

UDC 533.6.011.3/.5:
533.6.013.417:
629.73.018.74

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-205

自由飛行模型 FFM-10 の動安定微係数
の推定について

河崎俊夫・河本 巖

1971 年 7 月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 資 料

TM-160	極超音速風洞計測装置について	1969年7月	長洲秀夫, 吉沢昭 松崎貴至
TM-161	燃料蒸発管に関する研究(Ⅱ) —加熱蒸発管の燃料未蒸発分捕集—	1969年8月	鈴木邦男, 田丸卓 乙幡安雄
TM-162	境界層内圧力変動および板の振動変位の測定(I)	1969年9月	藤森義典, 山崎浩
TM-163	ある双発プロペラ STOL 機の動安定風洞試験	1969年9月	別府護郎, 鈴木友昭
TM-164	ブレードのフラッピング運動をバネで拘束したロータのピッチダンピングについて	1969年10月	別府護郎, 岡遠一
TM-165	フェノール系複合材の環境試験結果	1969年11月	古田敏康, 野口義男
TM-166	ガスタービン用缶形燃焼器における燃焼領域のガス組成と燃焼状態	1969年11月	大塚貞吉, 齋藤隆吉 堀内正司, 本間幸吉 宮坂彰
TM-167	YS-11 A-300型輸送機の胴体疲労試験 —中部胴体前方大型貨物口部および後方乗降口部付近—	1970年1月	竹内和之, 川島矩一郎 熊倉郁夫, 松岡陽一
TM-168	ダンピングメータの試作	1970年2月	柳沢三憲
TM-169	ジェットエンジン燃焼器出口ガス流の乱れの測定(I)	1970年2月	相波哲朗
TM-170	J Rエンジンの燃焼器におきた振動燃焼	1970年2月	鈴木邦男, 石井浅五郎 山中国雅
TM-171	缶形燃焼器(低圧, 低温系)試験設備による航空計器の氷結(着氷)試験	1970年3月	鈴木邦男, 相波哲朗 本間幸吉, 服部宣夫
TM-172	自動追尾型風向風速測定器	1970年3月	川幡長勝, 中谷輝臣
TM-173	F A-200 改機の動安定微係数	1970年3月	遠藤浩, 林良生 海老沼幸成, 中谷輝臣
TM-174	遷音速風洞動安定測定装置の構造と作動	1970年4月	小橋安次郎, 河野長正文 西武徳, 宮沢政文
TM-175	NAL-16-31D型ロケットの研究試作	1970年5月	五代富文, 近藤洋史 中井暎一, 田畑浄治
TM-176	非対称自由流線の一計算法	1970年5月	高橋 侖
TM-177	小型固体ロケットモータの振動燃焼実験 —パルス法による中周波振動燃焼の研究—	1970年5月	五代富文, 伊藤克弥 西村久男, 湯沢克宜 柴藤羊二
TM-178	大型低速風洞動安定微係数測定装置	1970年5月	広岡貫一, 遠藤浩 戸田亘洋, 岡部祐二郎
TM-179	風洞天秤の試作	1970年5月	金成正好, 北出大三
TM-180	ジェットエンジン燃焼出口ガス流の乱れの測定(Ⅱ) —レーザのドップラ効果を利用する方法—	1970年5月	相波哲朗
TM-181	航空機の乗り心地について	1970年6月	幸尾治朗
TM-182	排気系障害板の模型実験	1970年9月	田辺義一
TM-183	ロケット模型の大型低速風洞試験	1970年9月	近藤洋史, 高橋宏 桑野尚明
TM-184	金属線へ衝突する液滴の現象	1970年9月	田丸卓, 乙幡安雄
TM-185	推進エンジン用空気取入口の予備実験	1970年9月	近藤博, 石賀保正
TM-186	NAL-25-31 型ロケットの試作と飛しょう試験	1970年11月	宇宙研究グループ

自由飛行模型 FFM-10 の動安定微係数の推定について*

河崎俊夫**・河本 巖***

On the Estimation of Dynamic Stability Derivatives for the Free Flight Model FFM-10

By Toshio KAWASAKI and Iwao KAWAMOTO

The present paper deals with the method of estimation of aerodynamic stability derivatives, especially dynamic stability derivatives, for the free flight model FFM-10, and presents these estimated results.

The method we employed is mostly based on the so-called apparent mass method. However, according to the original method (ref. 5), the aerodynamic force acting on each component of a vehicle is estimated by the slender body theory; as a result, stability derivatives of the whole vehicle composed of these component values are thought to have the same accuracy as slender body theory, and are independent of the Mach number. In order to avoid this defect, we employed a supersonic linearized theory in calculating the aerodynamic force acting on wing component whose contribution to the derivatives for FFM-10 is most important.

Moreover, improvement of precision for these derivatives is attempted by taking the result of static wind tunnel tests into account.

1. 緒 言

飛しょう体の空力安定微係数のうち静的安定微係数の理論的推定方法についてはかなり信頼できる計算方法が報告されている¹⁾²⁾。しかしながら動安定微係数に関しては理論的な推定方法はまだ信頼できる資料を提供しうるとはいえないようである。

自由飛行模型 FFM-10 の動安定微係数に関しても当所 2m×2m 遷音速風洞で風洞試験が行なわれ別に報告されているが³⁾⁴⁾、供試模型の重量などのため、必ずしも実験精度は十分でなかったようである。

本資料は自由飛行模型 FFM-10 の動的風洞試験結果を補い、設計段階において運動性能の計算に必要とされた諸安定微係数のうち、特に動安定微係数の値を提供することを目的として計算された推定方法についてまとめたものである。

計算に用いた方法は apparent mass 法⁵⁾を基としている。この推定方法は文献 5) に述べられているが、そこでは機体各成分に作用する空気力は細長体理論によっており、したがってそれらを合成した結果もほぼ

細長体理論程度の精度を有するものと思われる。

したがってこの方法による安定微係数はマッハ数に依存しなくなる。このような不都合を除くために FFM-10 に本方法を適用するにあたっては、主翼部に作用する空気力の大きさの見積りに、翼単独に対して超音速線型理論⁶⁾を用いることによりマッハ数の影響を取り入れ、さらに静的な風洞試験結果を一部利用して、精度の向上を計った。その結果全機に対する安定微係数はより合理的なものになることが予想される。

2. 記 号

A ; アスペクト比
 $A_{ij}, B_{ij}, C_{ij}, D_{ij}$; 慣性係数等, 文中で定義
 a ; 胴体半径
 b ; スパン
 c ; 翼弦長
 $C.G.$; 重心
 C_l ; 横揺モーメント係数
 C_m ; 縦揺モーメント係数
 C_n ; 偏揺モーメント係数
 C_Y ; 横力係数
 C_Z ; 垂直力係数
 E ; 第2種完全楕円積分

* 昭和46年2月13日受付

** 宇宙研究グループ

*** 空気力学第二部

K ; 第 1 種完全楕円積分

$$k; \sqrt{1 - \left(\frac{\beta A}{4}\right)^2}$$

l ; 基準長

M ; マッハ数

m_{ij} ; apparent mass, 文中で定義

n ; 垂直外向き単位ベクトル

p ; 横揺れ角速度

q ; 縦揺れ角速度

r ; 偏揺れ角速度

S ; 基準面積

s ; 半スパン

d ; 機体断面にそう長さ

U ; 飛行速度

v_1, v_2 ; 断面の Y および Z 方向速度成分

(X, Y, Z) ; 機体軸

(x, y, z) ; 機体先端を原点とした座標

(x', y', z') ; 機体成分先端を原点とした座標

α ; 迎角

β ; 横すべり角または $\sqrt{M^2 - 1}$

η ; 修正係数

ρ ; 空気密度

ϕ ; 速度ポテンシャル

添字

b ; 後端

B ; 胴体, 必要に応じ $B1, B2$ と区別する。

c ; 成分元, N, B, W, T の総称

LINEAR; 線型理論

N ; 頭部

n ; 先端

R ; 基準量

SBT; 細長体理論

T ; 垂直尾翼

W ; 主翼部, 特に区別する必要があるときは W で翼単独, WB で翼胴結合体を示す。

'; 成分値

-; 各成分の代表長, 代表面積を用いた値

安定微係数の定義;

いずれも $\alpha=0$ あるいは $\beta=0$ での値をとるものとする。

$$C_{z\alpha} = \frac{\partial C_z}{\partial \alpha} \quad C_{zq} = \frac{\partial C_z}{\partial \left(\frac{ql_R}{2U}\right)}$$

$$C_{z\dot{\alpha}} = \frac{\partial C_z}{\partial \left(\frac{\dot{\alpha}l_R}{2U}\right)} \quad C_{z\dot{q}} = \frac{\partial C_z}{\partial \left(\frac{\dot{q}l_R^2}{2U^2}\right)}$$

$$C_{m\alpha} = \frac{\partial C_m}{\partial \alpha} \quad C_{mq} = \frac{\partial C_m}{\partial \left(\frac{ql_R}{2U}\right)}$$

$$C_{m\dot{\alpha}} = \frac{\partial C_m}{\partial \left(\frac{\dot{\alpha}l_R}{2U}\right)} \quad C_{m\dot{q}} = \frac{\partial C_m}{\partial \left(\frac{\dot{q}l_R^2}{2U^2}\right)}$$

$$C_{Y\beta} = \frac{\partial C_Y}{\partial \beta} \quad C_{Yr} = \frac{\partial C_Y}{\partial \left(\frac{rl_R}{2U}\right)}$$

$$C_{Y\dot{\beta}} = \frac{\partial C_Y}{\partial \left(\frac{\dot{\beta}l_R}{2U}\right)} \quad C_{Y\dot{r}} = \frac{\partial C_Y}{\partial \left(\frac{\dot{r}l_R^2}{2U^2}\right)}$$

$$C_{n\beta} = \frac{\partial C_n}{\partial \beta} \quad C_{nr} = \frac{\partial C_n}{\partial \left(\frac{rl_R}{2U}\right)}$$

$$C_{n\dot{\beta}} = \frac{\partial C_n}{\partial \left(\frac{\dot{\beta}l_R}{2U}\right)} \quad C_{n\dot{r}} = \frac{\partial C_n}{\partial \left(\frac{\dot{r}l_R^2}{2U^2}\right)}$$

$$C_{lp} = \frac{\partial C_l}{\partial \left(\frac{pl_R}{2U}\right)} \quad C_{l\dot{p}} = \frac{\partial C_l}{\partial \left(\frac{\dot{p}l_R^2}{2U^2}\right)}$$

$$C_{Yp} = \frac{\partial C_Y}{\partial \left(\frac{pl_R}{2U}\right)} \quad C_{n\dot{p}} = \frac{\partial C_n}{\partial \left(\frac{\dot{p}l_R}{2U}\right)}$$

$$C_{l\beta} = \frac{\partial C_l}{\partial \beta} \quad C_{lr} = \frac{\partial C_l}{\partial \left(\frac{rl_R}{2U}\right)}$$

3. Apparent mass method⁵⁾

計算の基礎を細長体理論におく。横断流のポテンシャルを ϕ として, v_1, v_2 , および p の単位量当りのポテンシャルを ϕ_1, ϕ_2 および ϕ_3 とすると

$$\phi = v_1\phi_1 + v_2\phi_2 + p\phi_3 \quad (3.1)$$

また慣性係数 A_{ij} を次のように置く。

$$\begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{m_{11}}{\rho S_R} & \frac{m_{12}}{\rho S_R} & \frac{m_{13}}{\rho S_R l_R} \\ \frac{m_{21}}{\rho S_R} & \frac{m_{22}}{\rho S_R} & \frac{m_{23}}{\rho S_R l_R} \\ \frac{m_{31}}{\rho S_R l_R} & \frac{m_{32}}{\rho S_R l_R} & \frac{m_{33}}{\rho S_R l_R^2} \end{vmatrix} \quad (3.2)$$

ここで

$$m_{ij} = -\rho \oint \phi_i \frac{\partial \phi_j}{\partial n} \cdot d\delta, \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (3.3)$$

式 (3.3) の m_{ij} に関しては各種の断面形に対する値が文献 5) にまとめられている。これらを巻末に引

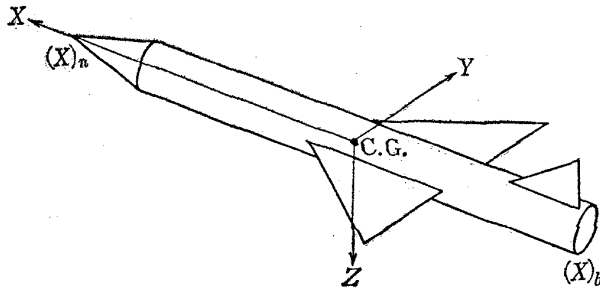


図1 機体軸

用しておく。

さらに

$$B_{ij} = \int_{\left(\frac{X}{l_R}\right)_b}^{\left(\frac{X}{l_R}\right)_n} A_{ij} d\left(\frac{X}{l_R}\right) \quad (3.4)$$

$$C_{ij} = \int_{\left(\frac{X}{l_R}\right)_b}^{\left(\frac{X}{l_R}\right)_n} A_{ij} \cdot \frac{X}{l_R} \cdot d\left(\frac{X}{l_R}\right) \quad (3.5)$$

$$D_{ij} = \int_{\left(\frac{X}{l_R}\right)_b}^{\left(\frac{X}{l_R}\right)_n} A_{ij} \left(\frac{X}{l_R}\right)^2 d\left(\frac{X}{l_R}\right) \quad (3.6)$$

ここで座標 X は重心より頭部に向う方向を正にとる。これら諸量を用いて安定微係数は式 (3.7)~式 (3.61) のように記述できる。これらの誘導に関しては文献 5) で詳細に記されており、ここではその結果のみを引用しておく。

α, β, p, q および r 微係数

$$C_{z\alpha} = -4 \left(\frac{l_R \dot{U}}{2U^2} \right) B_{22} - 2(A_{22})_b - 4 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) B_{12} \quad (3.7)$$

$$C_{z\beta} = -4 \left(\frac{l_R \dot{U}}{2U^2} \right) B_{12} - 2(A_{12})_b - 4 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) B_{11} \quad (3.8)$$

$$C_{zp} = -4(A_{23})_b - 4\alpha B_{12} - 4\beta B_{11} - 16 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) B_{13} + 8 \left(\frac{l_R q}{2U} \right) C_{12} - 8 \left(\frac{l_R r}{2U} \right) C_{11} \quad (3.9)$$

$$C_{zq} = 4(A_{22})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b + 8 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) C_{12} \quad (3.10)$$

$$C_{zr} = -4(A_{12})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b - 8 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) C_{11} \quad (3.11)$$

$$C_{m\alpha} = 4 \left(\frac{l_R \dot{U}}{2U^2} \right) C_{22} + 2 \left\{ B_{22} + (A_{22})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b \right\} + 4 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) C_{12} \quad (3.12)$$

$$C_{m\beta} = 4 \left(\frac{l_R \dot{U}}{2U^2} \right) C_{12} + 2 \left\{ B_{12} + (A_{12})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b \right\}$$

$$+ 4 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) C_{11} \quad (3.13)$$

$$C_{mp} = 4 \left\{ B_{23} + (A_{23})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b \right\} + 4\alpha C_{12} + 4\beta C_{11} + 16 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) C_{13} - 8 \left(\frac{l_R q}{2U} \right) D_{12} + 8 \left(\frac{l_R r}{2U} \right) D_{11} \quad (3.14)$$

$$C_{mq} = -4 \left\{ (A_{22})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b^2 + C_{22} \right\} - 8 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) D_{12} \quad (3.15)$$

$$C_{mr} = 4 \left\{ (A_{12})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b^2 + C_{12} \right\} + 8 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) D_{11} \quad (3.16)$$

$$C_{Y\alpha} = -4 \left(\frac{l_R \dot{U}}{2U^2} \right) B_{12} - 2(A_{12})_b + 4 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) B_{22} \quad (3.17)$$

$$C_{Y\beta} = -4 \left(\frac{l_R \dot{U}}{2U^2} \right) B_{11} - 2(A_{11})_b + 4 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) B_{12} \quad (3.18)$$

$$C_{Yp} = -4(A_{13})_b + 4\alpha B_{22} + 4\beta B_{12} + 16 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) B_{23} - 8 \left(\frac{l_R q}{2U} \right) C_{22} + 8 \left(\frac{l_R r}{2U} \right) C_{12} \quad (3.19)$$

$$C_{Yq} = 4(A_{12})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b - 8 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) C_{22} \quad (3.20)$$

$$C_{Yr} = -4(A_{11})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b + 8 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) C_{12} \quad (3.21)$$

$$C_{n\alpha} = -4 \left(\frac{l_R \dot{U}}{2U^2} \right) C_{12} - 2 \left\{ B_{12} + (A_{12})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b \right\} + 4 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) C_{22} \quad (3.22)$$

$$C_{n\beta} = -4 \left(\frac{l_R \dot{U}}{2U^2} \right) C_{11} - 2 \left\{ B_{11} + (A_{11})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b \right\} + 4 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) C_{12} \quad (3.23)$$

$$C_{np} = -4 \left\{ B_{13} + (A_{13})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b \right\} + 4\alpha C_{22} + 4\beta C_{12} + 16 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) C_{23} - 8 \left(\frac{l_R q}{2U} \right) D_{22} + 8 \left(\frac{l_R r}{2U} \right) D_{12} \quad (3.24)$$

$$C_{nq} = 4 \left\{ (A_{12})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b^2 + C_{12} \right\} - 8 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) D_{22} \quad (3.25)$$

$$C_{nr} = -4 \left\{ (A_{11})_b \left(\frac{X}{l_R} \right)_b^2 + C_{11} \right\} + 8 \left(\frac{l_R p}{2U} \right) D_{12} \quad (3.26)$$

$$C_{l\alpha} = -4 \left(\frac{l_R \dot{U}}{2U^2} \right) B_{23} - 2(A_{23})_b + 4\alpha B_{12}$$

$$+2\beta(B_{11}-B_{22})+4\left(\frac{l_{Rp}}{2U}\right)B_{13}-8\left(\frac{l_{Rq}}{2U}\right)C_{13}$$

$$+4\left(\frac{l_{Rr}}{2U}\right)(C_{11}-C_{22}) \quad (3.27)$$

$$C_{i\beta}=-4\left(\frac{l_{R\dot{U}}}{2U^2}\right)B_{13}-2(A_{13})_b-4\beta B_{12}$$

$$+2\alpha(B_{11}-B_{22})-4\left(\frac{l_{Rp}}{2U}\right)B_{23}-8\left(\frac{l_{Rr}}{2U}\right)C_{12}$$

$$-4\left(\frac{l_{Rq}}{2U}\right)(C_{11}-C_{22}) \quad (3.28)$$

$$C_{i\dot{p}}=-4(A_{33})_b+4\alpha B_{13}-4\beta B_{23}$$

$$-8\left(\frac{l_{Rq}}{2U}\right)C_{13}-8\left(\frac{l_{Rr}}{2U}\right)C_{23} \quad (3.29)$$

$$C_{i\dot{q}}=4(A_{23})_b\left(\frac{X}{l_R}\right)_b-8\alpha C_{12}-4\beta(C_{11}-C_{22})$$

$$-8\left(\frac{l_{Rp}}{2U}\right)C_{13}+16\left(\frac{l_{Rq}}{2U}\right)D_{12}$$

$$-8\left(\frac{l_{Rr}}{2U}\right)(D_{11}-D_{22}) \quad (3.30)$$

$$C_{i\dot{r}}=-4(A_{13})_b\left(\frac{X}{l_R}\right)_b-8\beta C_{13}+4\alpha(C_{11}-C_{22})$$

$$-8\left(\frac{l_{Rp}}{2U}\right)C_{23}-16\left(\frac{l_{Rr}}{2U}\right)D_{12}$$

$$-8\left(\frac{l_{Rq}}{2U}\right)(D_{11}-D_{22}) \quad (3.11)$$

$\alpha, \beta, \dot{p}, \dot{q}, \dot{r}$ および \dot{U} 微係数

$$C_{z\dot{U}}=-4\alpha B_{22}-4\beta B_{12} \quad (3.32)$$

$$C_{z\dot{\alpha}}=-4B_{22} \quad (3.33)$$

$$C_{z\dot{\beta}}=-4B_{12} \quad (3.34)$$

$$C_{z\dot{p}}=-4B_{23} \quad (3.35)$$

$$C_{z\dot{q}}=4C_{22} \quad (3.36)$$

$$C_{z\dot{r}}=-4C_{12} \quad (3.37)$$

$$C_{m\dot{U}}=4\alpha C_{22}+4\beta C_{12} \quad (3.38)$$

$$C_{m\dot{\alpha}}=4C_{22} \quad (3.39)$$

$$C_{m\dot{\beta}}=4C_{12} \quad (3.40)$$

$$C_{m\dot{p}}=4C_{23} \quad (3.41)$$

$$C_{m\dot{q}}=-4D_{22} \quad (3.42)$$

$$C_{m\dot{r}}=4D_{12} \quad (3.43)$$

$$C_{Y\dot{U}}=-4\alpha B_{12}-4\beta B_{11} \quad (3.44)$$

$$C_{Y\dot{\alpha}}=-4B_{12} \quad (3.45)$$

$$C_{Y\dot{\beta}}=-4B_{11} \quad (3.46)$$

$$C_{Y\dot{p}}=-4B_{13} \quad (3.47)$$

$$C_{Y\dot{q}}=4C_{12} \quad (3.48)$$

$$C_{Y\dot{r}}=-4C_{11} \quad (3.49)$$

$$C_{n\dot{U}}=-4\alpha C_{12}-4\beta C_{11} \quad (3.50)$$

$$C_{n\dot{\alpha}}=-4C_{13} \quad (3.51)$$

$$C_{n\dot{\beta}}=-4C_{11} \quad (3.52)$$

$$C_{n\dot{p}}=-4C_{13} \quad (3.53)$$

$$C_{n\dot{q}}=4D_{12} \quad (3.54)$$

$$C_{n\dot{r}}=-4D_{11} \quad (3.55)$$

$$C_{i\dot{U}}=-4\alpha B_{23}-4\beta B_{13} \quad (3.56)$$

$$C_{i\dot{\alpha}}=-4B_{23} \quad (3.57)$$

$$C_{i\dot{\beta}}=-4B_{13} \quad (3.58)$$

$$C_{i\dot{p}}=-4B_{23} \quad (3.59)$$

$$C_{i\dot{q}}=4C_{23} \quad (3.60)$$

$$C_{i\dot{r}}=-4C_{13} \quad (3.61)$$

これらの方法を FFM-10 に適用するにあたって、各成分すなわち頭部、胴体、主翼および垂直尾翼とに分けて考える。したがって上記 $A_{ij}, B_{ij}, C_{ij}, D_{ij}$ も各成分ごとに分解した方が便利である。

4. $A_{ij}, B_{ij}, C_{ij}, D_{ij}$ の飛しょう体成分元への分解

FFM-10 を対象として各成分元へ分解するにあたって、その平面形は頭部(N), 前部胴体(B1), 主翼(W) および後部胴体(B2) よりなるものとする*。次に FFM-10 のこれら成分元では $i \neq j$ で $A_{ij}=0$ であり、したがって $i=j$ の場合だけを考えると十分である。ここで各成分ごとの $A_{ij}, B_{ij}, C_{ij}, D_{ij}$ を計算する場合、座標のとり方を X とは逆向きに x 方向(頭部より尾部に向う方向を正)を新しく定義した方が便利である。またモーメントの基準点を x_R とすると式(3.4)~式(3.6)は次のようにかける。

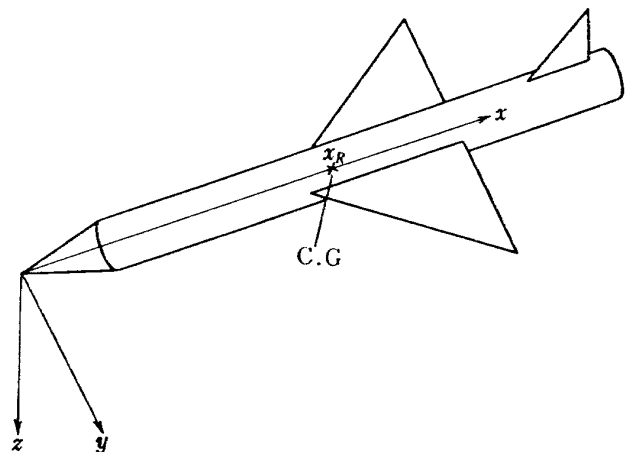


図2 (x, y, z) 座標

* ここでは一応縦の安定微係数を考えているので垂直尾翼の寄与はなく、したがって成分元に入れない。横の安定微係数を考えるときは C_{ip} を除き主翼の寄与はない。

$$B_{ij} = \int_{\left(\frac{x}{l_R}\right)_n}^{\left(\frac{x}{l_R}\right)_b} A_{ij} d\left(\frac{x}{l_R}\right) \quad (4.1)$$

$$C_{ij} = - \int_{\left(\frac{x}{l_R}\right)_n}^{\left(\frac{x}{l_R}\right)_b} A_{ij} \left(\frac{x-x_R}{l_R}\right) d\left(\frac{x}{l_R}\right) \quad (4.2)$$

$$D_{ij} = \int_{\left(\frac{x}{l_R}\right)_n}^{\left(\frac{x}{l_R}\right)_b} A_{ij} \left(\frac{x-x_R}{l_R}\right)^2 d\left(\frac{x}{l_R}\right) \quad (4.3)$$

A_{ii} の分解;

$i=1, 2$

$$A_{ii} = (\bar{A}_{ii})_{N,b} \cdot \frac{S_N}{S_R}, \quad (\text{Nose}) \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} A_{ii} &= [(A_{ii})_{B1} - (A_{ii})_{N,b}] + (A_{ii})_{N,b} \\ &= (\Delta \bar{A}_{ii})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} + (\bar{A}_{ii})_{N,b} \cdot \frac{S_N}{S_R}, \quad (\text{Body 1}) \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} A_{ii} &= [(A_{ii})_W - (A_{ii})_{B1,b}] + (A_{ii})_{B1,b} \\ &= (\Delta \bar{A}_{ii})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} + (\Delta \bar{A}_{ii})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \\ &\quad + (\bar{A}_{ii})_{N,b} \cdot \frac{S_N}{S_R}, \quad (\text{Wing}) \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} A_{ii} &= [(A_{ii})_{B2} - (A_{ii})_W,b] + (A_{ii})_W,b \\ &= (\Delta \bar{A}_{ii})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} + (\Delta \bar{A}_{ii})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} + (\Delta \bar{A}_{ii})_{B1} \\ &\quad \times \frac{S_{B1}}{S_R} + (\bar{A}_{ii})_{N,b} \cdot \frac{S_N}{S_R}, \quad (\text{Body 2}) \end{aligned} \quad (4.7)$$

$i=3$

$$A_{33} = (\bar{A}_{33})_{N,b} \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R}\right)^2, \quad (\text{Nose}) \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} A_{33} &= (\Delta \bar{A}_{33})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R}\right)^2 \\ &\quad + (\bar{A}_{33})_{N,b} \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R}\right)^2, \quad (\text{Body 1}) \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} A_{33} &= (\Delta \bar{A}_{33})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R}\right)^2 + (\Delta \bar{A}_{33})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \\ &\quad \times \left(\frac{l_{B1}}{l_R}\right)^2 + (\bar{A}_{33})_{N,b} \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R}\right)^2 \\ &\quad (\text{Wing}) \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned} A_{33} &= (\Delta \bar{A}_{33})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R}\right)^2 + (\Delta \bar{A}_{33})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \\ &\quad \times \left(\frac{l_W}{l_R}\right)^2 + (\Delta \bar{A}_{33})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R}\right)^2 \\ &\quad + (\bar{A}_{33})_{N,b} \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R}\right)^2, \quad (\text{Body 2}) \end{aligned} \quad (4.11)$$

ここでは (-) 各成分の代表長, 代表面積を用いた値

を示し, n, b はそれぞれ先端, 後端を示す添字である。

B_{ii} の分解

式 (4.4)~式 (4.11) を式 (4.1) に代入する。

$i=1, 2$

$$\begin{aligned} B_{ii} &= (\Delta \bar{B}_{ii})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} + (\Delta \bar{B}_{ii})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \\ &\quad + (\Delta \bar{B}_{ii})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} + (\Delta \bar{B}_{ii})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R} \end{aligned} \quad (4.12)$$

$i=3$

$$\begin{aligned} B_{33} &= (\Delta \bar{B}_{33})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R}\right)^3 + (\Delta \bar{B}_{33})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \\ &\quad \times \left(\frac{l_{B1}}{l_R}\right)^3 + (\Delta \bar{B}_{33})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R}\right)^3 \\ &\quad + (\Delta \bar{B}_{33})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R}\right)^3 \end{aligned} \quad (4.13)$$

ここで

$$(\Delta \bar{B}_{ii})_c = \int_{c,n}^{c,b} (\bar{A}_{ii})_c \cdot d\left(\frac{x}{l_c}\right) \quad (4.14)$$

C_{ii} の分解

式 (4.4)~式 (4.11) を式 (4.2) に代入する。

$i=1, 2$

$$\begin{aligned} C_{ii} &= (\Delta \bar{C}_{ii})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R}\right)^2 + (\Delta \bar{C}_{ii})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \\ &\quad \times \left(\frac{l_{B1}}{l_R}\right)^2 + (\Delta \bar{C}_{ii})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R}\right)^2 + (\Delta \bar{C}_{ii})_{B2} \\ &\quad \times \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R}\right)^2 \end{aligned} \quad (4.15)$$

$i=3$

$$\begin{aligned} C_{33} &= (\Delta \bar{C}_{33})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R}\right)^4 + (\Delta \bar{C}_{33})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \\ &\quad \times \left(\frac{l_{B1}}{l_R}\right)^4 + (\Delta \bar{C}_{33})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R}\right)^4 \\ &\quad + (\Delta \bar{C}_{33})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R}\right)^4 \end{aligned} \quad (4.16)$$

ここで

$$(\Delta \bar{C}_{ii})_c = - \int_{c,n}^{c,b} (\bar{A}_{ii})_c \cdot \left(\frac{x-x_R}{l_c}\right) \cdot d\left(\frac{x}{l_c}\right) \quad (4.17)$$

D_{ii} の分解

式 (4.4)~式 (4.11) を式 (4.3) に代入する。

$i=1, 2$

$$\begin{aligned} D_{ii} &= (\Delta \bar{D}_{ii})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R}\right)^3 + (\Delta \bar{D}_{ii})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \\ &\quad \times \left(\frac{l_{B1}}{l_R}\right)^3 + (\Delta \bar{D}_{ii})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R}\right)^3 \\ &\quad + (\Delta \bar{D}_{ii})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R}\right)^3 \end{aligned} \quad (4.18)$$

$i=3$

$$D_{33} = (\Delta \bar{D}_{33})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^5 + (\Delta \bar{D}_{33})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \times \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^5 + (\Delta \bar{D}_{33})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^5 + (\Delta \bar{D}_{33})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^5 \quad (4.19)$$

ただし

$$(\Delta \bar{D}_{ii})_c = \int_{c,n}^{c,b} (\bar{A}_{ii})_c \cdot \left(\frac{x-x_R}{l_c} \right)^2 d \left(\frac{x}{l_c} \right) \quad (4.20)$$

5. ΔA_{ii} , ΔB_{ii} , ΔC_{ii} , ΔD_{ii} の基準点移動

4. で述べた各成分元に対する $\Delta \bar{A}_{ii}$, $\Delta \bar{B}_{ii}$ ……等は代表長, 代表面積はそれら各成分ごとの代表長および代表面積で計算されるが, 一般には基準点に関して各成分ごとの基準点まわりで計算するのが便利である。したがってさらに成分基準点まわりに求めたものに対して prime をつけて示すことにすると基準点の移動にもとづく換算は次式で示される。

$$(\Delta \bar{A}_{ii})_c = (\Delta A_{ii}')_c \quad (5.1)$$

$$(\Delta \bar{B}_{ii})_c = (\Delta B_{ii}')_c \quad (5.2)$$

$$(\Delta \bar{C}_{ii})_c = (\Delta C_{ii}')_c - (\Delta B_{ii}')_c \frac{x_{R,c} - x_R}{l_c} \quad (5.3)$$

$$(\Delta \bar{D}_{ii})_c = (\Delta D_{ii}')_c - 2(\Delta C_{ii}')_c \frac{x_{R,c} - x_R}{l_c} + (\Delta B_{ii}')_c \cdot \left(\frac{x_{R,c} - x_R}{l_c} \right)^2 \quad (5.4)$$

これら諸式を用いると A_{ii} , B_{ii} , C_{ii} および D_{ii} はすべて prime のついた量で書き下せる。

$$A_{ii} = (A_{ii}')_{N,b} \cdot \frac{S_N}{S_R} + (\Delta A_{ii}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} + (\Delta A_{ii}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} + (\Delta A_{ii}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R}, \quad i=1,2 \quad (5.5)$$

$$A_{33} = (A_{33}')_{N,b} \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^2 + (\Delta A_{33}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \times \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^2 + (\Delta A_{33}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^2 + (\Delta A_{33}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^2 \quad (5.6)$$

$$B_{ii} = (\Delta B_{ii}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} + (\Delta B_{ii}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} + (\Delta B_{ii}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} + (\Delta B_{ii}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R}, \quad i=1,2 \quad (5.7)$$

$$B_{33} = (\Delta B_{ii}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^3 + (\Delta B_{ii}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^3 + (\Delta B_{ii}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^3 + (\Delta B_{ii}')_{B2} \times \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^3 \quad (5.8)$$

$$C_{ii} = (\Delta C_{ii}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^2 - (\Delta B_{ii}')_N \cdot \frac{x_{R,N} - x_R}{l_N} \times \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^2 + (\Delta C_{ii}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^2 - (\Delta B_{ii}')_{B1} \cdot \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_{B1}} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^2 + (\Delta C_{ii}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^2 - (\Delta B_{ii}')_W \times \frac{x_{R,W} - x_R}{l_W} \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^2 + (\Delta C_{ii}')_{B2} \times \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^2 - (\Delta B_{ii}')_{B2} \cdot \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_{B2}} \times \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^2, \quad i=1,2 \quad (5.9)$$

$$C_{33} = (\Delta C_{33}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^4 - (\Delta B_{ii}')_N \cdot \frac{x_{R,N} - x_R}{l_N} \times \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^4 + (\Delta C_{33}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^4 - (\Delta B_{ii}')_{B1} \cdot \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_{B1}} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^4 + (\Delta C_{33}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^4 - (\Delta B_{ii}')_W \times \frac{x_{R,W} - x_R}{l_W} \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^4 + (\Delta C_{33}')_{B2} \times \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^4 - (\Delta B_{ii}')_{B2} \cdot \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_{B2}} \times \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^4 \quad (5.10)$$

$$D_{ii} = (\Delta D_{ii}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^3 - 2(\Delta C_{ii}')_N \times \frac{x_{R,N} - x_R}{l_N} \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^3 + (\Delta B_{ii}')_N \left(\frac{x_{R,N} - x_R}{l_N} \right)^2 \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^3 + (\Delta D_{ii}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^3 - 2(\Delta C_{ii}')_{B1} \times \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_{B1}} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^3 + (\Delta B_{ii}')_{B1} \times \left(\frac{x_{R,B1} - x_R}{l_{B1}} \right)^2 \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^3 + (\Delta D_{ii}')_W \times \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^3 - 2(\Delta C_{ii}')_W \cdot \frac{x_{R,W} - x_R}{l_W}$$

$$\begin{aligned}
& \times \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^3 + (\Delta B_{ii}')_W \left(\frac{x_{R,W} - x_R}{l_W} \right)^2 \\
& \times \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^3 + (\Delta D_{ii}')_{B_2} \frac{S_{B_2}}{S_R} \left(\frac{l_{B_2}}{l_R} \right)^3 \\
& - 2(\Delta C_{ii}')_{B_2} \cdot \frac{x_{R,B_2} - x_R}{l_{B_2}} \cdot \frac{S_{B_2}}{S_R} \left(\frac{l_{B_2}}{l_R} \right)^3 \\
& + (\Delta B_{ii}')_{B_2} \left(\frac{x_{R,B_2} - x_R}{l_{B_2}} \right)^2 \frac{S_{B_2}}{S_R} \left(\frac{l_{B_2}}{l_R} \right)^3, \\
& \quad i=1, 2 \quad (5.11)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_{33} &= (\Delta D_{33}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^5 - 2(\Delta C_{33}')_N \\
& \times \frac{x_{R,N} - x_R}{l_N} \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^5 + (\Delta B_{33}')_N \\
& \times \left(\frac{x_{R,N} - x_R}{l_N} \right)^2 \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^5 + (\Delta D_{33}')_{B_1} \\
& \times \frac{S_{B_1}}{S_R} \left(\frac{l_{B_1}}{l_R} \right)^5 - 2(\Delta C_{33}')_{B_1} \cdot \frac{x_{R,B_1} - x_R}{l_{B_1}} \\
& \times \frac{S_{B_1}}{S_R} \left(\frac{l_{B_1}}{l_R} \right)^5 + (\Delta B_{33}')_{B_1} \left(\frac{x_{R,B_1} - x_R}{l_{B_1}} \right)^2 \\
& \times \frac{S_{B_1}}{S_R} \left(\frac{l_{B_1}}{l_R} \right)^5 + (\Delta D_{33}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^5 \\
& - 2(\Delta C_{33}')_W \cdot \frac{x_{R,W} - x_R}{l_W} \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^5 \\
& + (\Delta B_{33}')_W \left(\frac{x_{R,W} - x_R}{l_W} \right)^2 \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^5 \\
& + (\Delta D_{33}')_{B_2} \cdot \frac{S_{B_2}}{S_R} \left(\frac{l_{B_2}}{l_R} \right)^5 - 2(\Delta C_{33}')_{B_2} \\
& \times \frac{x_{R,B_2} - x_R}{l_{B_2}} \cdot \frac{S_{B_2}}{S_R} \left(\frac{l_{B_2}}{l_R} \right)^5 + (\Delta B_{33}')_{B_2} \\
& \times \left(\frac{x_{R,B_2} - x_R}{l_{B_2}} \right)^2 \frac{S_{B_2}}{S_R} \left(\frac{l_{B_2}}{l_R} \right)^5 \quad (5.12)
\end{aligned}$$

ここで

$$(\Delta B_{ii}')_c = \int_{\left(\frac{x'}{l_c}\right)_{c,n}}^{\left(\frac{x'}{l_c}\right)_{c,b}} (A_{ii}')_c \cdot d\left(\frac{x'}{l_c}\right) \quad (5.13)$$

$$(\Delta C_{ii}')_c = - \int_{\left(\frac{x'}{l_c}\right)_{c,n}}^{\left(\frac{x'}{l_c}\right)_{c,b}} (A_{ii}')_c \cdot \frac{x' - x'_{R,c}}{l_c} d\left(\frac{x'}{l_c}\right) \quad (5.14)$$

$$(\Delta D_{ii}')_c = \int_{\left(\frac{x'}{l_c}\right)_{c,n}}^{\left(\frac{x'}{l_c}\right)_{c,b}} (A_{ii}')_c \left(\frac{x' - x'_{R,c}}{l_c} \right)^2 d\left(\frac{x'}{l_c}\right) \quad (5.15)$$

6. 動安定微係数の成分元による表示

FFM-10 に本方法を適用する場合は式 (3.7)～式 (3.61) で $i \neq j$ で $A_{ij} = B_{ij} = C_{ij} = D_{ij} = 0$, かつ重要

な 1 項のみを残して, 他を 0 とおくと次のように簡単になる。

$$C_{za} = -2(A_{22})_b \quad (6.1)$$

$$C_{zq} = -4(A_{22})_b \cdot \frac{x_b - x_R}{l_R} \quad (6.2)$$

$$C_{za} = -4B_{22} \quad (6.3)$$

$$C_{zq} = 4C_{22} \quad (6.4)$$

$$C_{ma} = 2 \left\{ B_{22} - (A_{22})_b \cdot \frac{x_b - x_R}{l_R} \right\} \quad (6.5)$$

$$C_{mq} = -4 \left\{ (A_{22})_b \left(\frac{x_b - x_R}{l_R} \right)^2 + C_{22} \right\} \quad (6.6)$$

$$C_{ma} = 4C_{22} \quad (6.7)$$

$$C_{mq} = -4D_{22} \quad (6.8)$$

$$C_{Y\beta} = -2(A_{11})_b \quad (6.9)$$

$$C_{Yr} = 4(A_{11})_b \cdot \frac{x_b - x_R}{l_R} \quad (6.10)$$

$$C_{Y\beta} = -4B_{11} \quad (6.11)$$

$$C_{Yr} = -4C_{11} \quad (6.12)$$

$$C_{n\beta} = -2 \left\{ B_{11} - (A_{11})_b \cdot \frac{x_b - x_R}{l_R} \right\} \quad (6.13)$$

$$C_{nr} = -4 \left\{ (A_{11})_b \left(\frac{x_b - x_R}{l_R} \right)^2 + C_{11} \right\} \quad (6.14)$$

$$C_{n\beta} = -4C_{11} \quad (6.15)$$

$$C_{nr} = -4D_{11} \quad (6.16)$$

$$C_{lp} = -4(A_{33})_b \quad (6.17)$$

$$C_{lp} = -4B_{33} \quad (6.18)$$

式 (5.5)～式 (5.12) を式 (6.1)～式 (6.18) に代入すると安定微係数が求まる。各成分ごとの安定微係数に prime をつけて示すと次の結果がえられる。

$$\begin{aligned}
C_{za} &= (C_{za}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} + (C_{za}')_{B_1} \cdot \frac{S_{B_1}}{S_R} + (C_{za}')_W \\
& \times \frac{S_W}{S_R} + (C_{za}')_{B_2} \cdot \frac{S_{B_2}}{S_R} \quad (6.19)
\end{aligned}$$

$$(C_{za}')_c = -2(\Delta A_{22}')_c \quad (6.20)$$

$$\begin{aligned}
C_{zq} &= (C_{zq}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} + 2(C_{za}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \\
& \times \frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} + (C_{zq}')_{B_1} \cdot \frac{S_{B_1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B_1}}{l_R} \\
& + 2(C_{za}')_{B_1} \cdot \frac{S_{B_1}}{S_R} \cdot \frac{x_{R,B_1} - x_R}{l_R} + (C_{zq}')_W \\
& \times \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} + 2(C_{za}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} \\
& + (C_{zq}')_{B_2} \cdot \frac{S_{B_2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B_2}}{l_R} + 2(C_{za}')_{B_2} \cdot \frac{S_{B_2}}{S_R} \\
& \times \frac{x_{R,B_2} - x_R}{l_R} \quad (6.21)
\end{aligned}$$

$$(C_{zq'})_c = -4 \left\{ (A_{22'})_{c,b} \cdot \frac{x_{c,b} - x_{R,c}}{l_c} - (A_{22'})_{c,n} \right. \\ \left. \times \frac{x_{c,n} - x_{R,c}}{l_c} \right\} \quad (6.22)$$

$$C_{za} = (C_{za'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} + (C_{za'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \\ + (C_{za'})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} + (C_{za'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R} \quad (6.23)$$

$$(C_{za'})_c = -4(\Delta B_{22'})_c \quad (6.24)$$

$$C_{zq} = (C_{zq'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^2 + (C_{za'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} \\ \times \frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} + (C_{zq'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^2 \\ + (C_{za'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \cdot \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} + (C_{zq'})_W \\ \times \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^2 + (C_{za'})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} \\ \times \frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} + (C_{zq'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^2 \\ + (C_{za'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R} \cdot \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} \quad (6.25)$$

$$(C_{zq'})_c = 4(\Delta C_{22'})_c \quad (6.26)$$

$$C_{ma} = (C_{ma'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} + (C_{za'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \\ \times \frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} + (C_{ma'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \\ + (C_{za'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \cdot \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} + (C_{ma'})_W \\ \times \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} + (C_{za'})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} \\ + (C_{ma'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R} + (C_{za'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \\ \times \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} \quad (6.27)$$

$$(C_{ma'})_c = 2 \left[(\Delta B_{22'})_c - \left\{ (A_{22'})_{c,b} \cdot \frac{x_{c,b} - x_{R,c}}{l_c} \right. \right. \\ \left. \left. - (A_{22'})_{c,n} \cdot \frac{x_{c,n} - x_{R,c}}{l_c} \right\} \right] \quad (6.28)$$

$$C_{mq} = (C_{mq'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^2 + \{2(C_{ma'})_N + (C_{zq'})_N\} \\ \times \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} \cdot \frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} + 2(C_{za'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \\ \times \left(\frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} \right)^2 + (C_{mq'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^2 \\ + \{2(C_{ma'})_{B1} + (C_{zq'})_{B1}\} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \\ \times \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} + 2(C_{za'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} \right)^2$$

$$+ (C_{mq'})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^2 + \{2(C_{ma'})_W + (C_{zq'})_W\} \\ \times \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} \cdot \frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} + 2(C_{za'})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \\ \times \left(\frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} \right)^2 + (C_{mq'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^2 \\ + \{2(C_{ma'})_{B2} + (C_{zq'})_{B2}\} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R} \cdot \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} \\ + 2(C_{za'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} \right)^2 \quad (6.29)$$

$$(C_{mq'})_c = -4 \left[\left\{ (A_{22'})_{c,b} \left(\frac{x_{c,b} - x_{R,c}}{l_c} \right)^2 - (A_{22'})_{c,n} \right. \right. \\ \left. \left. \times \left(\frac{x_{c,n} - x_{R,c}}{l_c} \right)^2 \right\} + (\Delta C_{22'})_c \right] \quad (6.30)$$

$$C_{ma} = (C_{ma'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^2 + (C_{za'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} \\ \times \frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} + (C_{ma'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^2 \\ + (C_{za'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \cdot \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} + (C_{ma'})_W \\ \times \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^2 + (C_{za'})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} \cdot \frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} \\ + (C_{ma'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^2 + (C_{za'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \\ \times \frac{l_{B2}}{l_R} \cdot \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} \quad (6.31)$$

$$(C_{ma'})_c = 4(C_{22'})_c \quad (6.32)$$

$$C_{mq} = (C_{mq'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^3 + \{(C_{ma'})_N + (C_{zq'})_N\} \\ \times \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^2 \cdot \frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} + (C_{za'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} \\ \times \left(\frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} \right)^2 + (C_{mq'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^3 \\ + \{(C_{ma'})_{B1} + (C_{zq'})_{B1}\} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^2 \cdot \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} \\ + (C_{za'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \left(\frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} \right)^2 \\ + (C_{mq'})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^3 + \{(C_{ma'})_W + (C_{zq'})_W\} \\ \times \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^2 \cdot \frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} + (C_{za'})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} \\ \times \left(\frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} \right)^2 + (C_{mq'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^3 \\ + \{(C_{ma'})_{B2} + (C_{zq'})_{B2}\} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^2 \\ \times \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} + (C_{za'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R} \\ \times \left(\frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} \right)^2 \quad (6.33)$$

$$(C_{m\dot{q}}')_c = -4(\Delta D_{22}')_c \quad (6.34)$$

$$C_{Y\beta} = (C_{Y\beta}')_N \frac{S_N}{S_R} + (C_{Y\beta}')_{B1} \frac{S_{B1}}{S_R} + (C_{Y\beta}')_W \frac{S_W}{S_R} \\ + (C_{Y\beta}')_{B2} \frac{S_{B2}}{S_R} \quad (6.35)$$

$$(C_{Y\beta}')_c = -2(\Delta A_{11}')_c \quad (6.36)$$

$$C_{Yr} = (C_{Yr}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} - 2(C_{Y\beta}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \\ \times \frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} + (C_{Yr}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} - 2(C_{Y\beta}')_{B1} \\ \times \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} + (C_{Yr}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} \\ - 2(C_{Y\beta}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} + (C_{Yr}')_{B2} \\ \times \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R} - 2(C_{Y\beta}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} \quad (6.37)$$

$$(C_{Yr}')_c = 4 \left\{ (A_{11}')_{c,b} \cdot \frac{x_{c,b} - x_{R,c}}{l_c} - (A_{11}')_{c,n} \right. \\ \left. \times \frac{x_{c,n} - x_{R,c}}{l_c} \right\} \quad (6.38)$$

$$C_{Y\dot{\beta}} = (C_{Y\dot{\beta}}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} + (C_{Y\dot{\beta}}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \\ + (C_{Y\dot{\beta}}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} + (C_{Y\dot{\beta}}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R} \quad (6.39)$$

$$(C_{Y\dot{\beta}}')_c = -4(\Delta B_{11}')_c \quad (6.40)$$

$$C_{Y\ddot{\alpha}} = (C_{Y\ddot{\alpha}}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^2 - (C_{Y\dot{\beta}}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} \\ \times \frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} + (C_{Y\ddot{\alpha}}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^2 \\ - (C_{Y\dot{\beta}}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \cdot \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} + (C_{Y\ddot{\alpha}}')_W \\ \times \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^2 - (C_{Y\dot{\beta}}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} \\ \times \frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} + (C_{Y\ddot{\alpha}}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^2 \\ - (C_{Y\dot{\beta}}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R} \cdot \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} \quad (6.41)$$

$$(C_{Y\ddot{\alpha}}')_c = -4(\Delta C_{11}')_c \quad (6.42)$$

$$C_{n\beta} = (C_{n\beta}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} - (C_{Y\dot{\beta}}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} \\ + (C_{n\beta}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} - (C_{Y\dot{\beta}}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \\ \times \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} + (C_{n\beta}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} - (C_{Y\dot{\beta}}')_W \\ \times \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} + (C_{n\beta}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R}$$

$$- (C_{Y\dot{\beta}}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} \quad (6.43)$$

$$(C_{n\beta}')_c = -2 \left[(\Delta B_{11}')_c - \left\{ (A_{11}')_{c,b} \cdot \frac{x_{c,b} - x_{R,c}}{l_c} \right. \right. \\ \left. \left. - (A_{11}')_{c,n} \cdot \frac{x_{c,n} - x_{R,c}}{l_c} \right\} \right] \quad (6.44)$$

$$C_{nr} = (C_{nr}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^2 - \{ 2(C_{n\beta}')_N + (C_{Yr}')_N \} \\ \times \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} \cdot \frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} + 2(C_{Y\dot{\beta}}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \\ \times \left(\frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} \right)^2 + (C_{nr}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^2 \\ - \{ 2(C_{n\beta}')_{B1} + (C_{Yr}')_{B1} \} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \\ \times \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} + 2(C_{Y\dot{\beta}}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} \right)^2 \\ + (C_{nr}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^2 - \{ 2(C_{n\beta}')_W + (C_{Yr}')_W \} \\ \times \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} \cdot \frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} + 2(C_{Y\dot{\beta}}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \\ \times \left(\frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} \right)^2 + (C_{nr}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^2 \\ - \{ 2(C_{n\beta}')_{B2} + (C_{Yr}')_{B2} \} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R} \\ \times \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} + 2(C_{Y\dot{\beta}}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \\ \times \left(\frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} \right)^2 \quad (6.45)$$

$$(C_{nr}')_c = -4 \left[\left\{ (A_{11}')_{c,b} \left(\frac{x_{c,b} - x_{R,c}}{l_c} \right)^2 - (A_{11}')_{c,n} \right. \right. \\ \left. \left. \times \left(\frac{x_{c,n} - x_{R,c}}{l_c} \right)^2 \right\} + (\Delta C_{11}')_c \right] \quad (6.46)$$

$$C_{n\dot{\beta}} = (C_{n\dot{\beta}}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^2 - (C_{Y\dot{\beta}}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \cdot \frac{l_N}{l_R} \\ \times \frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} + (C_{n\dot{\beta}}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^2 \\ - (C_{Y\dot{\beta}}')_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \cdot \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} \\ + (C_{n\dot{\beta}}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^2 - (C_{Y\dot{\beta}}')_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} \\ \times \frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} + (C_{n\dot{\beta}}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^2 \\ - (C_{Y\dot{\beta}}')_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R} \cdot \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} \quad (6.47)$$

$$(C_{n\dot{\beta}}')_c = -4(\Delta C_{11}')_c \quad (6.48)$$

$$C_{n\ddot{\alpha}} = (C_{n\ddot{\alpha}}')_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^3 - \{ (C_{n\dot{\beta}}')_N + (C_{Y\ddot{\alpha}}')_N \}$$

$$\begin{aligned}
& \times \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^2 \frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} + (C_{Y\beta'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \\
& \times \frac{l_N}{l_R} \left(\frac{x_{R,N} - x_R}{l_R} \right)^2 + (C_{n\tau'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^3 \\
& - \{ (C_{n\beta'})_{B1} + (C_{Y\tau'})_{B1} \} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^2 \\
& \times \frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} + (C_{Y\beta'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \cdot \frac{l_{B1}}{l_R} \\
& \times \left(\frac{x_{R,B1} - x_R}{l_R} \right)^2 + (C_{n\tau'})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^3 \\
& - \{ (C_{n\beta'})_W + (C_{Y\tau'})_W \} \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^2 \\
& \times \frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} + (C_{Y\beta'})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \cdot \frac{l_W}{l_R} \\
& \times \left(\frac{x_{R,W} - x_R}{l_R} \right)^2 + (C_{n\tau'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^3 \\
& - \{ (C_{n\beta'})_{B2} + (C_{Y\tau'})_{B2} \} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^2 \\
& \times \frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} + (C_{Y\beta'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \cdot \frac{l_{B2}}{l_R} \\
& \times \left(\frac{x_{R,B2} - x_R}{l_R} \right)^2 \quad (6.49)
\end{aligned}$$

$$(C_{n\tau'})_c = -4(\Delta D_{11'})_c \quad (6.50)$$

$$\begin{aligned}
C_{lp} = & (C_{lp'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^2 + (C_{lp'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^2 \\
& + (C_{lp'})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^2 + (C_{lp'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \\
& \times \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^2 \quad (6.51)
\end{aligned}$$

$$(C_{lp'})_c = -4(\Delta A_{33'})_c \quad (6.52)$$

$$\begin{aligned}
C_{lp} = & (C_{lp'})_N \cdot \frac{S_N}{S_R} \left(\frac{l_N}{l_R} \right)^3 + (C_{lp'})_{B1} \cdot \frac{S_{B1}}{S_R} \left(\frac{l_{B1}}{l_R} \right)^3 \\
& + (C_{lp'})_W \cdot \frac{S_W}{S_R} \left(\frac{l_W}{l_R} \right)^3 + (C_{lp'})_{B2} \cdot \frac{S_{B2}}{S_R} \\
& \times \left(\frac{l_{B2}}{l_R} \right)^3 \quad (6.53)
\end{aligned}$$

$$(C_{lp'})_c = -4(\Delta B_{33'})_c \quad (6.54)$$

7. 動安定微係数の精度向上

6. に述べた式により各成分の動安定微係数を付録に示した細長体理論結果を用いて計算すると、全機としての安定微係数が計算できる。しかしながらこの方法によると全機としての安定微係数もほぼ細長体理論程度の精度と考えられ、マッハ数に対する依存性が明らかでなく、実験値等と比べどの程度の精度のものか不明である。ここではもっとも安定微係数に寄与の大きい主翼成分に超音速線型理論⁶⁾を導入し、精度の向

上を計り、その結果を FFM-10 に類似した三角翼を有する飛しょう体の飛しょう試験結果および風洞試験結果と比較しておく。この結果は後に FFM-10 に対して計算される値の妥当性を判断する一つの目安となる。

まず翼胴結合体に対して付録に記した細長体理論結果を用いて成分安定微係数 $(C_{za'})_c$, $(C_{ma'})_c$, $(C_{zaq'})_c$, $(C_{mq'})_c$ 等を求め、しかる後翼単独に対して超音速線型理論と細長体理論とによる値の比を掛けてマッハ数の依存性を明らかにした。すなわち $(C_{za'})_{WB}$ を代表例に選ぶと、

$$(C_{za'})_{WB} = (C_{za'})_{WB, SBT} \cdot \frac{(C_{za'})_{W, LINEAR}}{(C_{za'})_{W, SBT}} \quad (7.1)$$

このような考え方は文献 1), 2) で飛しょう体の静安定微係数を求める場合に用いられたが、ここでは動安定微係数をも含めて、式 (7.1) 等により精度の向上を計った。翼単独に対する超音速線型理論の結果を文献 6) より引用し以下に一覧しておく。これらは基準点に面積中心を、基準軸に機体軸を、基準面積に翼面積を、基準長に平均空力翼弦長をそれぞれ選んである。

$$(C_{za'})_W = -\frac{\pi A}{2E(\pi/2, k)}, \quad \beta A < 4 \quad (7.2)$$

$$= -\frac{4}{\beta}, \quad \beta A > 4 \quad (7.3)$$

$$\begin{aligned}
(C_{zaq'})_W = & -\frac{\pi A}{2} \left\{ \frac{3k^2}{(2k^2-1)E(\pi/2, k) + (1-k^2)K(k)} \right. \\
& \left. - \frac{2}{E(\pi/2, k)} \right\}, \quad \beta A < 4 \quad (7.4)
\end{aligned}$$

$$= 0, \quad \beta A > 4 \quad (7.5)$$

$$\begin{aligned}
(C_{za'})_W = & -\frac{\pi A}{2\beta^2} \left\{ \frac{3k^2(\beta^2+1)}{(2k^2-1)E(\pi/2, k) + (1-k^2)K(k)} \right. \\
& \left. - \frac{(2\beta^2+3)}{E(\pi/2, k)} \right\}, \quad \beta A < 4 \quad (7.6)
\end{aligned}$$

$$= \frac{4}{\beta^3}, \quad \beta A > 4 \quad (7.7)$$

$$(C_{ma'})_W = 0, \quad \beta A < 4 \text{ or } \beta A > 4 \quad (7.8)$$

$$\begin{aligned}
(C_{mq'})_W = & -\frac{3\pi A}{16} \cdot \frac{k^2}{(2k^2-1)E(\pi/2, k) + (1-k^2)K(k)}, \\
& \beta A < 4 \quad (7.9)
\end{aligned}$$

$$= -\frac{1}{\beta}, \quad \beta A > 4 \quad (7.10)$$

$$\begin{aligned}
(C_{ma'})_W = & -\frac{\pi A}{16\beta^2} \left\{ \frac{3k^2(\beta^2+1)}{(2k^2-1)E(\pi/2, k) + (1-k^2)K(k)} \right. \\
& \left. - \frac{2\beta^2+3}{E(\pi/2, k)} \right\}, \quad \beta A < 4 \quad (7.11)
\end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2\beta^3}, \quad \beta A > 4 \quad (7.12)$$

$$(C_{lp'})_W = -\frac{\pi A}{16} \left(\frac{3A}{4}\right)^2 \times \frac{k^2}{(1+k^2)E(\pi/2, k) - (1-k^2)K(k)}, \quad \beta A < 4 \quad (7.13)$$

$$= -\frac{1}{3\beta} \left(\frac{3A}{4}\right)^2, \quad \beta A > 4 \quad (7.14)$$

ここで

$$k = \sqrt{1 - \left(\frac{\beta A}{4}\right)^2} \quad (7.15)$$

$$K(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{dz}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 z}} \quad (7.16)$$

$$E(\pi/2, k) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 z} \cdot dz \quad (7.17)$$

頭部および胴体部には付録の細長体理論結果を用いて成分安定微係数を計算する。かくして求めた成分安定微係数を式(6.19)~式(6.54)に代入し全機の安定微係数を得る。しかしながらこのようにして得られた結果を、FFM-10の風洞試験に先だって行なわれた NFWV2 模型による静的風洞試験結果³⁾のうち代表的な微係数 $C_{z\alpha}$ で比べてみると、幾分過大評価し

ているようである(図3, 図4)。そこで $C_{z\alpha}'$ を実験値と合わせるために次式に示す η を用いて理論値と実験値の差異を修正した。

$$(C_{z\alpha}')_{WB} = (C_{z\alpha}')_{WB, SBT} \cdot \frac{(C_{z\alpha}')_{W, LINEAR}}{(C_{z\alpha}')_{W, SBT}} \cdot \eta \quad (7.18)$$

式(7.18)に示される修正係数を η 各成分元に対して求めることが望ましいが、先にも述べたように FFM-10 のような平面形では主翼部が安定微係数にもっとも大きい寄与をするものと思われ、縦の安定微係数では主翼部のみを修正するにとどめる。また $(C_{z\alpha}')_{WB}$ 以外の成分安定微係数 $(C_{m\alpha}')_{WB}$, $(C_{zq}')_{WB}$, $(C_{mq}')_{WB}$ ……に対する修正も一応 $(C_{z\alpha}')_{WB}$ の修正に用いた値を採用しておく。ここで NFWV2 模型の静的風洞試験結果の $C_{z\alpha}$ を参考にして求めた η を表1に記す。なお亜音速では翼胴結合体としての細長体理論値と実験結果との差異を修正する係数として η を求めた。

横の安定微係数にも同様な処理を行うが、 $C_{Y\beta}$ の風洞試験精度が若干 $C_{z\alpha}$ より低いので修正係数としては先に述べた縦の場合の η を用いておく。

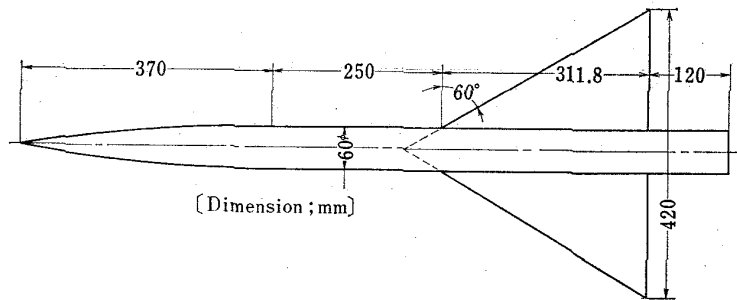


図3 Planform of NFWV2 wind tunnel model

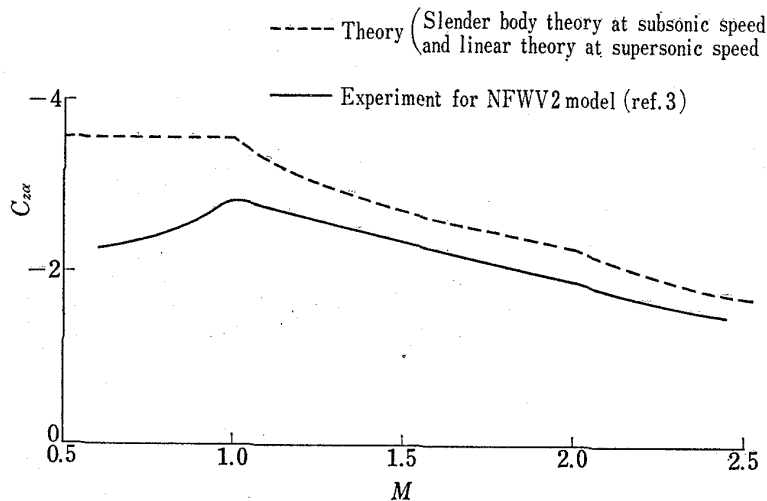


図4 $C_{z\alpha} \sim M$ curve

以上述べた計算方法を FFM-10 に類似した平面形を有する飛翔体の風洞実験⁹⁾ および飛しょう試験⁸⁾ 結果と比較して精度の検討を行なった。その結果を図 6, 図 7, および図 9 ~ 図 11 に示す。なお各成分元の安定微係数の計算は後に FFM-10 に対して詳細に述べるのでここでは省略しておく。

表 1 修正係数

M	η	M	η
0.6	0.632	1.3	0.856
0.8	0.679	1.5	0.865
0.9	0.730	1.75	0.861
1.0	0.805	2.0	0.847
1.1	0.833	2.25	0.845
1.2	0.849	2.5	0.833

これらより本推定方法で静安定微係数 C_{ma} ないし圧力中心に関してはよい近似値を与えることがわかったが動安定微係数 $C_{mq} + C_{ma}$ に関してはなお若干の不満は残るがマッハ数に対する傾向は $M=1$ での不連続を除けば一応妥当なものと思われる。 $M=1$ での $C_{mq} + C_{ma}$ の不連続は $(C_{ma})_w$ 微係数の推定において、線型理論（超音速で適用）と細長体理論（亜音速で適用）とでその符号を異にするという事実に帰因し、本推定方法では避けることのできないものである。これら 1, 2 の問題点を残してはいるが、FFM-10 の風洞試験の行なわれていない初期設計段階では本方法である程度動安定微係数を推定でき、初期設計段階での運動特性の計算に役立てられると思う。また風洞試験が行なわれた後でも、それら結果の妥当性を判断する一つの資料となるであろう。

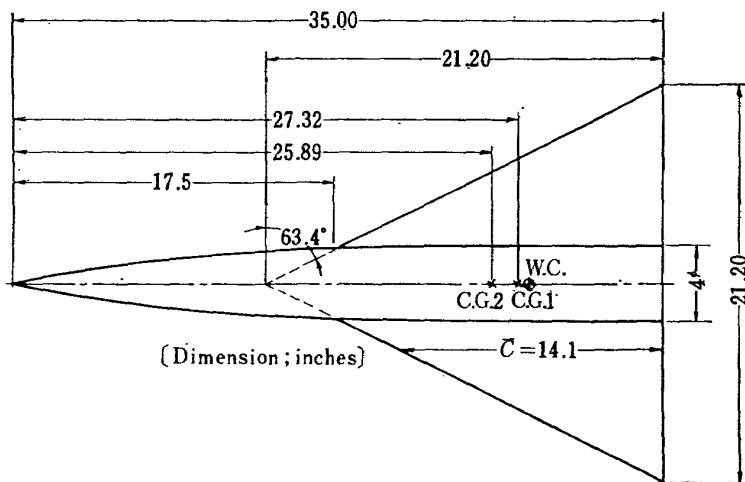


図 5 Planform I

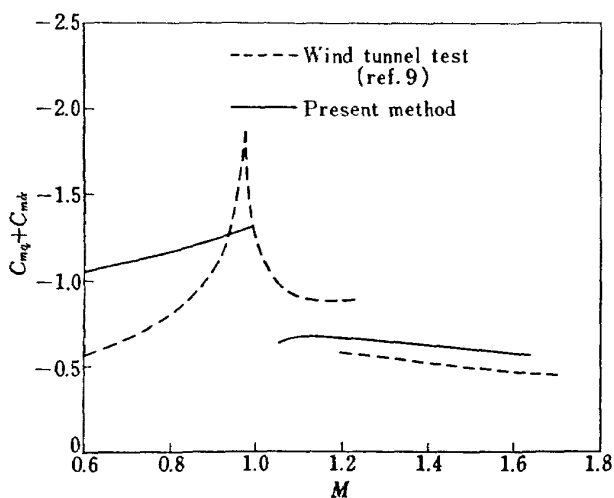


図 6 Damping derivatives for planform I; axis of rotation at $0.45 \bar{c}$

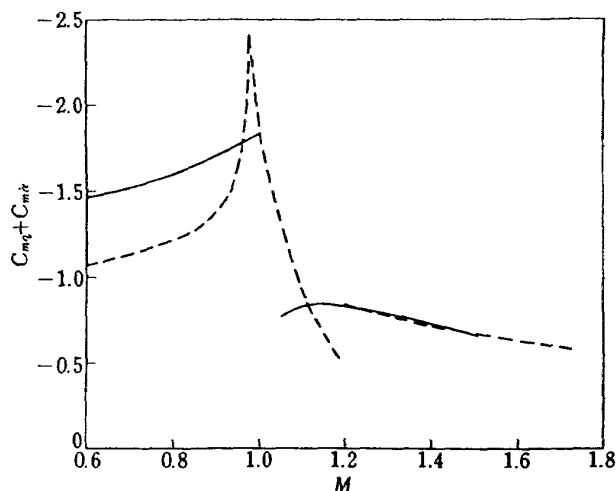


図 7 Damping derivatives for planform I; axis of rotation at $0.35 \bar{c}$

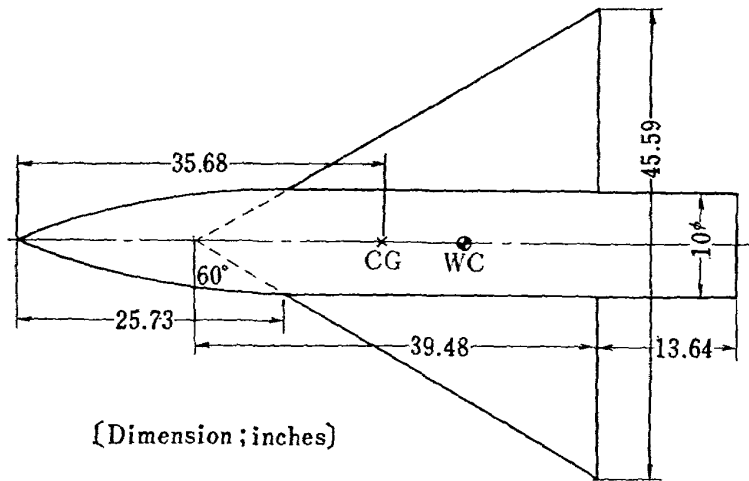


図 8 Planform II

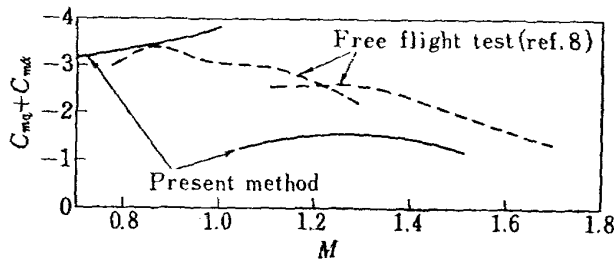


図 9 Damping derivatives for planform II

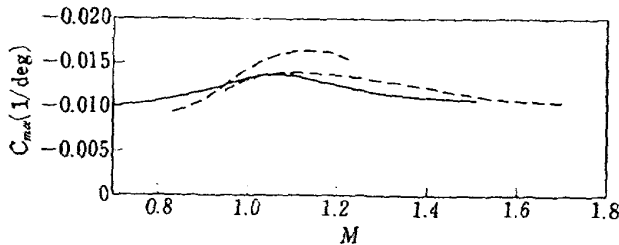


図 10 Pitching moment derivatives for planform II

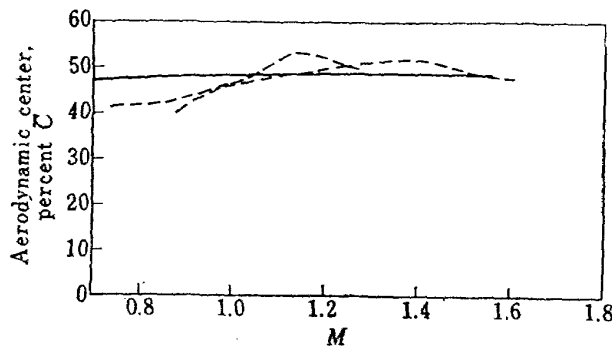


図 11 Aerodynamic center location for planform II

8. FFM-10 の動安定微係数

FFM-10にその形状が類似した2種の模型についてその動安定微係数のうち $C_{mq} + C_{mx}$ についての計算による推定を行ないある程度実用に供せられることがわかったので本方法を FFM-10 に適用して縦および横の動安定微係数の推定を行なう。FFM-10 に対する C_{zq} , C_{mq} , C_{lp} については文献3) で推定結果を紹介したが、ここでは一応他の動安定微係数も含めてまとめておく。FFM-10は図12にその平面形を示したが、その成分元としては縦の微係数に対しては頭部 (20°円錐部)、胴体1 (頭部後端より主翼部前端迄)、主翼部、および胴体2 (主翼後縁より後方) とに分けられ、横の微係数に対しては主として頭部、胴体 (主翼部を含む) および垂直翼部とに分けられる (C_{lp} に関しては主翼も成分元に入る)。これら各々に対する成分安定微係数を求める。

8.1 頭部成分安定微係数

基準点; 先端

基準軸; 機体軸

基準面積; 最大断面積

基準長; 頭部長

$$(A_{11}')_{N,b=1}, \quad (A_{11}')_{N,n=0} \quad (8.1)$$

$$(A_{22}')_{N,b=1}, \quad (A_{22}')_{N,n=0} \quad (8.2)$$

$$(A_{33}')_{N,b=0}, \quad (A_{33}')_{N,n=0} \quad (3.3)$$

$$(\Delta B_{11}')_N = \frac{1}{3} \quad (8.4)$$

$$(\Delta B_{22}')_N = \frac{1}{3} \quad (8.5)$$

$$(\Delta C_{11}')_N = -\frac{1}{4} \quad (8.6)$$

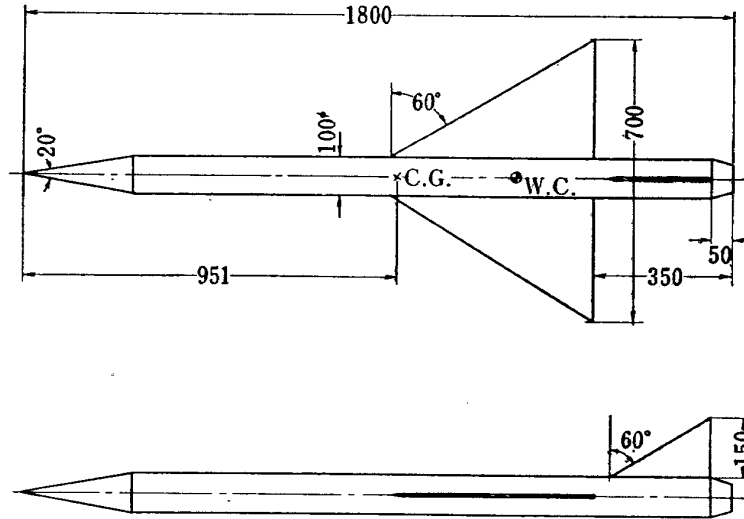


図 12 FFM-10 の形状

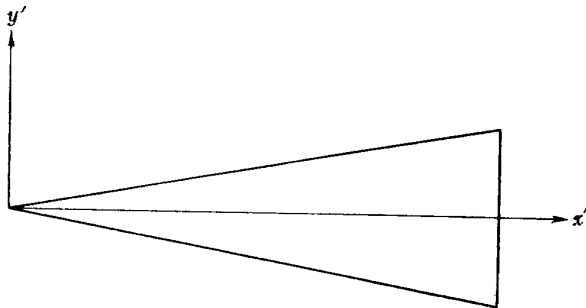


図 13 頭部座標

$$(\Delta C_{22}')_N = -\frac{1}{4} \quad (8.7)$$

$$(\Delta D_{11}')_N = \frac{1}{5} \quad (8.8)$$

$$(\Delta D_{22}')_N = \frac{1}{5} \quad (8.9)$$

以上より頭部安定微係数が計算できる。

$$\left. \begin{aligned} (C_{2a}')_N &= -2, & (C_{ma}')_N &= -\frac{4}{3} \\ (C_{2q}')_N &= -4, & (C_{mq}')_N &= -3 \\ (C_{2a}')_N &= -\frac{4}{3}, & (C_{ma}')_N &= -1 \\ (C_{2q}')_N &= -1, & (C_{mq}')_N &= -\frac{4}{5} \end{aligned} \right\} (8.10)$$

$$\left. \begin{aligned} (C_{Y\beta}')_N &= -2, & (C_{n\beta}')_N &= \frac{4}{3} \\ (C_{Yr}')_N &= 4, & (C_{nr}')_N &= -3 \\ (C_{Y\beta}')_N &= -\frac{4}{3}, & (C_{n\beta}')_N &= 1 \\ (C_{Yr}')_N &= 1, & (C_{nr}')_N &= -\frac{4}{5} \end{aligned} \right\} (8.11)$$

$$(C_{lp}')_N = 0, \quad (C_{lp}')_N = 0 \quad (8.12)$$

8.2 胴体部成分安定微係数

基準点; 胴体先端

基準軸; 機体軸

基準面積; 断面積

基準長; 胴体長

$$(A_{11}')_{B,b} = 1, \quad (A_{11}')_{B,n} = 1 \quad (8.13)$$

$$(A_{22}')_{B,b} = 1, \quad (A_{22}')_{B,n} = 1 \quad (8.14)$$

$$(A_{33}')_{B,b} = 0, \quad (A_{33}')_{B,n} = 0 \quad (8.15)$$

$$(\Delta B_{11}')_B = 1 \quad (8.16)$$

$$(\Delta B_{22}')_B = 1 \quad (8.17)$$

$$(\Delta C_{11}')_B = -\frac{1}{2} \quad (8.18)$$

$$(\Delta C_{22}')_B = -\frac{1}{2} \quad (8.19)$$

$$(\Delta D_{11}')_B = \frac{1}{3} \quad (8.20)$$

$$(\Delta D_{22}')_B = \frac{1}{3} \quad (8.21)$$

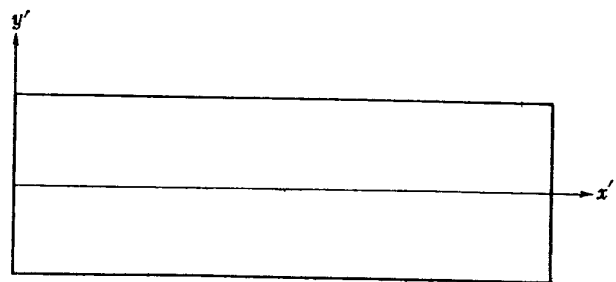


図 14 胴体部座標

以上より胴体部の成分安定微係数は計算できる。

$$\left. \begin{aligned} (C_{z\alpha'})_B &= 0, & (C_{m\alpha'})_B &= 0 \\ (C_{zq'})_B &= -4, & (C_{mq'})_B &= -2 \\ (C_{z\dot{\alpha}'}_B &= -4, & (C_{m\dot{\alpha}'}_B &= -2 \\ (C_{z\dot{q}'}_B &= -2, & (C_{m\dot{q}'}_B &= -\frac{4}{3} \end{aligned} \right\} (8.22)$$

$$\left. \begin{aligned} (C_{Y\beta'})_B &= 0, & (C_{n\beta'})_B &= 0 \\ (C_{Yr'})_B &= 4, & (C_{nr'})_B &= -2 \\ (C_{Y\dot{\beta}'}_B &= -4, & (C_{n\dot{\beta}'}_B &= 2 \\ (C_{Y\dot{r}'}_B &= 2, & (C_{n\dot{r}'}_B &= -\frac{4}{3} \end{aligned} \right\} (8.23)$$

$$(C_{l_p'})_B = 0, \quad (C_{l_{\dot{p}'})} = 0 \quad (8.24)$$

8.3 主翼部成分安定微係数

ここでは 7. に述べたような計算精度の向上を計るために次の三つの計算が必要である。(1)翼胴結合体に細長体理論を適用, (2)翼単独に細長体理論を適用, (3)翼単独に線型理論を適用

(1)細長体理論による翼胴体の成分安定微係数

- 基準点; 全翼面積中心
- 基準軸; 機体軸
- 基準面積; 全翼面積
- 基準長; 平均空力翼弦長

$$(A_{11'})_{W,b} = \frac{\pi}{S_W} a^2, \quad (A_{11'})_{W,n} = \frac{\pi}{S_W} a^2 \quad (8.25)$$

$$(A_{22'})_{W,b} = \frac{\pi}{S_W} \cdot a^2 \left\{ \frac{s^2}{a^2} - 1 + \frac{a^2}{s^2} \right\} \quad (8.26)$$

$$(A_{22'})_{W,n} = \frac{\pi a^2}{S_W} \quad (8.26)$$

$$(\Delta B_{11'})_W = \frac{\pi a^2}{S_W} \cdot \frac{x'_{W,b}}{l_W} \quad (8.27)$$

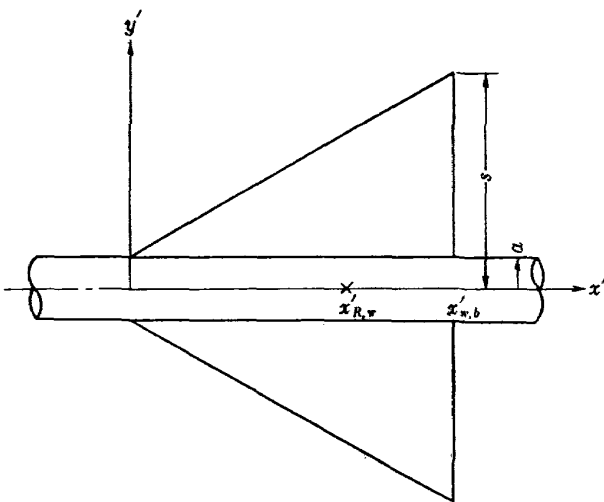


図 15 主翼部

$$(\Delta B_{22'})_W = \frac{\pi a^2}{S_W} \cdot \frac{x'_{W,b}}{l_W} \left\{ \frac{\left(\frac{s}{a}\right)^2 + \frac{s}{a} + 1}{3} - 1 + \frac{1}{\frac{s}{a}} \right\} \quad (8.28)$$

$$(\Delta C_{11'})_W = -\frac{\pi a^2}{2S_W} \left\{ \left(\frac{x'_{W,b}}{l_W} - \frac{x'_{R,W}}{l_W} \right)^2 - \left(\frac{x'_{R,W}}{l_W} \right)^2 \right\} \quad (8.29)$$

$$(\Delta C_{22'})_W = -\frac{\pi a^2}{S_W} \left(\frac{x'_{W,b}}{l_W} \right)^2 \left\{ \frac{3\left(\frac{s}{a}\right)^2 + 2\frac{s}{a} + 1}{12} - \frac{1}{2} + \frac{\frac{a}{s} - 1 + \log_e\left(\frac{s}{a}\right)}{\left(\frac{s}{a} - 1\right)^2} \right\} + (\Delta B_{22'})_W \frac{x'_{R,W}}{l_W} \quad (8.30)$$

$$(\Delta D_{11'})_W = \frac{\pi a^2}{3S_W} \left\{ \left(\frac{x'_{W,b}}{l_W} - \frac{x'_{R,W}}{l_W} \right)^3 - \left(\frac{x'_{R,W}}{l_W} \right)^3 \right\} \quad (8.31)$$

$$(\Delta D_{22'})_W = \frac{\pi a^2}{S_W} \left(\frac{x'_{W,b}}{l_W} \right)^3 \left\{ \frac{6\left(\frac{s}{a}\right)^2 + 3\left(\frac{s}{a}\right) + 1}{30} + \frac{\frac{s}{a} - \frac{a}{s} - 2 \log_e \frac{s}{a}}{\left(\frac{s}{a} - 1\right)^3} - \frac{1}{3} \right\} + 2 \frac{x'_{R,W}}{l_W} (\Delta C_{22'})_W - \left(\frac{x'_{R,W}}{l_W} \right)^2 \times (\Delta B_{22'})_W \quad (8.32)$$

$$(\Delta A_{33'})_W = \frac{\pi}{S_W} \cdot \frac{s^4}{8l_W^2} \cdot \frac{C_{l_p}}{(C_{l_p})_{a=0}} \quad (8.33)$$

以上より 6. に述べた成分安定微係数を求める諸式を用いて翼胴結合体としての値が計算できる。

(2)細長体理論による翼単独の成分安定微係数

基準点, 基準軸, 基準面積および基準長を(1)と同じようにとると式 (8.25)~式 (8.33) で $a=0$ とした結果がそのまま利用できる。

(3)超音速線型理論による翼単独の成分安定微係数

基準量をそれぞれ(1)と同じようにとると式 (7.2)~式 (7.14) が利用できる。

以上の三方法による $M=1.3$ での一計算例を表 2

表 2 主翼部成分安定微係数 $M=1.3$

	翼単独線型理論	翼単独細長体理論	翼胴体細長体理論	式(7.18)による最終的推定値
$(C_{2a'})_W$	-3.03	-3.63	-3.48	-2.48
$(C_{2q'})_W$	-1.22	-3.63	-3.67	-1.06
$(C_{2a'})_W$	1.40	-3.63	-3.45	1.14
$(C_{ma'})_W$	0	0	-0.11	-0.09
$(C_{mq'})_W$	-0.91	-1.36	-1.21	-0.69
$(C_{m\dot{a}'}_W$	0.17	-0.45	-0.48	0.16
$(C_{lp'})_W$	-0.65	-0.68	-0.71	-0.58

表 3 垂直尾翼部分安定微係数, $M=1.3$

	翼単独線型理論	翼単独細長体理論	翼胴体細長体理論	成分値
$(C_{Y\beta'})_T$	-3.03	-3.63	-3.19	-2.28
$(C_{Yr'})_T$	1.22	3.63	3.70	1.06
$(C_{Y\beta'})_T$	1.40	-3.63	-3.19	-1.05
$(C_{n\beta'})_T$	0	0	0.26	0.22
$(C_{nr'})_T$	-0.91	-1.36	-1.04	-0.60
$(C_{n\beta'})_T$	-0.17	0.45	0.49	-0.16
$(C_{l\beta'})_T$	-0.87	-1.05	-1.38	-0.98
$(C_{lr'})_T$	0.35	1.05	1.60	0.46
$(C_{lp'})_T$	-0.65	-0.68	-0.73	-0.60
$(C_{yp'})_T$	-2.25	-2.36	-1.69	-1.38
$(C_{np'})_T$	0	0	0	0

に示した。修正係数 η は表1によった。

8.4 垂直尾翼部成分安定微係数

垂直尾翼は 60° 後退角の三角翼であり縦の主翼部成分安定微係数の結果が大部分利用できる。

基準点; 胴体中心コードの $2/3$ の点

基準軸; 機体軸

基準面積; 全尾翼面積

基準長; 胴体中心コードの $2/3$

以上の様に基準量が定義されるとき、翼単独に対しては次の置換で成分安定微係数が知れる。

$$\left. \begin{aligned} (C_{Y\beta'})_T &= (C_{2a'})_W & (C_{n\beta'})_T &= -(C_{ma'})_W \\ (C_{Yr'})_T &= -(C_{2q'})_W & (C_{nr'})_T &= (C_{mq'})_W \\ (C_{Y\beta'})_T &= (C_{2a'})_W & (C_{n\beta'})_T &= -(C_{ma'})_W \\ (C_{Yr'})_T &= -(C_{2q'})_W & (C_{nr'})_T &= (C_{mq'})_W \\ & & (C_{lp'})_T &= (C_{lp'})_W \\ & & (C_{l\dot{p}'}_T &= (C_{l\dot{p}'}_W \end{aligned} \right\} \quad (8.34)$$

翼胴結合体に対して成分安定微係数を求める場合にもやはり主翼部成分安定微係数の項で計算した式(8.25)~式(8.33)が利用でき、そこで尾翼部の a および S_T, s, \dots 等を用いればよい。これらより垂直尾翼部の成分安定微係数の計算は式(7.18)と同じ

方法により、計算され、また η は表1を用いた。

しかしながら垂直尾翼にあつては主翼の場合と異り $(C_{Yp'})_T, (C_{np'})_T, (C_{l\beta'})_T, (C_{lr'})_T$ の値が存在する。これらに関しては垂直尾翼部に作用する空気力の着点を垂直尾翼露出部の面積中心であると仮定して次のような簡単な関係式で推定しておく。

$$(C_{Yp'})_T = \frac{(C_{lp'})_T}{(y_T'/l_T)} \quad (8.35)$$

$$(C_{np'})_T = \frac{x'_{R,T} - x_T'}{l_T} (C_{Yp'})_T \cong 0 \quad (8.36)$$

$$(C_{l\beta'})_T = \frac{y_T'}{l_T} (C_{Y\beta'})_T \quad (8.37)$$

$$(C_{lr'})_T = \frac{y_T'}{l_T} (C_{Yr'})_T \quad (8.38)$$

以上の方法による垂直尾翼部成分安定微係数の $M=1.3$ での一計算例を表3に示す。

これら成分安定微係数の全機への合成は式(6.19)~式(6.54)によるとよいが、 $C_{Yp}, C_{np}, C_{l\beta}, C_{lr}$ は次式による。

$$C_{Yp} = (C_{Yp'})_T \cdot \frac{S_T}{S_R} \cdot \frac{l_T}{l_R} \quad (8.39)$$

$$\begin{aligned} C_{np} &= (C_{np'})_T \cdot \frac{S_T}{S_R} \left(\frac{l_T}{l_R}\right)^2 - (C_{Yp'})_T \\ &\quad \times \frac{S_T}{S_R} \cdot \frac{l_T}{l_R} \cdot \frac{x_{R,T} - x_R}{l_R} \end{aligned} \quad (8.40)$$

$$C_{l\beta} = (C_{l\beta'})_T \cdot \frac{S_T}{S_R} \cdot \frac{l_T}{l_R} \quad (8.41)$$

$$\begin{aligned} C_{lr} &= (C_{lr'})_T \cdot \frac{S_T}{S_R} \left(\frac{l_T}{l_R}\right)^2 - 2(C_{l\beta'})_T \cdot \\ &\quad \times \frac{S_T}{S_R} \cdot \frac{l_T}{l_R} \cdot \frac{x_{R,T} - x_R}{l_R} \end{aligned} \quad (8.42)$$

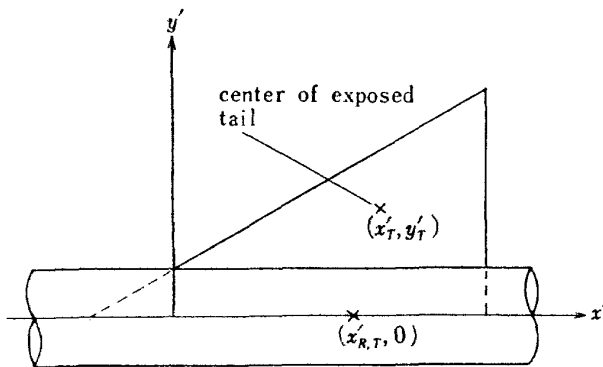


図 16 垂直尾翼の座標

8.5 全機の動安定微係数

基準点; 重心
 基準軸; 機体軸
 基準面積; 主翼面積

基準長; 縦の微係数に対しては主翼平均空力翼弦長, 横の微係数に対しては主翼スパン
 以上の基準量を用いて計算された全機としての動安定微係数のうち主なものを図 17 および図 18 に記し,

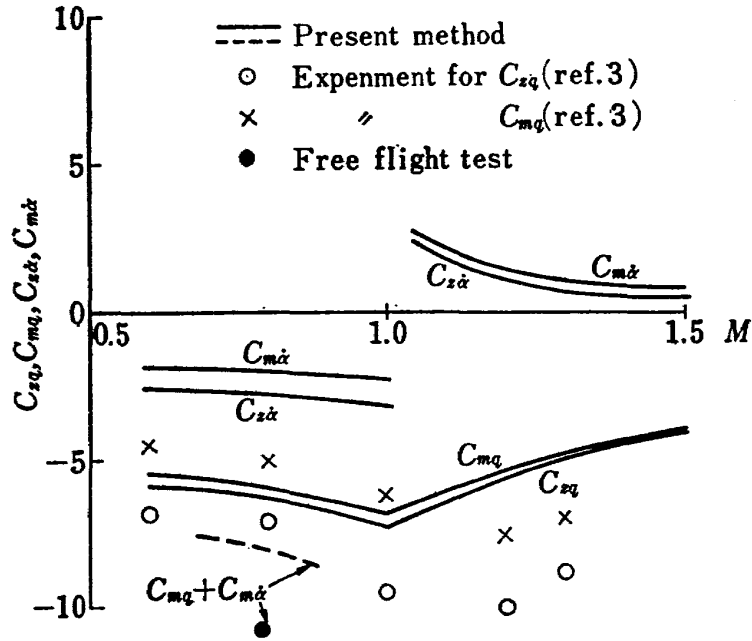


図 17 longitudinal dynamic stability derivatives of FFM-10

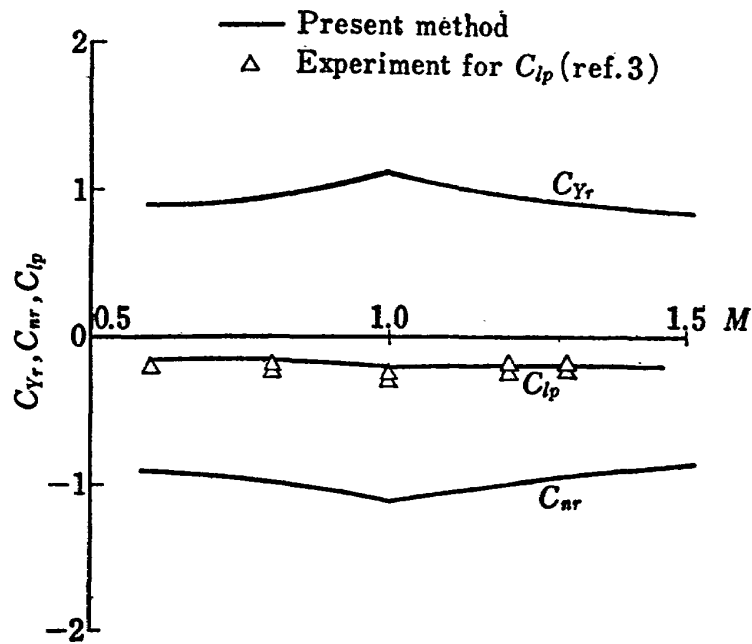


図 18 lateral dynamic stability derivatives of FFM-10

あわせて本機に対して当所 2m×2m 遷音速風洞で行なわれた動安定試験結果^{3),4)}、および FFM-10 の飛しよう試験により得られた値をプロットしておいた。これらより本推定方法でかなり良く動安定微係数を推定でき初期設計には十分役立つものと思われる。

む す び

自由飛行模型 FFM-10 を対象として、その動安定微係数を計算する手順を示し二種の三角翼を有する超音速機形態の模型に適用し、それらの実験値と比較し、さらに FFM-10 に対する動安定微係数の推定計算を行なった。その結果から次のように結論づけられる。

(1) apparent mass method によるものと比較し、本方法ではマッハ数に対する傾向が知れ、ほぼ妥当な傾向を有しているものと思われる。

(2) 計算された動安定微係数の値そのものは、実験結果とよい一致を見る場合もあり、一致しない場合もある。しかしながら実験値自身も幾分誤差を有していることを考えあわせるとき、一応本方法は三角翼を有する超音速機形態の航空機の動安定微係数推定の手がかりになると思う。

文 献

1) William C. Pitts, Jack N. Nielsen and George E. Kaattari; Lift and Center of Pressure of Wing-Body-Tail Combinations at Subsonic, Transonic, and Supersonic Speeds, NACA

Report 1307

- 2) 小橋安次郎, 宮沢政文; 二段式ロケット飛しょう体の揚力および圧力中心推定法, 航空宇宙技術研究所資料 TM-30
- 3) 河崎俊夫, 斎藤秀夫, 河本 巖; 自由飛行模型 FFM-10 の空力特性について, 航空宇宙技術研究所報告 TR-210, 1970
- 4) 小橋安次郎, 河野長正, 西 武徳, 宮沢政文; 回転式動安定測定装置による遷音速試験, 航空宇宙技術研究所報告 TR-196, 1970
- 5) Jack N. Nielsen; Missile Aerodynamics, Mcgraw-Hill Book Company, 1960
- 6) Herbert S. Ribner and Frank S. Malvestuto, Jr.; Stability Derivatives of Triangular Wings at Supersonic Speeds, NACA TR 908
- 7) Harvard Lomax and Max A. Heaslet; Damping-in-roll Calculations for Slender Swept-back Wings and Slender Wing-Body Combinations, NACA TN 1950, Sept. 1949
- 8) G.L. Mitcham, N.L. Crabill and J.E. Stevens; Flight Determination of the Drag and Longitudinal Stability and Control Characteristics of a Rocket-Powered Model of a 60° Delta-Wing Airplane from Mach Number of 0.75 to 1.70, NACA RM L51 I04
- 9) H.F. Emerson and R.C. Robinson; Experimental Wind Tunnel Investigation of the Transonic Damping in Pitch Characteristics of Two Wing-Body Combinations, NASA MEMO 11-30-58A
- 10) Bryson, Arthur E., Jr.; Comment on the Stability Derivatives of a Wing-Body-Vertical Tail Configuration, J. Aeronaut. Sci., vol. 21, no. 1, p. 59, 1954

付録 Apparent Mass Coefficients

A. Line:

$$m_{11}=0$$

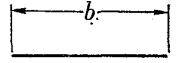
$$m_{12}=0$$

$$m_{13}=0$$

$$m_{22}=\frac{\pi\rho b^2}{4}$$

$$m_{23}=0$$

$$m_{33}=\frac{\pi\rho b^4}{128}$$



B. Circle:

$$m_{11}=\pi\rho a^2$$

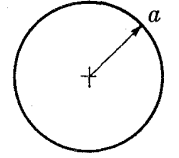
$$m_{12}=0$$

$$m_{13}=0$$

$$m_{22}=\pi\rho a^2$$

$$m_{23}=0$$

$$m_{33}=0$$



C. Ellipse:

$$m_{11}=\pi\rho a^2$$

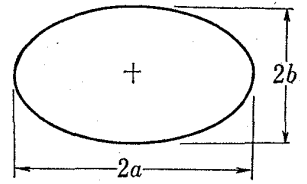
$$m_{12}=0$$

$$m_{13}=0$$

$$m_{22}=\pi\rho b^2$$

$$m_{23}=0$$

$$m_{33}=\frac{\pi\rho(a^2-b^2)^2}{8}$$



D. Planar midwing, circular body:*

$$m_{11}=\pi\rho a^2$$

$$m_{12}=0$$

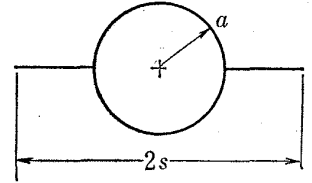
$$m_{13}=0$$

$$m_{22}=\pi\rho s^2\left(1-\frac{a^2}{s^2}+\frac{a^4}{s^4}\right)$$

$$m_{23}=0$$

$$m_{33}=\frac{\pi\rho s^4}{8} \quad \text{if } a=0$$

$$m_{33}=\frac{\rho s^4}{2\pi} \left\{ \left[(1+R^2)^2 \tan^{-1} \frac{1}{R} \right]^2 + 2R(1-R^2)(R^4-6R^2+1) \tan^{-1} \frac{1}{R} - \pi^2 R^4 + R^2(1-R^2)^2 \right\} \quad \text{where } R=\frac{a}{s}$$



E. Cruciform wing, circular body;

$$m_{11}=\pi\rho s^2\left(1-\frac{a^2}{s^2}+\frac{a^4}{s^4}\right)$$

$$m_{12}=0$$

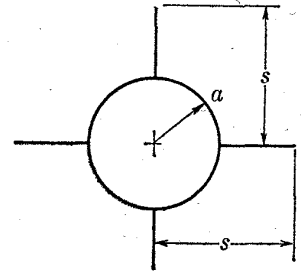
$$m_{13}=0$$

$$m_{22}=\pi\rho s^2\left(1-\frac{a^2}{s^2}+\frac{a^4}{s^4}\right)$$

$$m_{23}=0$$

$$m_{33}=\frac{2\rho s^4}{\pi} \quad \text{if } a=0$$

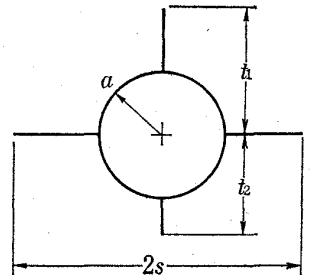
$$m_{33}: \text{付図 1} \quad \text{if } a \neq 0$$



F. Midtail empennage with circular body:

$$m_{11}=\frac{\pi\rho s^2}{4} \left\{ \frac{t_1^2}{s^2} \left(1+\frac{a^4}{t_1^4}\right) + \frac{t_2^2}{s^2} \left(1+\frac{a^4}{t_2^4}\right) - 2\left(1+\frac{a^4}{s^2}\right) + 2 \left[\left(1+\frac{a^4}{s^2 t_1^2}\right) \left(1+\frac{t_1^2}{s^2}\right) \left(1+\frac{a^4}{s^2 t_2^2}\right) \left(1+\frac{t_2^2}{s^2}\right) \right]^{1/2} \right\}$$

$$m_{12}=0$$



* 文献5によると m_{33} の係数が $\frac{\pi\rho s^4}{8}$ となっているが、原著文献7より計算を行ってみると $\frac{\rho s^4}{2\pi}$ となり、ここではこの値を採用した。

m_{13} : See Ref. 10

$$m_{22} = \pi \rho s^2 \left(1 - \frac{a^2}{s^2} + \frac{a^4}{s^4} \right)$$

$$m_{23} = 0$$

G. Multifinned body, three or more fins:

$$m_{11} = m_{22}$$

$$= 2\pi \rho s^2 \left\{ \left[\frac{1 + (a^2/s^2)^{n/2}}{2} \right]^{4/n} - \frac{1}{2} \left(\frac{a}{s} \right)^2 \right\}$$

$$m_{12} = 0$$

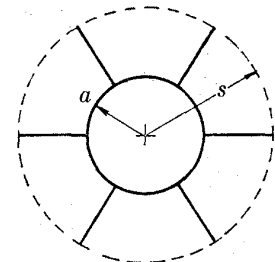
$$m_{13} = 0$$

$$m_{23} = 0$$

$$m_{33} = 0.533 \rho s^4 \quad n=3 \quad a=0$$

$$m_{33} = \frac{2\rho s^4}{\pi} \quad n=4 \quad a=0$$

$$m_{33} = \frac{\pi \rho s^4}{2} \quad n=\infty \quad a=0$$



n fins

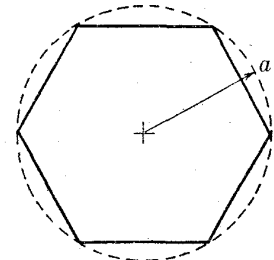
H. Regular inscribed polygon:

$$m_{11} = m_{22} = 0.654 \pi \rho a^2 \quad n=3$$

$$= 0.787 \pi \rho a^2 \quad n=4$$

$$= 0.823 \pi \rho a^2 \quad n=5$$

$$= 0.867 \pi \rho a^2 \quad n=6$$



n sides

I. Tangent-tail empennage, circular body:

$$m_{11} = 2\pi \rho \left\{ c^2 - \frac{a^2}{2} + \frac{4c^2 \sin \lambda \cos^2(\lambda/2)}{3(\lambda + \sin \lambda)} \left[\sin^2 \frac{\lambda}{2} - \frac{3\lambda \cos^2(\lambda/2)}{\lambda + \sin \lambda} \right] + 2(r^2 - c^2) \right\}$$

$$m_{22} = 2\pi \rho \left\{ c^2 - \frac{a^2}{2} - \frac{4c^2 \sin \lambda \cos^2(\lambda/2)}{3(\lambda + \sin \lambda)} \left[\sin^2 \frac{\lambda}{2} - \frac{3\lambda \cos^2(\lambda/2)}{\lambda + \sin \lambda} \right] \right\}$$

$$m_{12} = 0$$

$$m_{23} = 0$$

where

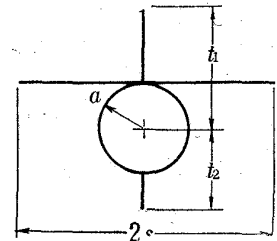
$$\frac{a}{s} = \frac{1}{\pi} \left\{ \sin h^{-1} \left(\frac{\lambda}{2} \tan \frac{\lambda}{2} \right)^{1/2} + \left[\frac{\lambda}{2} \tan \frac{\lambda}{2} + \left(\frac{\lambda}{2} \right)^2 \cdot \tan^2 \frac{\lambda}{2} \right]^{1/2} \right\}$$

$$\frac{c}{a} = \frac{\pi}{\lambda + \sin \lambda}$$

$$2 + \frac{t_1}{a} = \frac{\pi}{\frac{\lambda}{h/c+1} + \tan^{-1} \frac{\sin \lambda}{h/c - \cos \lambda}}$$

$$\frac{t_2}{a} = \frac{\pi}{\frac{\lambda}{f/c-1} + \tan^{-1} \frac{\sin \lambda}{f/c + \cos \lambda}}$$

$$r = \frac{1}{4} \left(h + \frac{c^2}{h} + f + \frac{c^2}{f} \right)$$



J. Midtail empennage, elliptical body:

$$m_{11} = \pi \rho (4c^2 - k^2 - 2ab - b^2)$$

$$m_{22} = \frac{\pi \rho}{(a-b)^2} [s^2(a^2 + b^2) + 2ab^2(a-b) - 2abs(s^2 - a^2 + b^2)^{1/2}]$$

$$k = \frac{as - b(s^2 + a^2 - b^2)^{1/2}}{a-b}$$

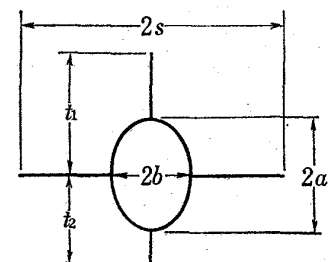
$$c = \frac{f_1 + f_2}{4}$$

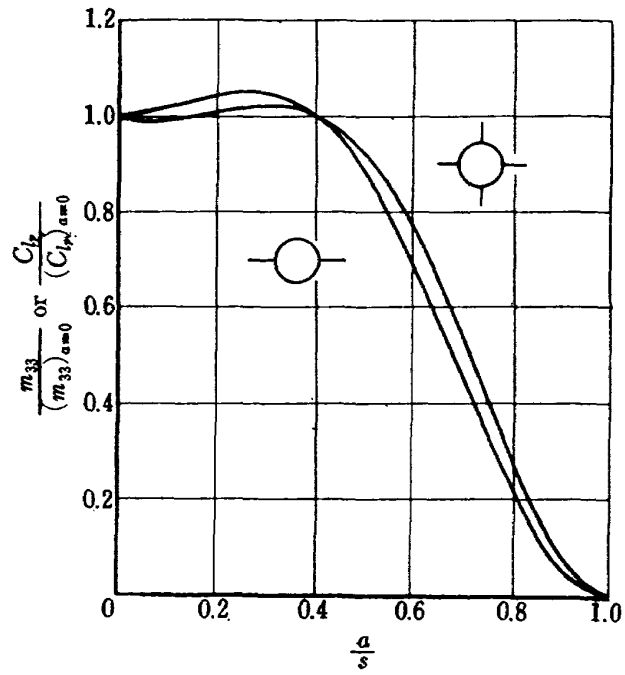
$$f_{1,2}^2 = k^2 + \left[\tau_{1,2} + \frac{(a+b)^2}{4\tau_{1,2}} \right]^2$$

$$\tau_{1,2} = 1/2 [t_{1,2} + (t_{1,2} - a^2 + b^2)^{1/2}]$$

$$m_{12} = 0$$

$$m_{13} = 0$$





付図 1 Effect of body radius on damping in roll for fixed span

TM-187	推力 300kg ジンバル液体ロケットエンジンの揺動特性 (I)	1970年11月	植崎哲二, 中野富雄 橋本亮平, 竹花真一郎
TM-188	自由飛行模型 FFM-10 の空力微係数におよぼす機体弾性変形の影響について	1970年11月	河崎俊夫, 河本 敲 戸田 勸
TM-189	燃料蒸発管に関する研究 (III) 管内の燃料・空気二相流への熱伝達	1970年12月	田丸 卓, 乙幡安雄 鈴木邦男
TM-191	大型電子計算機プログラム・ライブラリ	1970年12月	戸川隼人, 磯部俊夫
TM-192	極超音速風洞M9 ノズル較正試験	1971年1月	長洲秀夫, 橋本 登 穂積弘一, 松崎貴至
TM-194	航空機の STOL 性に関する一考察	1971年1月	田辺義一
TM-195	曲面壁上の噴流に対する噴出孔形状, 配列の効果について	1971年1月	西村英明, 白井 弘 井上重雄, 三村富嗣雄
TM-196	NAL-16H 型ロケットの研究試作	1971年1月	宇宙研究グループ
TM-197	二次元煙風洞について	1971年1月	高橋 宏, 戸田亘洋 白井正孝
TM-198	等高線を描かせるプログラム	1971年1月	磯部俊夫
TM-199	航空機用ヒーターの燃焼器の開発実験	1971年2月	堀内正司, 本間幸吉 矢 菫 一
TM-202	単発 STOL 実験機に関する研究 —テレメータ実験局の電界強度測定—	1971年6月	幸尾治朗, 小野孝次 矢沢健司, 塚野雄吉
TM-203	固体ロケットの比推力測定の標準化	1971年6月	五代富文, 岡部祐二郎 清水昭紀, 伊藤克弥 西村久男
TM-204	サーボ機構の過渡応用改善用デジタルコントローラについて	1971年7月	小川 敏一, 島村正人

注: 欠番は配布先を限定したもの

航空宇宙技術研究所資料205号

昭和46年7月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町1880
電話武蔵野三鷹(0422)44-9171(代表)☎182

印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川 2~27~12
