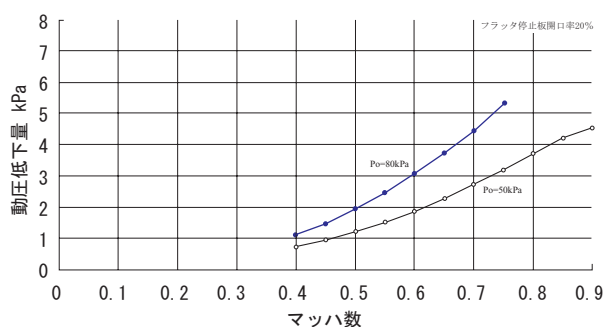


図27 動圧低下量 (開口率20%)

る天井壁に近い非定常総圧の変動を図29に、模型のピトー管による測定部中央の非定常総圧の変動を図30に、そして左右両翼の歪変動を図31にそれぞれ示す。3図とも総圧 $P_o=80\text{kPa}$ 一定の場合である。図29の天井壁に近い非定常総圧の変動の特性は模型無しの場合と同じである。図30の模型のピトー管による測定部中央の非定常総圧の変動は開口率20%と40%では殆ど変わらない。図31の左右両翼の歪変動はマッハ数の増加に伴って歪変動も増加している。傾向としては非定常総圧の変動と類似し

ている。静止気流中で翼端に $\pm 10\text{mm}$ の変位を与えた時の全振幅が大体 22mm である。従って、試験範囲では翼の気流による不規則励振は大体 $1/10$ である。図32に、フラッタ停止板を閉から開にしたときの非定常総圧の過渡応答を他の信号と共に一例を示す。図32のフラッタ停止板閉の状態は、マッハ数 $M=0.75$ 、総圧 $P_o=80\text{kPa}$ 一定である。この状態からフラッタ停止板を開にすると時間と共にフラッタ停止板は開き、測定部中央と天井の非定常総圧及び左翼の歪みにそれぞれ過渡応答が現れる。図32では、 0.32 秒で非定常総圧の過渡応答の最大値を示し、中央と天井（センサーの極性が中央と逆になっている）の値はそれぞれ 0.4kPa 以下である。この圧力変動は総圧 $P_o=80\text{kPa}$ と比較して大体 0.5% である。この過渡応答の圧力変動はフラッタ発生時にフラッタ停止板を開にしてフラッタを停止させるとき、静圧との関係で動圧を増加するため一瞬、フラッタを助長する様に作用するので予め試験担当者は注意しておく必要がある。マッハ数 $M=0.4\sim 0.75$ まで非定常総圧の過渡応答は徐々に増加する傾向にある。翼の歪みもフラッタ停止板の開閉による過渡応答は図32の様に非常に小さい。

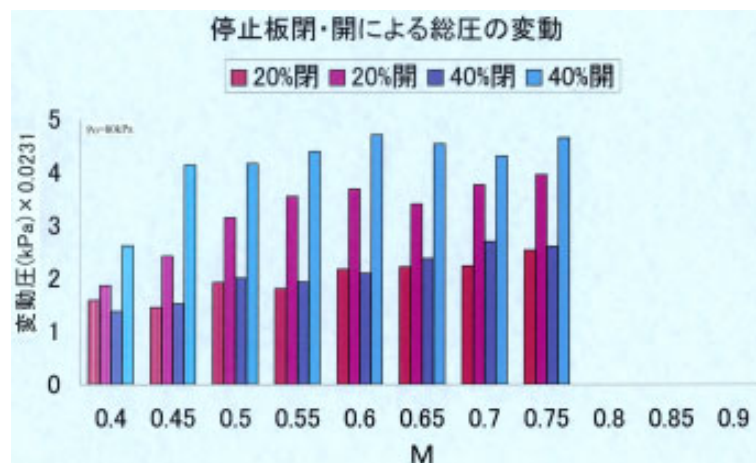


図29 非定常総圧の変動

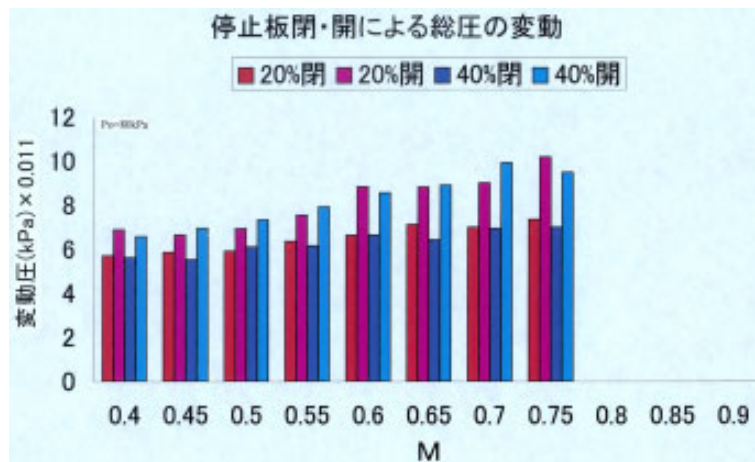


図30 模型の非定常総圧の変動

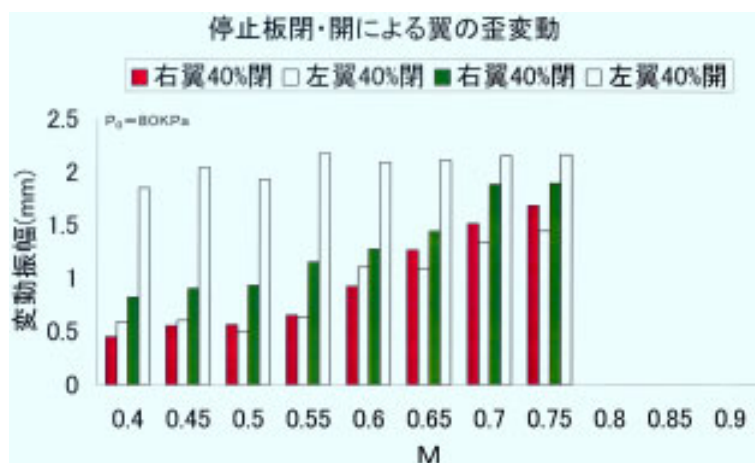
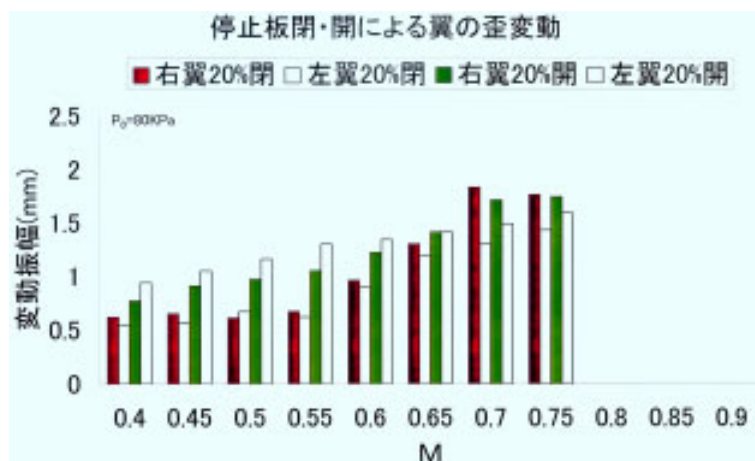


図31 翼の歪変動

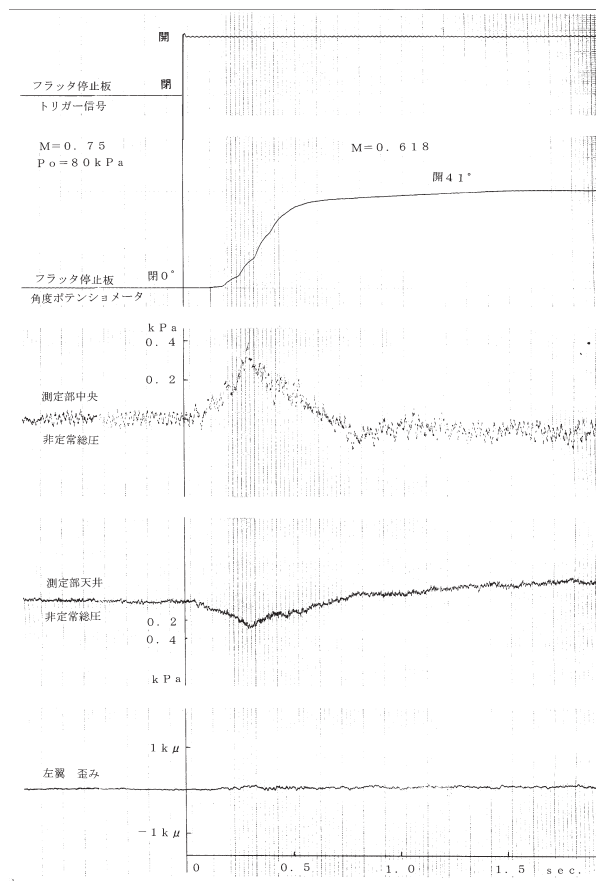


図32 非定常総圧の過渡応答の一例
($M=0.75, P_0=80\text{kPa}$)

5. まとめと今後の課題

今回、既設の装置のうちフラッタ停止板と油圧シリンダーを交換する改良を行い、目標にした成果が得られたので、以下に今後の課題と共にまとめる。

5.1 まとめ

- (1) フラッタ停止装置の改修を行い、フラッタ停止板を平板から多孔板に変更し、開度を90度から41度に狭くして試験した結果、フラッタ停止板から発生する渦による不規則励振は薄翼模型でも検出できず、試験範囲に亘って安全に装置は作動し、マッハ数も設計通りに低下し機能した。
- (2) 開口率20%と40%の多孔フラッタ停止板による特性の違いは顕著ではない。改修前の気流方向のマッハ数分布を図33に示す。両停止板とも改修前と比較して気流方向のマッハ数分布は改善されているが、フラッタ停止板の後方になるほど低下したマッハ数が徐々に回復する特性を有している。模型及び翼が後方に位置する試験ではこの点を考慮しなければならない。

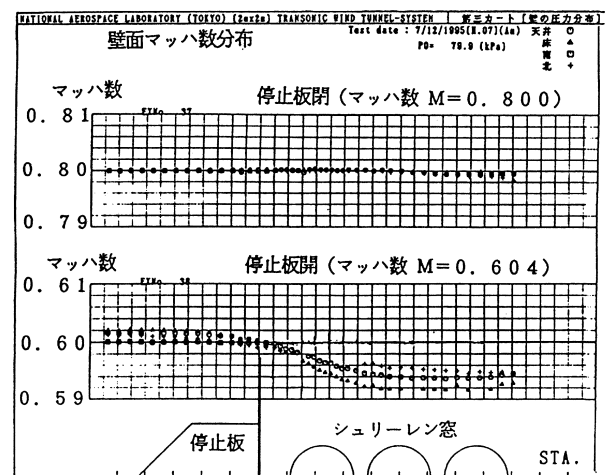


図33 改修前のマッハ数分布

- (3) フラッタ停止板の交換は用意した専用工具を用い、3名で所要時間は大体22分である。

5.2 今後の課題

- (1) 測定部中央断面のマッハ数分布の測定
- (2) 供試体の翼端付近における増速の有無の確認
- (3) 空力弾性模型試験の実施
- (4) フラッタ停止板の開口部の閉鎖
- (5) 動作速度の迅速化
- (6) 上限マッハ数の向上

終わりに、フラッタ停止装置の改修に当たっては川崎重工業㈱と丸三機械建設㈱、模型と専用工具の製作は業務部施設課及び風洞の計測は遷音速風洞の各担当者の協力を得て行った。

6. 参考文献

- 1) 鈴木弘一, 細江信幸, 中村正剛, 小池陽, 飯島由美, 小國保男, 河本巖, 海老原正夫; 航技研遷音速風洞の測定胴設備改修の概要について, 航空宇宙技術研究所資料TM-674, Jan. 1995.
- 2) 鈴木弘一, 細江信幸, 飯島由美, 小松行夫, 国益徹也, 安藤泰勝, 半沢麻雄, 鈴木誠三; 遷音速風洞フラッタ緊急停止装置性能試験, (その1) 半裁模型カート用装置の効果, 航空宇宙技術研究所資料TM-668, Nov. 1994.
- 3) 半沢麻雄, 鈴木誠三, 安藤泰勝, 菊池孝男, 藤井謙司, 松下洸; 遷音速風洞フラッタ緊急停止装置予備試験 (その1) フラッタ停止板基本性能試験, 航空宇宙技術研究所TR-1197, Apr. 1993.
- 4) 安藤泰勝, 鈴木誠三, 半沢麻雄, 藤井謙司, 鈴木弘一, 外立政隆, 松下洸, 梅島竜男; 遷音速風洞フラッタ緊急停止装置予備試験 (その2) フラッタ緊急停止装置

の開発, 航空宇宙技術研究所 TR-1200, May. 1993.

- 5) 鈴木弘一, 細江信幸, 飯島由美, 小松行夫, 唐沢敏夫, 小國保男, 中村正剛, 鈴木誠三; 遷音速風洞フラッタ緊急停止装置性能試験, 第3カート用装置の効果, 第33飛行機シンポジウム, Nov. 1995.
- 6) 齊藤健一, 松下洸; 遷音速風洞第2, 第3カートフラッタ停止板後流測定試験結果報告資料, Nov. 1998.
- 7) 航空宇宙技術研究所, 2M2M 遷音速風洞測定胴改修作業, 機器取扱説明書 (機械設備 4), 平成6年3月, 川崎重工業株式会社.
- 8) KEYENCE アンプ内蔵近接スイッチ EZ シリーズ取扱説明書.
- 9) 水口博敏, 海老原正夫, 鈴木弘一, 中村正剛, 藤井孝藏, 福島幸夫, 第31回宇宙科学技術連合会講演会講演集, Oct. 1987.

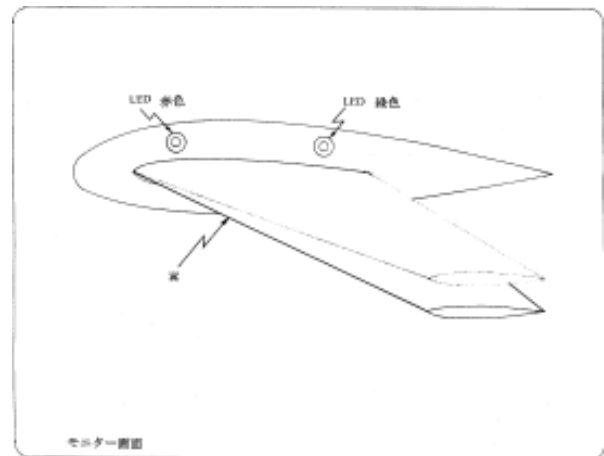
7. 付録

フラッタ停止装置の改修と模型を用いた本装置の安全と機能確認の風洞試験を実施するなかで, フラッタ停止板の開閉とフラッタ翼模型の振動特性を一台のビデオ・カメラで監視する機構を考案した。また, フラッタ停止装置の問題点を解決する提案をした。それぞれを付録にまとめて示す。

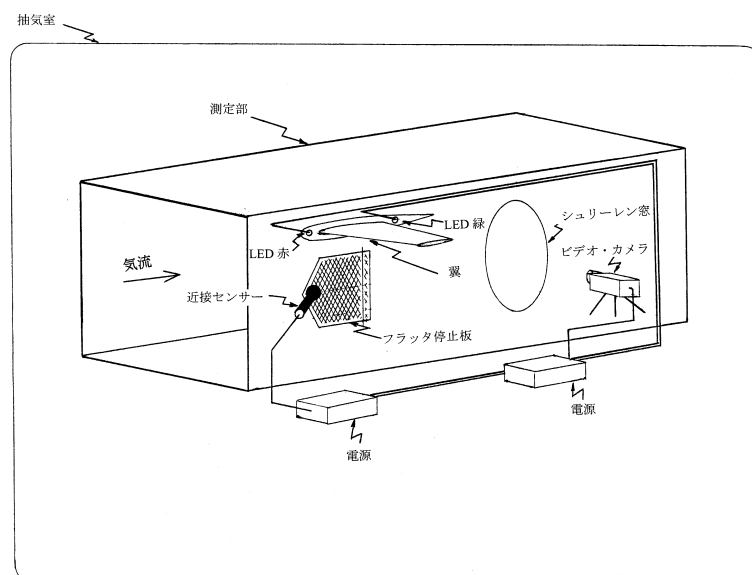
7.1 付録 A

抽気室を有する遷音速風洞の測定部に設置されたフラッタ停止装置は供試模型の前方に設置され, 相互の位置関係が離れているため同時に一台のビデオ・カメラで監視することが困難である。試験担当者全員が供試模型全

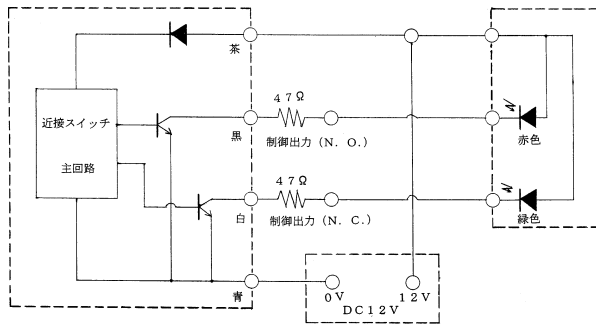
体の振動を常時監視し, 且つ, フラッタ停止装置の開・閉の動作を確認していなければならない。風洞試験では常時試験条件の増加と共に供試模型の振動特性も変化するのでこれを監視し, 安全を確かめながら試験を進めなければならない。そして, 供試模型に一旦フラッタが発生したならば, 直ちに試験担当者はフラッタ停止装置を作動し, フラッタを停止させ, 供試模型と風洞の安全を確保しなければならない。そのためには両者の挙動を一台のビデオ・カメラで監視する工夫が必要であった。そのためフラッタ停止装置の開・閉の動作を発光ダイオードで表示し, 識別を容易に, 且つ, 供試模型の振動特性に影響すること無く, 一体として模型に組み込み, 表示する方式を考案した。付図1に全体の構成図を, 付図2に監視画面をそして付図3に回路図⁸⁾をそれぞれ示す。



付図2 監視画面



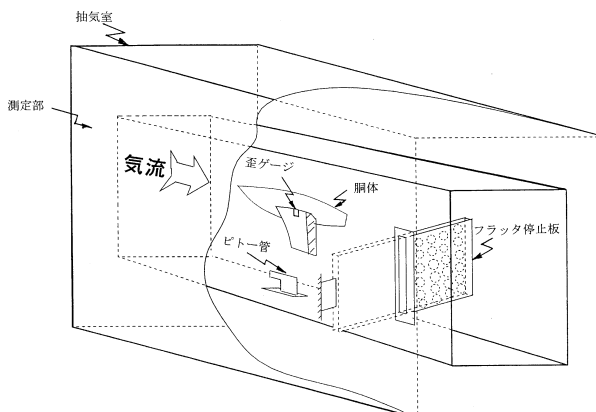
付図1 全体の構成



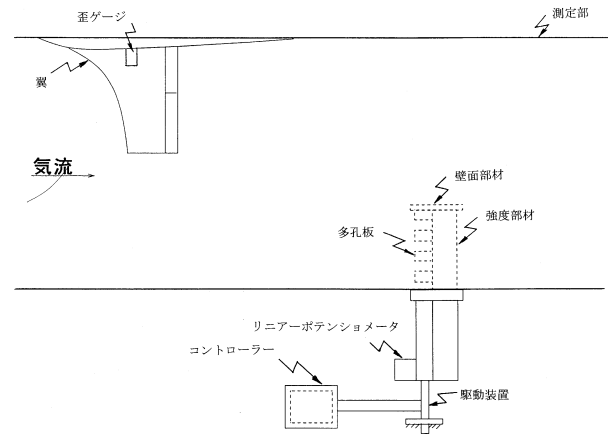
付図3 回路図⑧

7.2 付録B

抽気室を有する遷音速風洞の測定部に設置されたフラッタ停止装置は、供試模型の前方に設置されている。フラッタ停止板の前方ではマッハ数が実験式通りに低下するが、しかし、フラッタ停止板の後方では一度低下したマッハ数がフラッタ停止板の位置から離れるに従って回復する傾向のあることが風洞試験で明らかになった。フラッタ停止板の面積の増加、或いは開度の増加によって損失を補うことも考えられるが、それに伴う短所も強調される。従って、フラッタ停止板の効率を損なうことのない配置は、供試模型の後方に配置するのが最良である。一方、供試模型が破損した場合に、フラッタ停止装置の損傷を防ぐためには模型の後方の反対側に配置すべきである。フラッタ停止板を作動すると、気流の遮蔽効果を有するので騒音と振動を発生する。この軽減にはフラッタ停止板が後方に配置されたとしても多孔板にして気流特性を良くすることで改善すべきである。フラッタ停止板の方式はスライド方式にすると壁面に占める面積が少なく、出し入れに伴う壁面との構造上の形状、開口部を最小にできる。フラッタ停止板と壁面の隙間を閉塞することによって、この部分から出入りする気流を少なくして計測機材及び観測機材の保全を図る。また、フラッタ停止板の出し入れ量を調節し、壁面に直角に出すこ



付図4 フラッタ停止装置の全体構成



付図5 フラッタ停止装置の概要

とにより効率良く供試模型の試験条件毎にフラッタ試験ができる。スライド方式では風洞測定部からフラッタ停止板の着脱が可能で、取外して通常の風洞試験ができる。付図4に全体の構成を、付図5に概要をそれぞれ示す。

7.3 装置の操作手順

7.3.1 起動操作⁷⁾

1. 第3カートに測定部にセットする。
2. カート南壁と可動板を締結している可動板側の六角穴付ボルト4本を取り外す。また、可動板の開閉に支障を来す静圧孔保護カバーも取り外す。
3. フラッタ停止装置のタンクユニット(移動式)をカート南側に設置する。
4. タンクユニットに納まっている下記3本のフレキシブルホースをワンタッチで接続する。
 - (1) タンクユニットとACCユニット間のP1用ホース(15A)
 - (2) タンクユニットとバルブユニット間のT1用ホース(50A)
 - (3) タンクユニットとバルブユニット間のDR用ホース(15A)
5. 油圧装置の各弁の開閉を確認する。
「常時閉」は以下の弁で、他は「常時開」です。
 - (1) タンクユニットの⑩
 - (2) ACCユニットの3/2 3/4 3/5 4/1 4/2
 - (3) バルブユニットの③
 ホースの接続の際には接続部上下流の弁は閉じられているので、ホース接続後、必ず「開」の操作をする。
6. 空力弾性試験用配線コネクタの接続をする。配線コネクタは胴内カート北側及び南側床に設置されている。
7. A分電盤、空力弾性制御盤、空力弾性操作卓の電源

をこの順に投入する。

8. 油圧装置の油圧ポンプを起動する。
9. ACC 圧力が 130kg/cm² を越えると、可動板の開閉操作が可能になり、操作卓の「準備完」を表示する。
10. 可動板を開閉操作する時は、可動板付近内、外ともにカートの作業をしていないことを確認してから行う。胴内にいる人と連絡をとり指差喚呼して、動作する。
11. 可動板の正常動作を確認して、通風に入る。正常動作の確認は、開閉操作を 2 往復してみる。

7.3.2 終了操作⁷⁾

1. 可動板が全閉状態（電磁弁は L/S により、OFF「中立」状態）であることを確認する。
2. 油圧ポンプを停止させる。
3. 空力弾性操作卓、空力弾性制御盤、A 分電盤の電源をこの順に落とす。
4. ACC ユニットの弁 3/2 を開いて ACC 圧力をタンク圧力に落とす。

5. 可動板をボルトで南壁に締結する。
6. フレキシブルホース接続部上下流の弁を閉じる。
7. 「起動操作 4.」で接続したフレキシブルホースを外し、タンクユニットに納める。
8. 「起動操作 6.」で接続した配線コネクタを外し、コネクタボックスに納める。

7.4 フラッタ停止板交換方法

1. 交換用フラッタ停止板を保護具の上に用意する。
2. 架台を交換する壁面に合わせて固定する。
3. 壁面のフラッタ停止板に 2 個の専用取手を取付ける。
4. 重ねネジを取外し、フラッタ停止板をスライドさせて外す。
5. 取手を取外し、交換用フラッタ停止板に付替える。
6. 交換用フラッタ停止板を架台の上に乗せ、ネジ穴の位置合わせをして、ネジ止めする。
7. 取手を取外す。
8. 必要ならネジ穴、周囲の整形を行う。
9. 胴内の後片づけを行う。