

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-588

「飛鳥」7%半截模型の高速風洞試験に用いた  
配管干渉除去装置の特性について

細 江 信 幸 ・ 唐 沢 敏 夫 ・ 浅 井 圭 介  
末 永 尚 史 ・ 小 池 陽 ・ 鈴 木 弘 一  
中 村 正 剛 ・ 三 堀 進

1988 年 6 月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 記 号 .....	1
3. 外装式天秤の概要 .....	1
4. 高圧配管による天秤への干渉 .....	3
5. 配管干渉除去装置の設計 .....	4
6. 配管干渉除去装置の構成 .....	6
7. 実験装置 .....	9
8. 試 験 .....	10
9. ま と め .....	14
参考文献 .....	15

# 「飛鳥」7%半截模型の高速風洞試験に用いた 配管干渉除去装置の特性について\*

細 江 信 幸\*\* 唐 沢 敏 夫\*\* 浅 井 圭 介\*\*  
末 永 尚 史\*\* 小 池 陽\*\* 鈴 木 弘 一\*\*  
中 村 正 剛\*\* 三 堀 進\*\*

## 1. まえがき

当研究所の低騒音STOL実験機「飛鳥」開発の一環として、当研究所の2m×2m遷音速風洞<sup>1)</sup>において「飛鳥」の高速特性の解明を目的とした7%半截模型による高速風洞試験を実施する作業が行われ、昭和61年度に第1次、昭和62年度に第2次高速風洞試験が実施された。

この高速風洞試験用の半截模型は従来の風洞試験用の模型と違い、実機の動力を模擬するために二基の模型エンジン (Turbine Powered Simulator, 以後TPSと称す) が取り付けられている<sup>2, 5)</sup>。図-1に動力付半截模型の構成を示す。この模型に取り付けられている二基のTPSを運転するために、外部から適当な配管によって、高圧空気をTPSに供給する必要がある。さらに半截模型の風洞試験の時には、試験データの一つとして外装式天秤により模型に加わる空気力を測定するが、上記の配管はこの空気力計測に影響を与える。従って空気力の計測を正確に行うためには、天秤への影響を極力小さく抑えながらTPSへ高圧空気を供給する配管装置を製作することが必要である。そこで天秤への干渉が極力小さくなるような機能をもたせた配管装置の一案 (配管干渉除去装置) を試作し (図-1参照)、天秤への影響を中心とするその特性の一部を実験的に調べたので報告する。

## 2. 主な記号

$F_A$  : 軸力 (N)  
 $F_N$  : 垂直力 (N)  
 $F_Y$  : 横力 (N)  
 $M_X$  : ローリング・モーメント (Nm)  
 $M_Y$  : ピッチング・モーメント (Nm)  
 $M_Z$  : ヨーイング・モーメント (Nm)  
 $\Delta F$  : 配管干渉量 (N, Nm)  
 $\Delta F_A$  : 軸力への干渉量 (N)  
 $\Delta F_N$  : 垂直力への干渉量 (N)  
 $\Delta M_Y$  : ピッチング・モーメントへの干渉量 (Nm)  
 $\alpha$  : 模型の迎角 (deg)  
 $P_S$  : 供給圧力 (bar)  
 $W$  : 較正荷重 (N, Nm)  
 $W_A$  : 軸力方向へ加えた荷重 (N)  
 $W_N$  : 垂直力方向へ加えた荷重 (N)  
 $W_M$  : 模型重量模擬荷重 (N)  
 $\Delta C_D$  : 抗力係数の差  
 $\Delta C_L$  : 揚力係数の差  
 $\Delta C_m$  : ピッチング・モーメント係数の差

## 3. 外装式天秤の概要

2m×2m遷音速風洞の半截模型用カートに取り付けられている外装式の天秤<sup>1)</sup>は六分力天秤であり、その構成は、図-2に示すように天秤外枠とその内側にある揺れ枠、及び両者をつなぐロードセル型の受感素子より成っており、模型は模型取り付け板と回転円板を介して揺れ枠に接続される。模型取り付け

\*昭和63年3月16日 受付

\*\*空気力学第二部

# 飛鳥

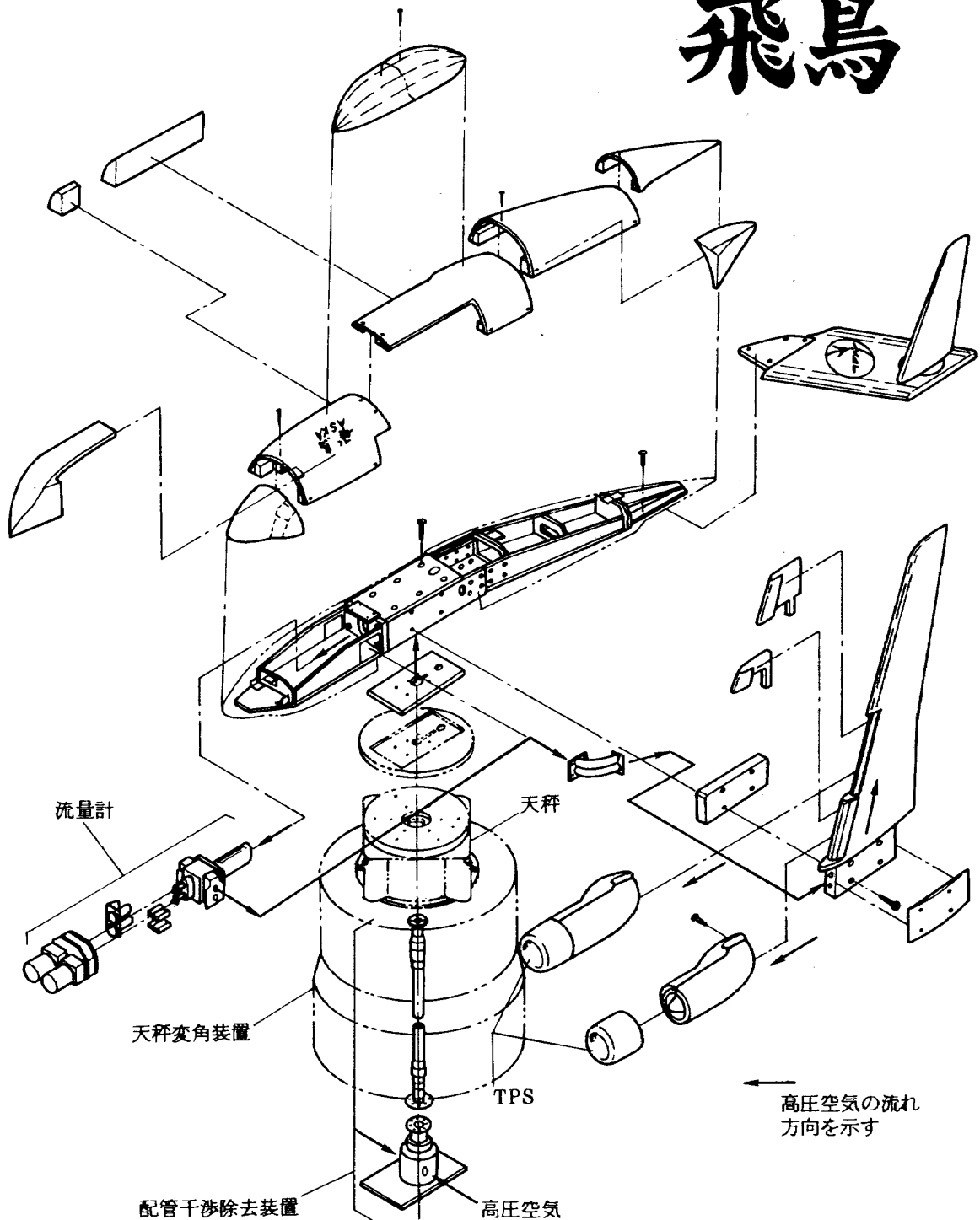


図-1

け板と回転円板は、それぞれ各天秤素子の最大容量の荷重が加わっても、測定部床面、及び天秤外枠に接触しないよう空隙が設けてある。

次に模型の迎角を変更する機構（天秤変角装置）について述べる。その構造は図-2に示すようになっていて、半截模型用カート側に固定されている天秤変角装置外枠、その内側にある回転軸、及びそれ

を回転させる駆動装置（電動機、歯車等）により構成されている。天秤が取り付けられている回転軸は、上下のベアリングを介して天秤変角装置外枠に支持され、天秤変角装置外枠に固定された駆動装置によって回転する。そのことによって回転軸上に固定された天秤を回し、その結果として天秤上に固定された模型の迎角（ $\alpha^\circ$ ）が変化するようにになっている。

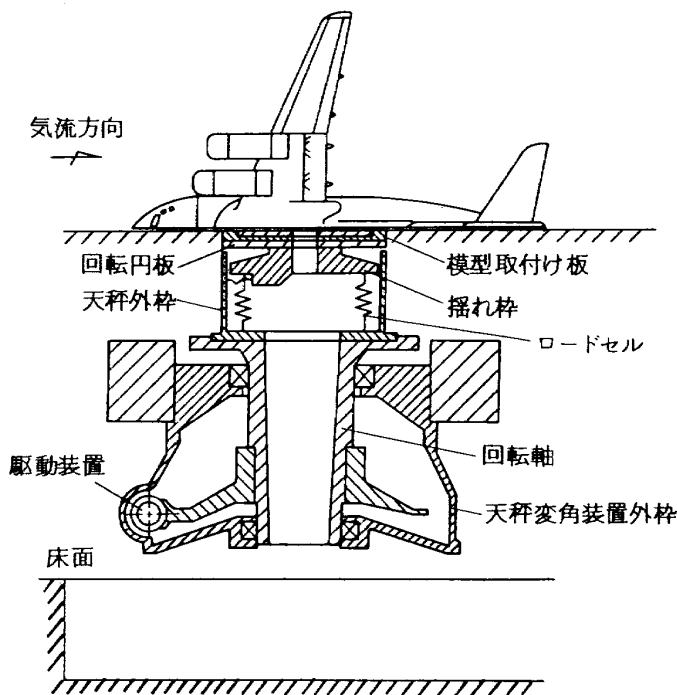
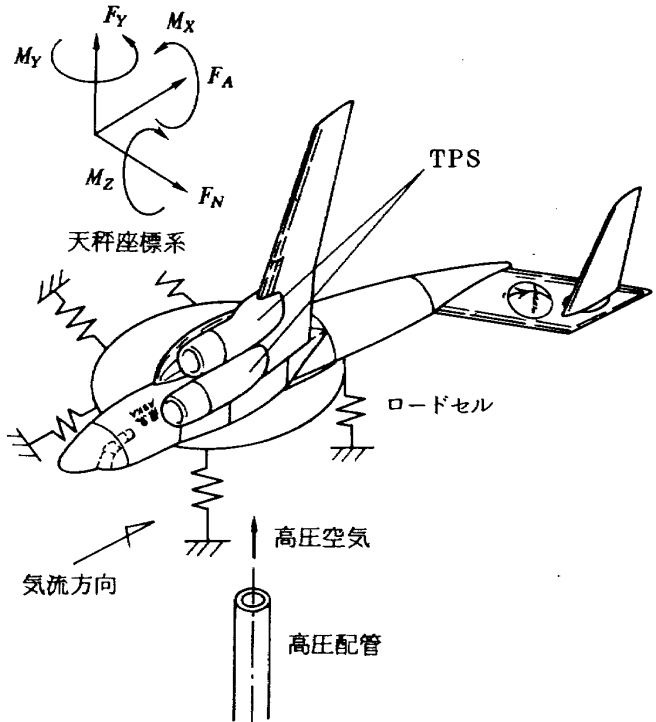


図-2

「飛鳥」の7%半截模型による、高速風洞試験時の外装式天秤に加わる空気力の推算値は、全機揚力係数 $C_L = 0.5$ 、同じく抗力係数 $C_D = 0.05$ と仮定すると、風洞条件が一樣流マッハ数 $M = 0.8$ 、集合胴総圧 $P_0 = 0.8 \text{ bar}$ 、集合胴温度 $T_0 = 315 \text{ K}$ の場合、揚力について $F_L = 3467.8 \text{ N}$ 、抗力について $F_D = 346.7 \text{ N}$ となる。これに対して天秤容量は、垂直力について $F_N = 9806.65 \text{ N}$ 、軸力については $F_A = 980.67 \text{ N}$ である。

動力付模型による風洞試験の重要な目的の一つに、ナセルと主翼との干渉によって発生する空気力の測定とその低減があり、これに必要な天秤精度を考えるために、一例として抗力の測定を1カウント( $\Delta C_D = 0.0001$ )の精度で行うと仮定して、「飛鳥」7%半截模型の場合について、前記の条件で計算してみると $\Delta F_D = 0.6935 \text{ N}$ となる。従って軸力の測定について、その必要精度は0.07% FS以下という非常に精度の高い測定が要求される。現実には他の模型による風洞試験、ロードセルの容量、及びその精度、取り付け方法などを考慮すると、外装式天秤における各分力の総合精度は、その最大容量の0.1%程度である。図-3に各分力の座標系、天秤容量、天秤最大容量に対する天秤総合精度を示す。



分力	天秤容量	天秤精度
$F_A$	980.67 N	0.98 N
$F_Y$	19613.30 N	19.61 N
$F_N$	9806.65 N	9.80 N
$M_X$	10983.45 Nm	10.98 Nm
$M_Y$	3530.39 Nm	3.53 Nm
$M_Z$	10983.45 Nm	10.98 Nm

図-3 天秤容量、及び天秤精度

#### 4. 高圧配管による天秤への干渉

外装式天秤による空気力の測定は、模型に加わる空気力が、模型に接続している天秤の揺れ枠を空気力の各力成分の合力の方向に動かし、その結果、その力が揺れ枠に取り付けられている各天秤素子の歪として検出され、それを電圧に変換して取り出している。しかしTPSを動作させるために、模型に高圧空気供給配管（以後、配管と略す）を接続すると、模型を介して天秤に配管が接続されるためその配管が天秤による空気力の測定に影響を与える。その影響を与える要素として以下のことが考えられる。

- (1) 配管内の空気の圧力による配管の変形の影響（配管内圧効果）
- (2) 模型の姿勢変化に基づく配管の振れと撓みによる影響（迎角設定効果）
- (3) 配管自体の剛性により、模型に働く空気力が

天秤と配管の間で分配されてしまう影響  
(荷重効果)

(4) 環境温度変化による配管の伸縮の影響  
(環境温度効果)

(5) 配管内の高圧空気の流れるによる影響  
(流れの効果)

天秤へのこれらの影響を配管干渉と呼ぶこととし、この配管干渉が極力小さくなるように配管系に措置する機構を、配管干渉除去装置と呼ぶこととする。(以後、装置と略す。)

TPSを装備した模型(動力付模型)の風洞試験では、この装置をどのように工夫して配管干渉を極力小さくするか、又は配管干渉の再現性をどのようにして確保してその補正を可能にするかが、大きな技術的課題であり、これにどう対処するかが、風洞実験による動力付模型の空気力の測定結果について、その信頼性を左右する要因の一つとなる。

## 5. 配管干渉除去装置の設計

図-4に既設の高圧空気供給配管系<sup>5)</sup>の略図を示

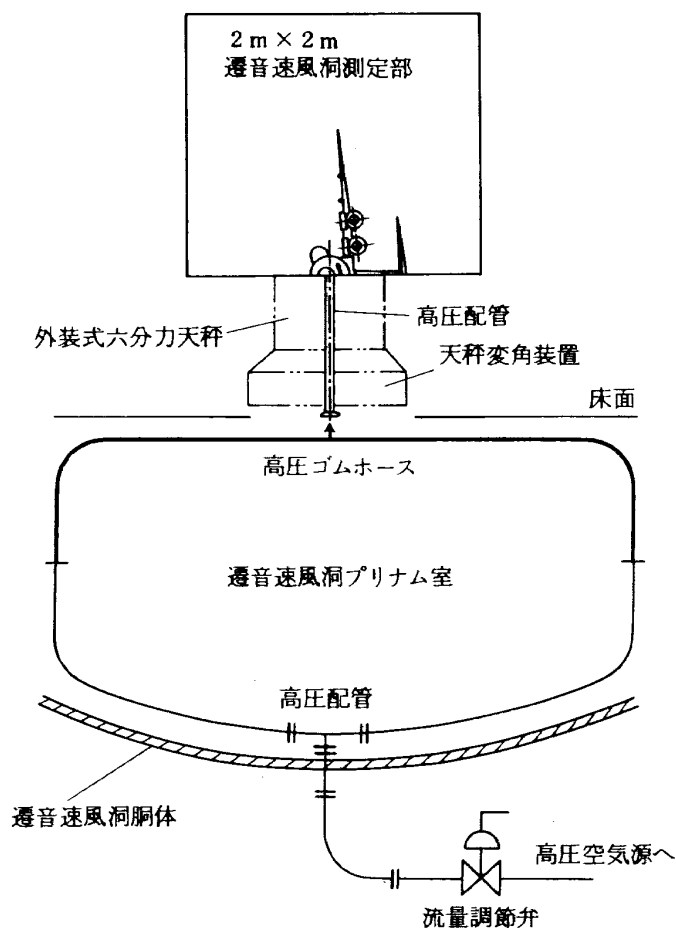


図-4 高圧空気供給配管系

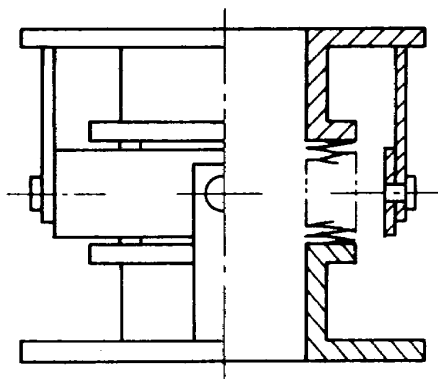
す。高圧空気は、空気源から風洞外の配管系に取り付けてある流量調整弁を通り、配管により風洞内へ導かれる。風洞内へ導かれた高圧空気は風洞測定部で配管により2方向に分岐され、途中よりその配管に接続されている高圧ゴムホースで天秤変角装置下部まで導かれ、高圧継手を介して配管に供給され、模型に取付けられたTPSへと導かれる。

### 5.1 設計の方針

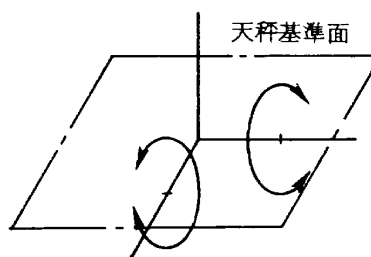
一般的に模型は図-3に示すように、天秤各素子によって弾性支持されていて、これに配管を接続するとそれによっても支持されることになる。これを単純に二つの弾性系に並列支持されていると考えると、支持力はバネ定数の比で二つの系に分配される。このことから、配管系のバネ定数をゼロにすれば干渉を完全になくすることができるが、實際上これは非常に困難である。実際問題としては、配管干渉量を天秤出力に対し無視して良い程度に小さくするか、無視し得ない大きさであってもこれを正確に補正できれば良い。そこでとりあえず、配管の剛性による干渉を少なくするためには、配管のバネ定数を天秤の受感素子のバネ定数に対してできるだけ小さく(柔らかく)することが考えられる。また先に述べた他の要素については、それぞれの要素について配管系の構造を工夫することにより、それらによる天秤への影響を小さくできると考えた。

一般に模型に加わる空気力系は、図-3に示した軸力方向( $F_A$ )、垂直力方向( $F_N$ )、横力方向( $F_Y$ )の三つの力成分と、それぞれの方向の三つのモーメント成分( $M_X$ ,  $M_Z$ ,  $M_Y$ )が、それぞれ天秤により六分力として出力され、各成分に対応して力では並進の動き、モーメントでは回転の動きが天秤に現れる。つまり天秤の動きとしては六自由度あり、模型に接続される配管はこの六自由度のそれぞれに対し、十分柔らかく対応しなければならない。この配管を柔らかくするものとして、図-5、図-6、図-7に示す、ベローズ、高圧ゴムホース、ジャーナル式継手、球面継手などを考えた。しかし、それら単体では天秤の必要とする六自由度は得ることができない。従って試作する装置は、天秤の動きを極力妨げず、かつ模型の姿勢設定(迎角,  $\alpha^\circ$ )に障害となら

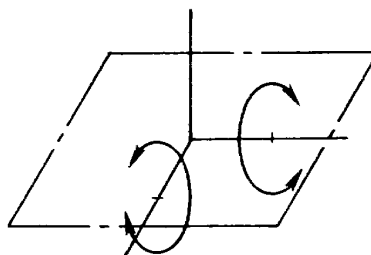
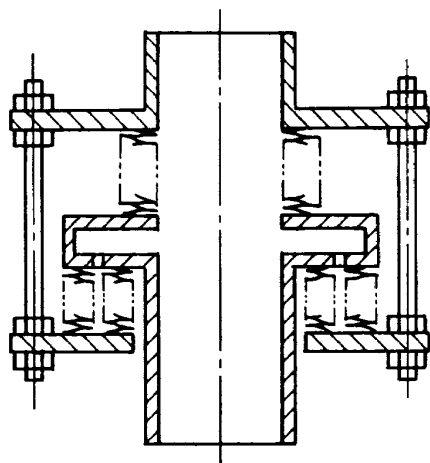
ジンバル式ベローズの一例



天秤に対する自由度



圧力バランス式ベローズの一例



高圧ゴムホースの参考例

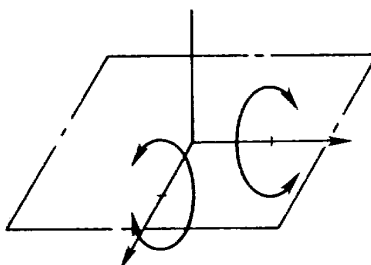
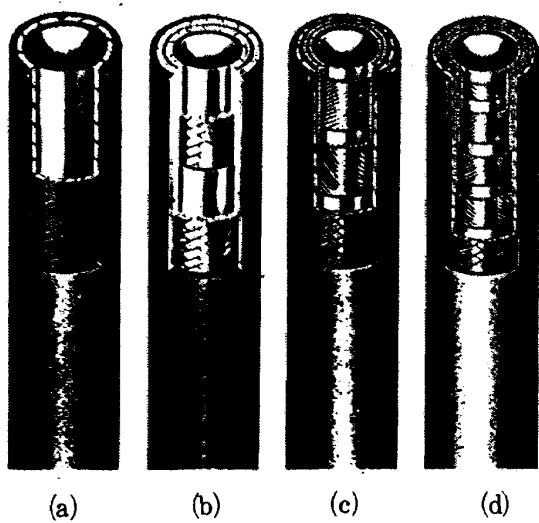


図-5

ぬよう、それら単体の持っている自由度を組み合わせて構成し、風洞における作業時の取扱い性を考慮して、できるだけ小型で軽量なものを目指すことにした。

## 5.2 装置の構成要素

### (a) ベローズについて

ベローズ単体について大別すると、溶接式ベローズと一体成型ベローズに分けられる<sup>6)</sup>。一般的にバネ定数は、溶接式ベローズが一体成型ベローズよりはるかに小さい。しかし今回は、ベローズが高圧で使用されることを考慮し、溶接式ベローズよりバネ定数が大きい欠点はあるが、その板厚が厚く高圧での使用に実績のある一体成型ベローズを使用することとした。また配管内に高圧が加わり推力が発生するので、ベローズの型式としては、図-5に示すジンバル式ベローズ、圧力バランス式ベローズが考えられる。しかし圧力バランス式ベローズは、配管内に高圧が加わった時、その個々のベローズに発生する推力の釣り合いを取ることが難しい欠点がある。

ジンバル式ベローズの自由度は、図-5に示すように、その中心線に直角な任意の直線回りの回転（二自由度）がある。圧力バランス式ベローズの自由度についても同様である。

### (b) 高圧ゴムホースについて

図-5に高圧ゴムホースの一例を示したが、その機能としては、内部に高圧が加わっても長手方向と

半径方向には変形しにくく、天秤の動きに対応してその動きが可能な限り柔軟なことが要求される。

自由度は図-5に示したように、高圧ゴムホースの中心線に直角な任意の直線回りの回転（二自由度）がある。更に高圧ゴムホースが十分に長い場合、その中心線に垂直な平面内の並進（二自由度）も自由度の中に入れて良い。

### (c) ジャーナル式継手について

図-6に示したジャーナル式継手については、外側軸受と中空軸が常に接触しているので、それらの接触面の摩擦力が極力少なく、かつ高圧空気に対して気密性の良いものが要求される。

ジャーナル式継手の自由度としては、その中心線回りの回転と、その中心線方向の並進の動きが可能である（二自由度）。（偏心ジャーナル空気継手については文献4）、参照）

### (d) 球面継手について

図-7に示した球面継手についても、先に述べたジャーナル式継手と同様の機能が要求される。

球面継手の自由度としては、その中心線回りの回転（一自由度）と、中心線に直角な任意の直線回りの回転（二自由度）の合計三自由度が可能である。

## 6. 配管干渉除去装置の構成

今回試作した配管干渉除去装置は図-8に示したように3種類あり、便宜上図-8左よりジンバル式ベローズ型、高圧ゴムホース型、球面継手型という

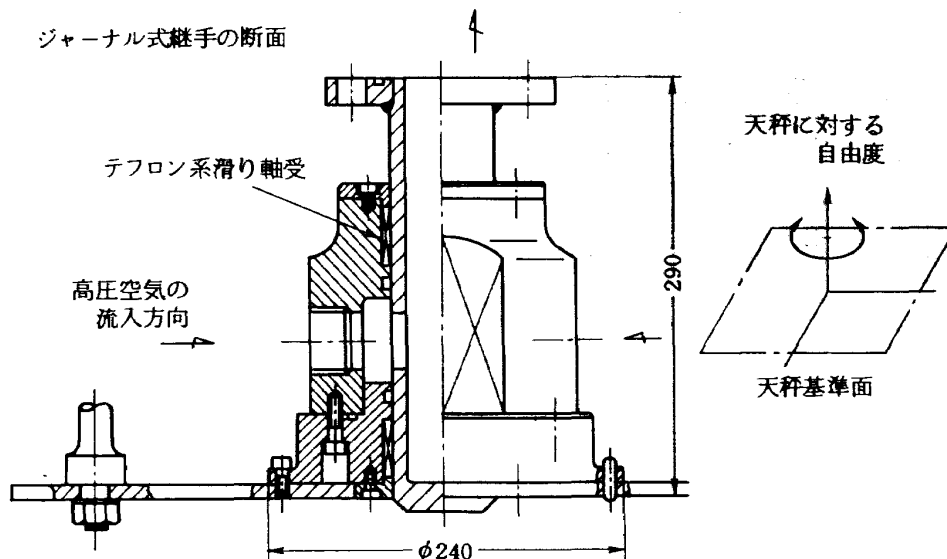


図-6



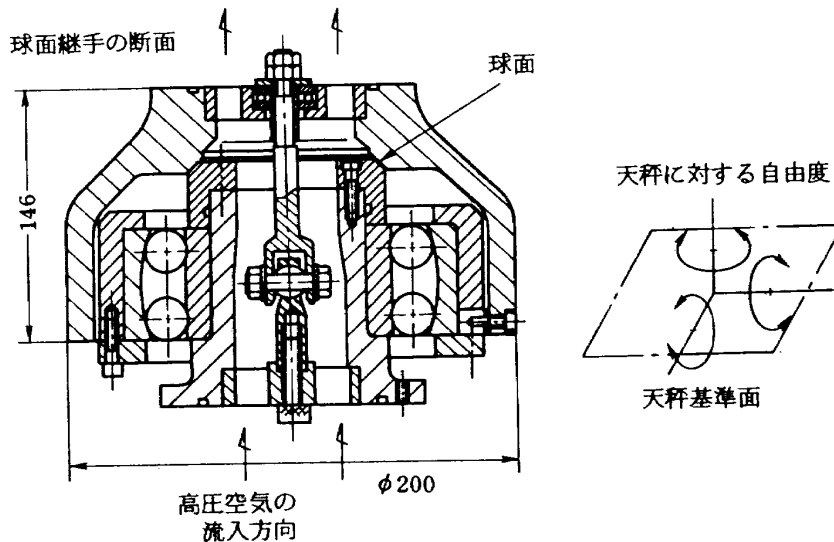


図-7

名称をつけた。下記にその構成を説明する。

#### 6.1 ジンバル式ベローズ型と高圧ゴムホース型の構成

ジンバル式ベローズ型の、天秤の座標系に対する自由度については、図-3に示した座標系の $F_A$ 軸まわりの回転( $M_X$ )と $F_N$ 軸まわりの回転( $M_Z$ )はジンバル式ベローズに担当させ、 $F_A$ 軸方向と $F_N$ 軸方向の並進の動きに備えて、ジンバル式ベローズを2個直列に配置した。また $F_Y$ 軸方向とその回転( $M_Y$ )の動きは、ジンバル式ベローズの下部に接続したジャーナル式継手により可能とした。 $F_A$ 軸方向と $F_N$ 軸方向の並進の動きにより配管の長さが変化するが、これについては、ジャーナル式継手の中心線方向の並進の自由度により吸収が可能である。

ベローズ単体については、一体成型ベローズを使用し、その内部の圧力により生じる推力を受けるジンバルの軸受部については、極力摩擦係数を小さくするようにした。

次に高圧ゴムホース型の天秤の座標系に対する自由度については、先に述べた $F_A$ 軸まわりの回転( $M_X$ )と $F_N$ 軸まわりの回転( $M_Z$ )、及び $F_A$ 軸方向と $F_N$ 軸方向の並進の動きを高圧ゴムホースに分担させ、残る $F_Y$ 軸まわりの回転( $M_Y$ )と $F_Y$ 軸方向の並進の動きは、ジンバル式ベローズ型と同じジャーナル式継手を用いて対処することとした。

$F_A$ 軸まわりの回転( $M_X$ )と $F_N$ 軸まわりの回転

( $M_Z$ )及び、 $F_A$ 軸方向と $F_N$ 軸方向の並進の動きを分担する高圧ゴムホースの選定は、それに内圧が加わった時の半径方向の変形のしにくさ、及び長手方向の伸縮の少なさを基準として、図-5に示した高圧ゴムホースの中からその使用圧力限度と柔軟性を考慮し、鋼線を編んだ補強層を二重にしてある(b)の高圧ゴムホースを使用することにした。

ジンバル式ベローズ型と高圧ゴムホース型の装置に共通なジャーナル式継手については、図-6に示したものを考案した。ジャーナル式継手に要求される機能については5.2, (c)に述べてあるが、まず外側軸受と中空軸の接触面の摩擦係数を極力小さくするために、中空軸表面と接触する外側軸受内面に、筒状に成型加工されたテフロン系の軸受を上下に一つずつ取り付け、それに接触する中空軸表面は硬質クロームメッキの後に研磨を施し、可能な限り平滑に仕上げた。またジャーナル式継手は、その構造上その中心線に直角な任意の方向の動きに対する自由度は持ち得ないため、中空軸に接続されたものが模型に加わる空気力により撓むと、その反力により中空軸が外側軸受内で傾くことになる。これを防ぐために筒状のテフロン系軸受はできる限り幅広のものをを使い、また外側軸受の内面におけるその取り付け間隔も、できる限り離すこととした。

高圧空気の気密性を保つことに関しては、Oリングを使用することも考慮して、外側軸受と中空軸のはめ合いを、穴基準のH7(外側軸受)とh7(中空

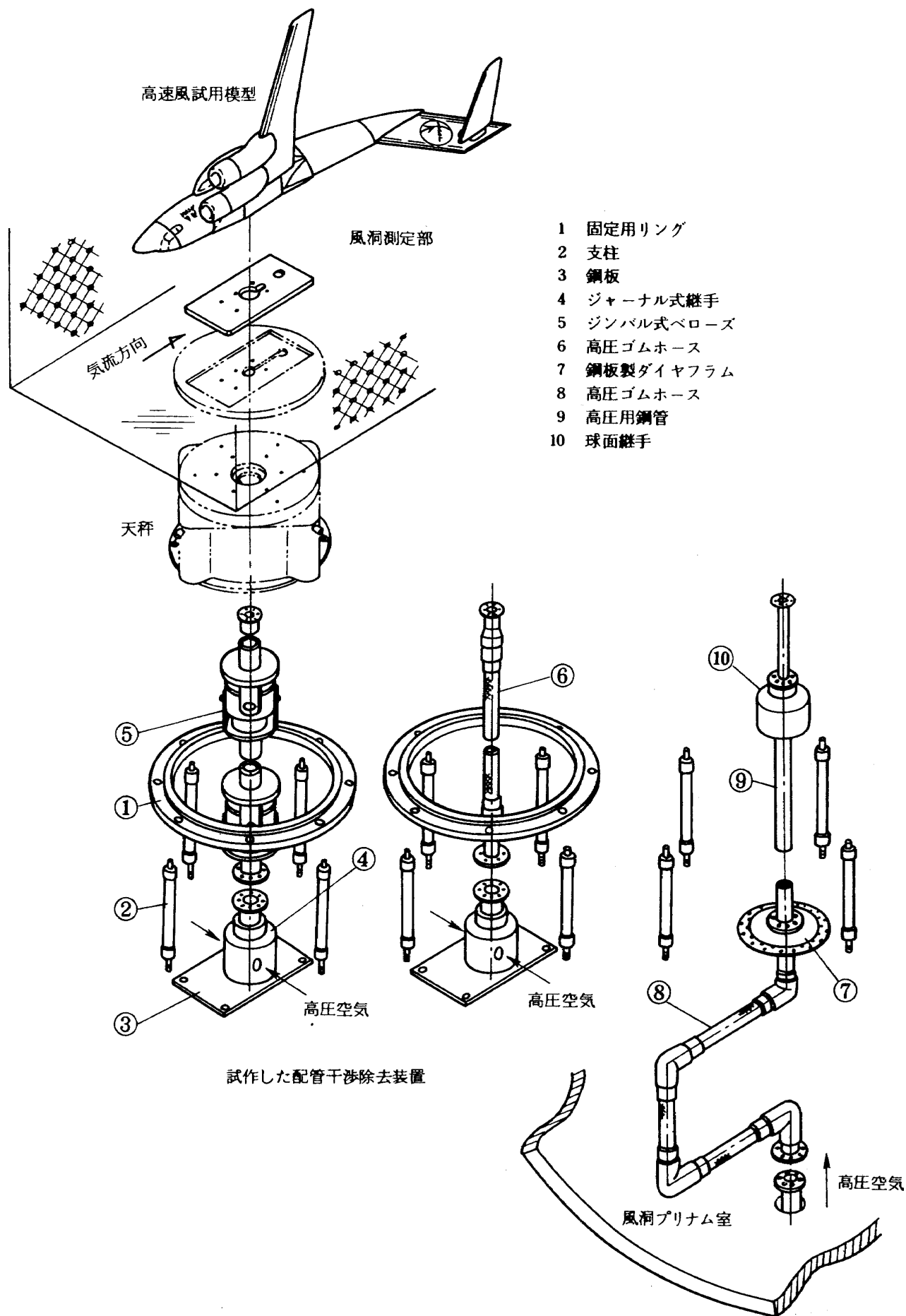


図 - 8

軸)の中間ばめ<sup>7)</sup>を採用することとした。

中空軸に接続される、ジンバル式ベローズ又は高圧ゴムホースの、それらの内圧及び環境温度変化による伸縮に対しては、中空軸を外側軸受下部まで貫通させて、その間の滑りによりこれを許すことにした。しかし中空軸と外側軸受が常に接触しながら運動するために、それらの摩擦による力が配管干渉量となって、天秤出力に影響を与える可能性は考えられる。

このジンバル式ベローズ型と高圧ゴムホース型の固定法は、図-8に示したように、まず半載模型用カートに取り付けられた天秤の内側に、高圧ゴムホース又はジンバル式ベローズを吊り入れる。次に天秤変角装置の下部に固定用リングを取り付け、その円周上に支柱を立てて、それにジャーナル式継手をのせるための鋼板を取付ける。この鋼板の位置を半載模型カート側の固定点にしてジャーナル式継手をこれに取り付ける。その後天秤上部で高圧ゴムホース又はジンバル式ベローズを模型と連結し、最後に模型を風洞に固定した状態で、ジャーナル式継手にそれらの残りの一端を連結することとした。これにより高圧配管の直線部分を長くすることができ、その結果として、模型の変位により生じる配管部の撓みを小さくできる。また取り付けに際しては、装置の各構成要素(ジャーナル式継手、高圧ゴムホース等)の取り付け方に任意性があると、それらが無用の変形を起こし、配管干渉量の再現性の悪化の一因となる恐れがある。これを防ぐため天秤の中心線とジャーナル式継手の中心線が常に一致するよう、天秤の中心線に垂直な平面内におけるジャーナル式継手の中心線の位置は“インロー”により、又その天秤の中心線回りの位置は“平行ピン”によって、その位置決めが容易に行えるようにした。

高圧空気については、ジャーナル式継手下部の両対極から高圧継手を介し、4の始めに述べた配管系に接続され供給される。

## 6.2 球面継手型の構成

図-8に球面継手型の構成を示す。この装置では天秤の座標系に対する回転の三自由度( $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ )は、自動調心ベアリングの機能を利用して、図-7

に示す構造により可能としている。さらに図中の球面間の隙間調整と高圧空気による推力を止めるため、中央部にロッドエンドとラグを組み合わせた十字接手を取り付け、球面間の隙間調整は上部にあるナットにより行えるようにした。天秤の座標系に対する並進の自由度( $F_A$ ,  $F_N$ ,  $F_Y$ )については、図にあるように、天秤変角装置下部に薄い鋼板製のダイヤフラムを支柱により支持し、それに球面継手に接続している配管を支持させる。次にその配管にプリナム室内下部に配置してあるクランク状の高圧ゴムホースを接続させ、球面継手の自由度とそれを支持しているダイヤフラムの可撓性、及び高圧ゴムホースの可撓性を利用して並進の三自由度を得ることにした。

配管系については、風洞外の配管系はジンバル式ベローズ型及び高圧ゴムホース型と同様であるが、風洞内では前記の二機種用の配管系を取り外し、それが接続していた配管の取付け部に、クランク状の高圧ゴムホースのもう一方を接続することにより配管系が構成される。

## 7. 実験装置

配管干渉除去装置の特性を調べる実験装置は、(1)配管干渉除去装置、(2)外装式天秤、(3)天秤変角装置、(4)較正荷重負荷装置、(5)高圧空気供給配管系、(6)計測装置から構成されている。図-9(a)は実験装置の概略を示し、図-9(b)は較正荷重の加え方を示した。

### 7.1 配管干渉除去装置

特性試験時の各装置は、高速風洞試験時のそれと機械的に同じ設置状態とするために、まず風洞プリナム室内に半載模型試験用カートを入れる。次に先に述べた取り付け方法により装置を取り付け、天秤変角装置下部、又は風洞プリナム室の下で既設の配管系に各装置を接続する。各装置の模型へ接続されるもう一方は図-9(b)に示す盲板により天秤に固定される。

各装置の天秤との取り付け関係については、高速風洞試験時の天秤と装置の取り付け状態と機械的に同じ取り付け関係を保って、先の盲板により各装置が天秤に接続される。

外装式天秤と天秤変角装置については、3.で述べ

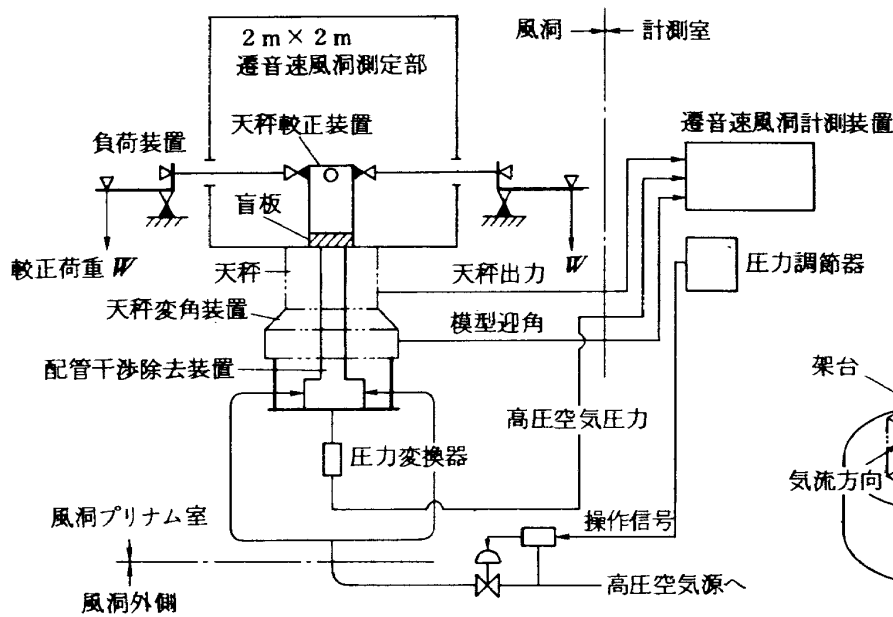


図-9(a)

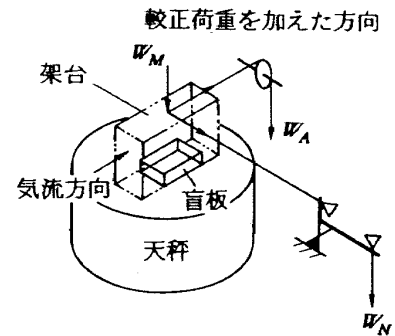


図-9(b)

た。

## 7.2 較正荷重負荷装置

較正荷重負荷装置は、図-9(a)と図-9(b)に示すように、架台、滑車、及び負荷用金具で構成され、架台は模型取り付け板上に固定され、負荷用金具と滑車により、較正荷重が加えられるようになっている。この装置は本来天秤較正に使用しているものであるが、配管干渉の実験にも使用するため、架台の下部に盲板が入るよう改造されている。

## 7.3 高圧空気供給配管系

高圧空気は、図-4に示した配管系により各装置に供給されるが、それに加える空気圧の調整は流量調整弁を風洞外の配管の途中に取り付けて、その開度を調整することにより行う。

この開度の調整は、計測室にある圧力調節器を手動により操作して行い、これにより圧力調節器から DC 4~20 mA の標準電気信号が弁側に送られる。その信号が電空変換器により操作空気圧に変換され、それが流量調整弁のダイヤフラムに加わることでより圧力調整が行われる。

## 7.4 計測装置

天秤に加わる較正荷重及び配管干渉力は、直流電

源により励起された各天秤素子により電気信号に変換され、一方、各装置に加わる供給空気圧力は圧力変換器によって電気信号に変換されて、それぞれ遷音速風洞計測装置<sup>3)</sup>へ取込まれ、記録、処理が行われる。

## 8. 試 験

試験は、「飛鳥」7%半截模型に係わる一連の高速風洞試験の作業の一つとして行われ、第一次高速風洞試験（昭和61年4月）と、第二次高速風洞試験（昭和62年4月）の日程の中で実施された。

まず一回目の装置の特性試験では、無風時の特性についての予備試験を行って、三種類の装置の基本的な特性を調べ、そのなかから良好な特性と思われるものを選び、それについて無風時特性試験を行った。又、第二次高速風洞試験の中では、無風時の特性予備試験で選定した装置について、通風時の特性試験を行った。

### 8.1 無風時特性予備試験

無風時の特性予備試験の試験項目については、下記に示した三項目を考えた。

A-1. 装置への供給空気圧の変化に伴う、装置の天秤各素子への影響（配管内圧効果試験）

A-2. 模型取り付け板を回転させたことによる（模

型が迎角 $\alpha^\circ$ を取った場合), 装置の天秤各素子への影響(迎角設定効果試験)

A-3. 較正荷重を加えることによる, 装置の天秤各素子への影響(軸力, 垂直力荷重試験)

無風時特性予備試験の試験結果の一例を図-10に示した。

横軸は装置に加えた圧力( $P_s$ )を示し, 縦軸は天秤の軸力( $F_A$ )に対する, 各装置の供給空気圧の変化による干渉量( $\Delta F_A$ )を示した。図の右端の縦線は, 天秤軸力の最大容量に対する総合精度を示す。

これによれば, 三種類の装置の中では高圧ゴムホース型の特性が一番良好と認められる。従って, この試験結果から高圧ゴムホース型の装置を選び, この装置について無風時特性試験を行うと共に, 第一次及び第二次の「飛鳥」高速風洞試験にはこれを使用した。

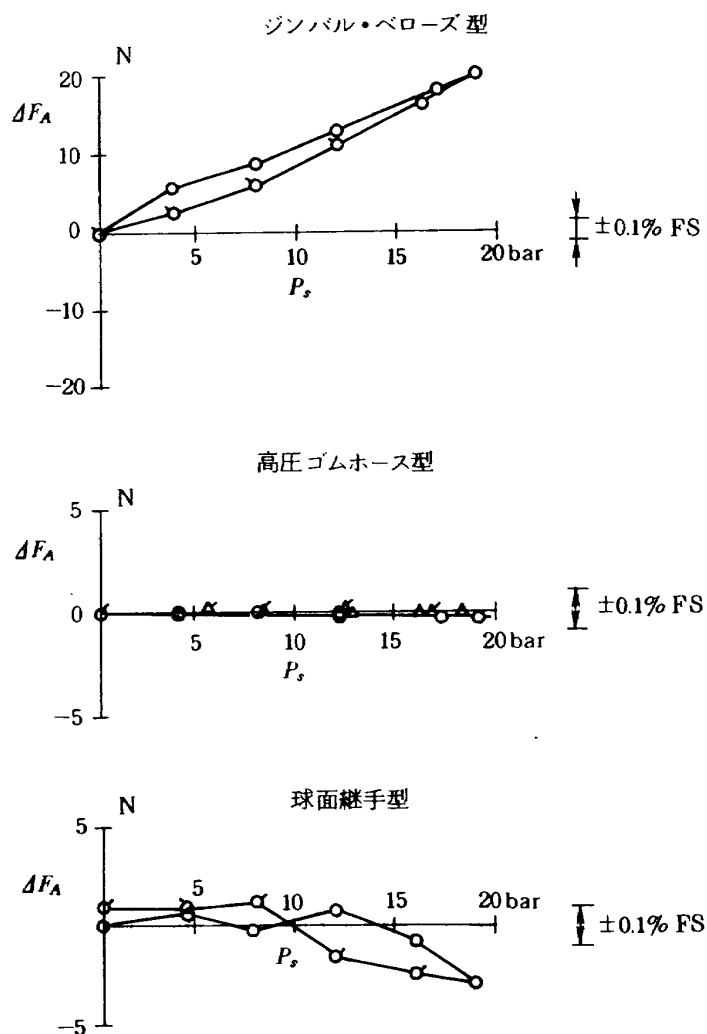


図-10 無風時特性予備試験における各装置の試験結果の一例

以下に高圧ゴムホース型の装置について, その特性試験ごとの具体的な試験要領, 及びその試験結果について報告する。

## 8.2 無風時特性試験の試験要領及び試験結果

本項目については, 前節に述べた試験項目 A-1., A-2., 及び A-3. に対応して, 装置の風洞試験時における実際の使用条件に近づけるため, 以下の四項目について実験を行った。

- (a) 配管内圧効果試験
- (b) 迎角設定効果試験
- (c) 軸力荷重試験
- (c') 垂直力荷重試験

まず(a)については, 天秤の上に模型重量を模擬した荷重( $W_M=1967.2\text{N}$ )を乗せ, 装置に加える圧力( $P_s$ )を0~19 bar程度まで約5 bar毎に順次設定圧力を変えて, 装置に加える圧力( $P_s$ )の変化に対する天秤三分力の出力を測定した。その結果を図-11に示す。

横軸は設定圧力( $P_s$ )を, 縦軸はそれによる天秤三分力の出力(配管干渉量,  $\Delta F$ )を示し, 図中右端の縦線は, 天秤各分力の最大容量に対する総合精度(以後, 天秤精度と略す)を示す。

試験結果より, 天秤精度を一応の目安として設定圧力の変化による天秤三分力への配管干渉量を見ると, 各分力とも天秤精度内に収まっていて, 装置内の圧力による干渉量も少ない。

(b)については, 装置に18.1 barの圧力( $P_s$ )を加え, 迎角を $0^\circ \sim \pm 4^\circ$ まで変えた場合の天秤三分力の出力を測定した。その結果を図-12に示す。

横軸は設定迎角( $\alpha^\circ$ )を, 縦軸はそれによる天秤三分力の出力(配管干渉量,  $\Delta F$ )を示し, 図中右端の縦線は各分力の天秤精度を示す。また迎角の設定方向は, 図の中央下部の矢印により示すように, まず $0^\circ$ から $-4^\circ$ に移り, 次に $-4^\circ$ から $+4^\circ$ 移る。そこから再度 $0^\circ$ に戻る。

この結果より, 軸力( $F_A$ ), 垂直力( $F_N$ )には迎角を変えたことによる, 配管干渉力はほとんど認められない。しかし, ピッチング・モーメント( $M_Y$ )に対する配管干渉量( $\Delta M_Y$ )について, 迎角の変化に伴うヒステリシスが認められる。これは高圧ゴム

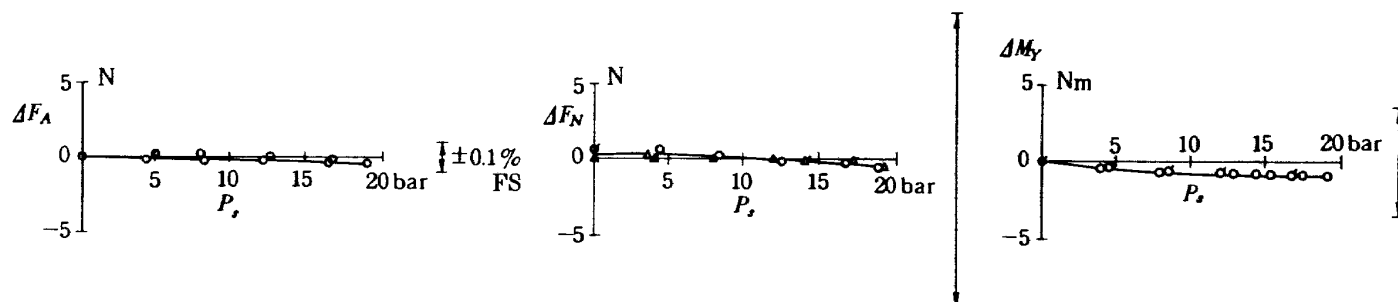


図-11

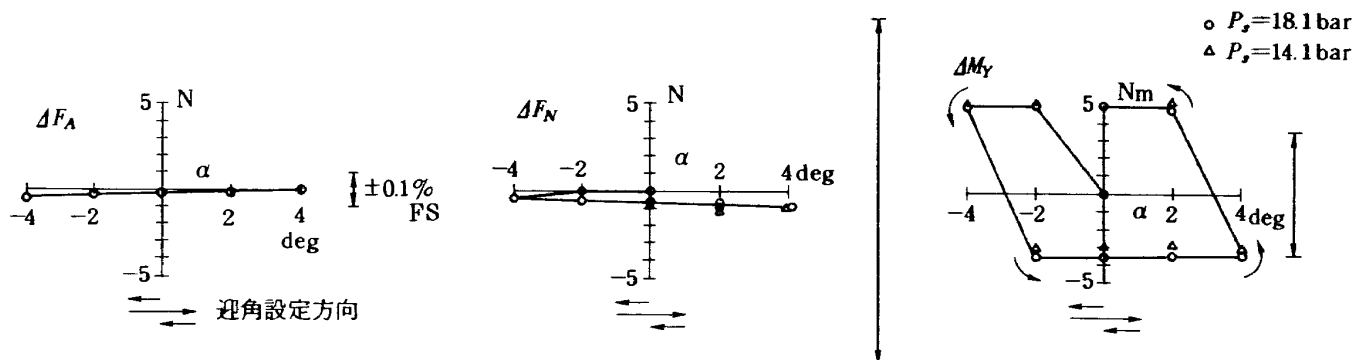


図-12

ホースに連結されているジャーナル式継手の外側軸受と中空軸の間に摩擦があり、まず $0^\circ$ から $-2^\circ$ への変角では、この摩擦に起因すると思われる約 $5\text{ Nm}$ のモーメントが天秤より出力され引続く同じ向きの $-2^\circ$ から $-4^\circ$ の変角ではこれは変化しない。次に $-4^\circ$ から $-2^\circ$ への逆向きの変角を行うと、摩擦力の向きが変わるため天秤出力は負側へと移り、引続く $-2^\circ$ から $4^\circ$ への迎角増加の過程ではその値はほぼ一定である。そして $4^\circ$ から $2^\circ$ への変角を行うことにより、再度摩擦力の向きが逆転して、天秤出力は始めの $0^\circ$ から $-2^\circ$ の変角によるモーメントの値に戻る。

この配管干渉力の原因は迎角をとることによって、ジャーナル式継手の外側軸受と中空軸間の摩擦力により高圧ゴムホースが捩れ、結果としてその力が天秤より出力されていると考えられ、又、高圧ゴムホースの捩れの原因となっている摩擦力は、ほぼ一定の値と推測される。このヒステリシスによる干渉を防ぐ対策としては、風洞試験時に常に迎角( $\alpha$ )の回転の方向を一定に定めて迎角設定を行えば、そのピッチング・モーメントに対する配管干渉量( $\Delta M_y$ )は天秤精度内で抑止できることになる。

(c)の場合は、天秤上に模型重量を模擬した荷重

( $W_M = 1967.2\text{ N}$ )を乗せ、装置に圧力( $P_s = 16.6\text{ bar}$ )を加えた状態で、図-3に示した軸力方向( $F_A$ )に $0 \sim 784.5\text{ N}$ まで $196.13\text{ N}$ 毎に較正荷重を与え、それぞれの場合について天秤三分力の出力を測定した。

(c')は上記と同じ状態で、垂直力方向( $F_N$ )に $0 \sim 7845.3\text{ N}$ まで $1961.3\text{ N}$ 毎に較正荷重を与え、それぞれの場合について天秤三分力の出力を測定した。

図-13に、(c)の場合の天秤三分力の出力を示した。横軸は較正荷重( $W_A$ )を、縦軸はそれによる天秤三分力の出力(配管干渉量、 $\Delta F$ )を示し、図中右端の縦線は各分力の天秤精度を示す。

これによれば(c)の場合、配管干渉に最も敏感な軸力( $F_A$ )に対する配管干渉量( $\Delta F_A = F_A - W_A$ )は較正荷重( $W_A$ )の $0.06\%$ であり、一応の目安であった天秤精度の $0.1\%$  FSを下回っている。他の二分力についても同様である。

図-14に、(c')の場合における天秤三分力の出力を示した。横軸は較正荷重( $W_N$ )を、縦軸はそれによる天秤三分力の出力(配管干渉量、 $\Delta F$ )を示し、図中右端の縦線は各分力の天秤精度を示す。

図-14によれば、垂直力方向の較正荷重に対する軸力への配管干渉量( $\Delta F_A$ )は、較正荷重の最大値

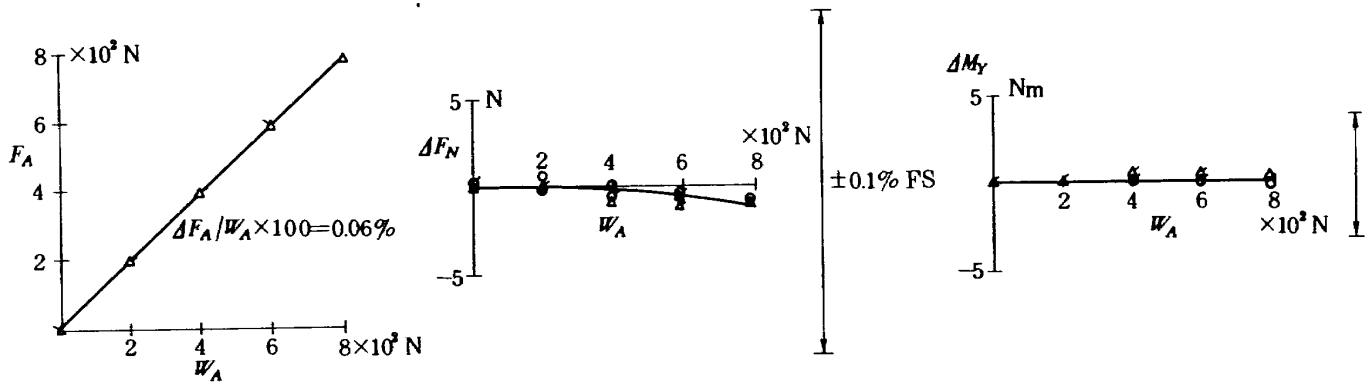


図-13

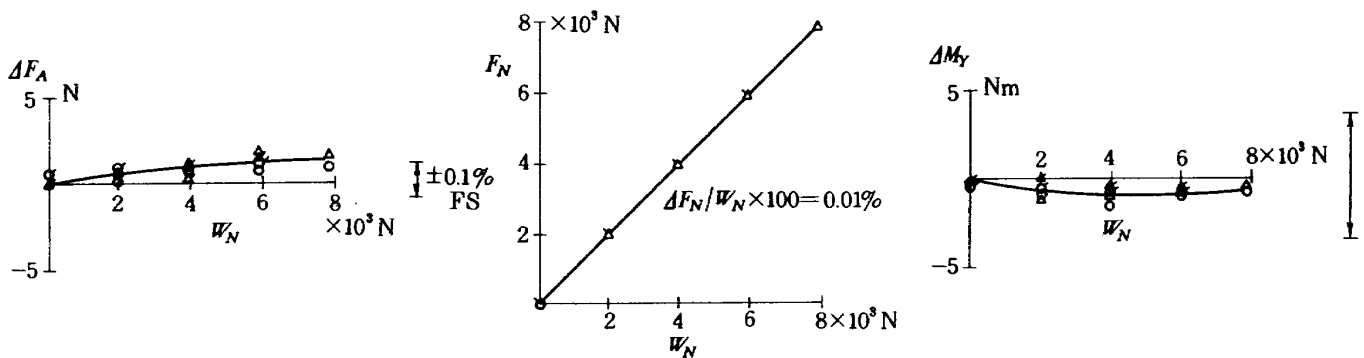


図-14

の近くで天秤精度を越える傾向が見られるが、較正荷重が5000 N程度までであれば天秤精度内である。

また、垂直力 ( $F_N$ ) が5000 Nを越える場合については、干渉量は加えた荷重 ( $W_N$ ) に比例するとして補正すれば良い。他の二分力への干渉は十分に小さい。

### 8.3 通風時特性試験及び試験結果

通風時の特性試験は、高圧ゴムホース型の装置に対して、下記に示す三項目のそれぞれの場合について、模型の迎角を  $\alpha = 0^\circ$  に設定した状態で、通風による試験を行ない、その結果の比較を試みた。

- B-1. 模型に装置が取付けてない場合の天秤出力
- B-2. 模型に装置が取付いた場合の天秤出力
- B-3. 模型に装置が取付き、それに圧力が加わった状態での天秤出力

尚、この場合の模型は、主翼にナセルを取り付けていない形態 (clean wing 形態) で、装置を模型に取り付けた場合は、ナセル取り付け部で盲板をし、加圧状態でも高圧空気の吹き出しはしないようにしてある。

この結果については、図-15にB-1の状態の試験結果を基準として、B-2の状態の試験結果のそれに対する空力係数の差 ( $\Delta C_D$ ,  $\Delta C_L$ ,  $\Delta C_m$ ) を示した。同様に、図-16にB-1の状態の試験結果を基準として、B-3の場合の空力係数の差 ( $\Delta' C_D$ ,  $\Delta' C_L$ ,  $\Delta' C_m$ ) を示した。

横軸はマッハ数 ( $M_\infty$ ) を示し、縦軸は模型の迎角が  $0^\circ$  の時の各空力係数の差  $\Delta C_D$ ,  $\Delta C_L$ ,  $\Delta C_m$  を示した。図中の曲線は、天秤精度 (最大容量の0.1%) の値を、「飛鳥」7%半截模型の場合における各空力係数の値に換算したものを示した。

これによれば各マッハ数 ( $M_\infty$ ) における、ピッチング・モーメント係数の差は天秤精度内に入っている。しかし抗力係数と揚力係数の差については多少はみ出す傾向がみられるが、これらの差も天秤精度の二倍の範囲には収まっており、実際は天秤精度以外の要因も含まれると思われるが、その差を構成する個々の値が、天秤精度一杯で測定されたと仮定して考えると、その差は天秤精度の倍の誤差水準となるはずである。よって配管干渉はあるにしても、その大きさとしては天秤精度の値とほぼ同じと考えて

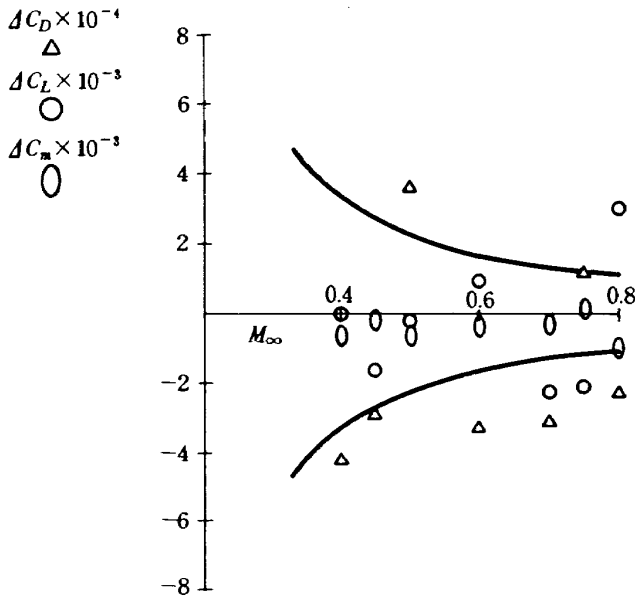


図-15

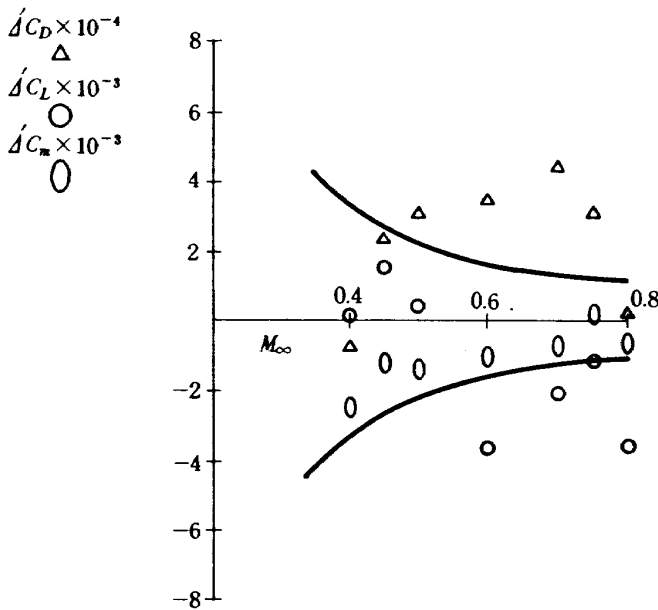


図-16

良いであろう。

この問題に対処するために、その干渉量を天秤精度以下に押さえるにはどうするかは今後の検討課題である。

## 9. ま と め

「飛鳥」の7%半截模型による高速風洞試験において、三種類の配管干渉除去装置の試作を行い、特性予備試験によって、その中の一つである高圧ゴムホース式を選び出した。次にそれについて無風時と

通風時の特性試験を行い、それぞれの場合について装置による天秤に対する干渉量の測定を試みた。

その結果、次のことがわかった。

### 無風時特性試験

1. 配管内圧効果試験において、最も干渉力に敏感と考えられる軸力 ( $F_A$ ) に対し、配管の内圧の変化による干渉量は少ない。
2. 迎角設定効果試験では、ピッチング・モーメント ( $M_Y$ ) の出力に、迎角変化に伴うヒステリシスが見られた。しかし、これに対しては迎角設定の方向を一定とすることで避けられる。
3. 荷重試験においては垂直力方向への荷重が5000N以上で軸力 ( $F_A$ ) への干渉力が天秤精度を越える傾向が窺えるが、これに対する補正は可能である。

### 通風時特性試験

この試験では、模型に装置を取り付けていない場合の通風による試験結果を基準として、他の状態におけるそれとの比較を試みた。その結果によれば、

1. 各マッハ数 ( $M_\infty$ ) における、ピッチング・モーメントの差 ( $\Delta M_Y$ ) の値は天秤精度内である。
2. 抗力係数と揚力係数の差 ( $\Delta C_D$ ,  $\Delta C_L$ ) については、そのほとんどの値が天秤精度の二倍の範囲に収まっている。しかしそれを越える分についても、最大のところで天秤精度の0.3%程度には収まっている。

尚、本装置の特長として風洞試験作業時の取り扱いが極めて容易である点を強調したい。

今後の課題としては、8.3の末尾に述べた問題に対処することを進めるとともに、全機模型による風洞試験などに対応できるよう、さらに干渉力の少ない装置の開発を行うことが必要である。又、それについて特性試験を行って、その装置の特性(干渉量と干渉の再現性等)を把握する必要があると思われる。

本試験を行うにあたり御協力頂いた、遷音速風洞計測研究室及び遷音速風洞制御研究室の方々にお礼を申し上げる。又、本装置の実験にあたっては、川崎重工業株式会社STOL開発室の方々の協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。



参 考 文 献

- 1) 空気力学第二部；2m \* 2m 遷音速風洞の計画と構造，航技研報告 TR-25 (1962, 3)
- 2) 浅井圭介他；第34回風洞研究会議前刷 (1985, 5)
- 3) 中村正剛他；航技研 2m \* 2m 遷音速風洞のデータ処理，航技研報告 TR-811 (1985, 5)
- 4) 野中修他；偏心ジャーナル空気継手の試作
- 航技研報告 TR-914 (1986, 9)
- 5) 小池陽他；第34回風洞研究会議前刷 (1986, 5)
- 6) 鈴木正光他；高圧導管用金属伸縮管について航技研資料 TM-478 (1982, 10)
- 7) 小栗富士男他；標準機械設計図表便覧
- 8) 細江信幸他；特許出願，動力付半截模型風試装装置，出願番号，62-291555

---

## 航空宇宙技術研究所資料588号

昭和63年6月発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺東町7-44-1  
電話 三鷹(0422)47-5911(大代表) ㊦182

印刷所 株式会社 共 進  
東京都杉並区久我山5-6-17

---

