

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-159

T型結合板の振動

塙 武敏 築地恒夫 越出慎一

1968年7月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 報 告

- TR-136 Nearly-Free-Molecule-Flow におけるオリフィス型圧力管
Experimental Study of an Orifice-Type Pressure Probe in Nearly-Free-Molecule Flow 1967年5月 恩地 瑛, 山本稀義
- TR-137 梁, 板結合構造物の振動 (I)
On the Natural Vibration of Plate-Beam Combination Structures (I) 1967年6月 越出 慎一, 林 洋一
塙 武敏
- TR-138 変厚片持板の静撓みについて
Deflection Analysis of Variable Thickness Cantilever Plate 1967年7月 塙 武敏, 越出 慎一
- TR-139 多発動機付ヘリコプタの片発停止時における最適着陸操作—前進速度0の場合—
Optimal Vertical Descent Procedure with Partial Power of Multi-Engined Helicopters
—The Case of Rejected Take-Off— 1967年8月 古茂田 真幸
- TR-140 流線法によるダクト流れ
Streamline-Curvature Approach to Duct Flow Problems 1967年9月 藤井昭一, 宇野 威信
- TR-141 マトリクス内力法による半張殻構造の応力解析について
Semi-Monocoque Structures Solved Numerically by the Matrix Force Method 1967年10月 川島 矩郎
- TR-142 動的模擬模型による姿勢のオンオフ制御実験
Experimental Studies on Some On-Off Attitude Control Systems Using a Dynamic Model 1967年10月 樋口 一雄, 堀川 勇壮
村上 力, 小川 敏雄
真柳 光美
- TR-143 高負荷燃焼器の一次燃焼領域の研究
Experimental Studies on the Primary Zone of High-Intensity Combustors 1967年10月 大塚 貞吉, 鈴木 邦男
相波 哲朗, 石井 浅五郎
広瀬 健樹
- TR-144 円管流の非定常熱伝達
—第2報 薄い壁の場合—
Transient Heat Transfer through a Thin Circular Pipe Due to Unsteady Flow in the Pipe 1967年11月 林 二識, 井上 建二
- TR-145 ロケット用耐熱材料の研究
Study on the Heat Insulation Materials for Rocket 1967年11月 古田 敏康
- TR-146 半導体歪ゲージを用いる小型高感度加速度計の研究
Study on the Miniature Type High Sensitivity Accelerometer Using Semiconductor Strain Gages 1967年11月 田畑 浄治, 大坪 孔治
滝沢 実
- TR-147 固体ロケットモータのノズルにおける熱伝達の実験的研究
—プロペラント内へ添加されたアルミニウムの影響—
An Experimental Investigation of Heat Transfer in the Nozzle of High-Aluminized Solid Rocket 1968年2月 五代 富文, 湯沢 克宣
伊藤 克弥, 西村 久男
- TR-148 失速角以上で振動する翼のまわりの流れの観察
—失速フラッタの研究 (I)—
Optical Observation of the Separated Flow around an Oscillating Aerofoil at High Mean Angles of Attack with Special Reference to Stall Flutter 1968年2月 中村 泰治, 磯貝 紘二
江尻 宏

T型結合板の振動*

境 武敏**・築地恒夫**・越出慎一**

The Vibration of A T-Shape Plates Structure

By Taketoshi HANAWA, Tsuneo TSUIJI and Shinichi KOSHIDE

The vibration of a structure consisting of plates is analyzed by the same procedure that was used in the analysis for a single plate²⁾.

The in-plane and out-of-plane vibrations, in general, exist for these structures. Since it could be expected that the in-plane vibration occurs at very high frequency, only the out-of-plane vibration, the bending vibration, is considered in this report.

This implies that in the analysis the strains in plates due to tension and compression can be neglected as small quantities compared to those due to bending.

Experiments results, which were obtained by four kinds of specimens, are also compared with the analytical results. They were fabricated three ways, namely welding, mechanical jointing and bonding.

Test results show that the method used in this report is applicable to analyze the vibration of structures consisting of plates.

1. 緒 言

先に板および板梁結合系の振動について、エネルギー法による計算結果と実験値との比較を示し、その実用性について検討してきたが¹⁾、今回は同じ解法による結合板の振動計算および実験結果について示す。

結合板の実例は種々あると思うが、ここではT型尾翼部の基礎となる垂直板と水平板との結合系を考えることにし、垂直板の付根は固定された系の例についておこなう。この座標を図1, 2に示す。

エネルギー法の直接解法では、試験関数を選び各エネルギーを求め、全エネルギー最小の原理から、試験関数に含まれる未知定数を決めるわけであるが、系が複雑になると、試験関数に数種類の関数を仮定して、これらの関数が結合条件を満たすようにして、各試験関数を定める必要がある。ここに示した例はその一例であるが、特殊な例でもあるので、この場合には、一般的な試験関数を単純化して物理的に明りょうなものとして計算した。

記 号

x, y, z : 垂直板 (P_1) の直角座標系

ξ, η, ζ : 水平板 (P_2) の直角座標系

${}_i u$: x 方向 ($i=1$) ξ 方向 ($i=2$)
 ${}_i v$: y 方向 ($i=1$) η 方向 ($i=2$)
 ${}_i w$: z 方向 ($i=1$) ζ 方向 ($i=2$) } の変位

${}_i \theta_j$: j 軸回りの回転角

S_i : 接線方向成分

n_i : 法線方向成分

${}_i D$: 板任意点の曲げ剛性 ($={}_i E_i h^3 / 12(1-\nu^2)$)

${}_i h$: 板任意点の厚さ

${}_i D_r$: 最高板厚部の曲げ剛性

${}_i h_r$: 最高板厚

${}_i E$: 板材のヤング率

${}_i \rho$: 板材の密度

ν : 板材のポアソン比

α_i : 板各縁の法線と x 軸 ($i=1$) あるいは ξ 軸 ($i=2$) とのなす角

I_G : P_2 の重心回りの回転モーメント

g : 重力加速度

λ_n : 振動数パラメータ ($=\omega_1 \rho_1 h_r / {}_1 D_r$)
ここで ω は角振動数

a : 垂直板 固定端部分の長さ

b : 垂直板の高さ

c : 水平, 垂直板の結合部分の長さ

α, β : 垂直板の前縁および後縁の後退角

* 昭和43年5月13日受付

** 機体第二部

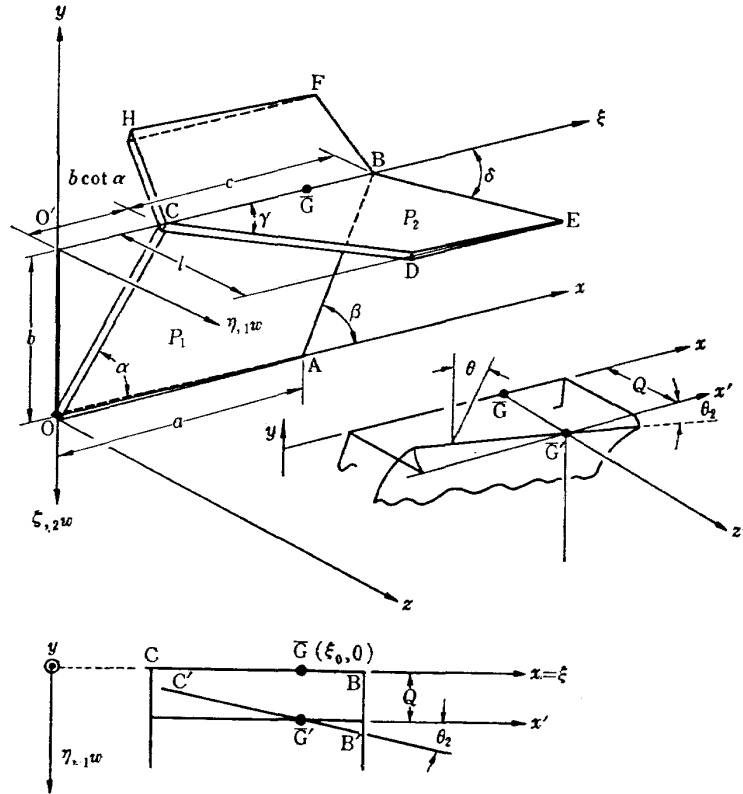


図 1 座 標 系 (1)

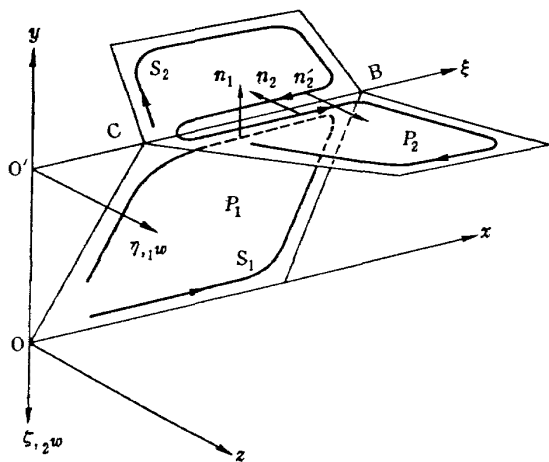


図 2 座 標 系 (II)

γ, δ : 水平板の前縁および後縁の後退角

$f_{gh}, d_{pq}, b_{kl}, e_{uv}, c_{rs}, a_{mn}$: 変位の試験関数の任意常数

なおこれ以外の特殊な記号に関してはそのつど説明を付記する。

添字 i : 板の種類を示す

$i=1$ 垂直板, $i=2$ 水平板

変位の項 x, y, ξ, η, ζ : 各成分での偏微分を示す。

n : 振動の次数を示す

任意常数 $g, h, p, q, b, l, t, u, r, s, m, n$: 冪数を示す。

2. エネルギー式とその変分

変位は微小変位として、図 1, 2 に示すような試験片についての座標での結合系を吟味する。

ξ, η 面に水平板 P_2 , x, y 面に垂直板 P_1 をとり P_1, P_2 面の結合辺は、 \overline{CB} 直線部分で ξ 軸上にあるものとする。また P_1, P_2 面の結合は剛であるものとする。

P_1, P_2 面の歪エネルギーを先づ求め最小にすべきポテンシャルエネルギーを求める。この場合 P_1, P_2 面の変位 u, v, w および u, v, w にはおのおのなんらの束縛もない独立な試験関数とすると、 P_1, P_2 に関する各エネルギーは独立に求められる。この場合、 u, v, w 間にもなんらの束縛もない独立な変位としエネルギー計算は第一次近似を仮定する。

求める最小にすべき汎関数を π とすると、 π は次式のように w および u, v の各試験関数に関しおのおのが独立に求められ、

$$\begin{aligned} \pi = & \iint_{P_2} \left[\frac{2D}{2} \{ w_{\xi\xi}^2 + w_{\eta\eta}^2 + 2\nu w_{\xi\xi} w_{\eta\eta} \right. \\ & \left. + 2(1-\nu) w_{\xi\eta}^2 \right] - \frac{\omega^2 2\rho}{2} \int h(\xi, \eta) w^2 d\xi d\eta \\ & + \iint_{P_1} \left[\frac{2E_2 h(\xi, \eta)}{2(1-\nu^2)} \{ u_\xi^2 + v_\eta^2 + 2\nu u_\xi v_\eta \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1-\nu}{2} (u_\eta + v_\xi)^2 \Big\} \\
& - \frac{\omega^2 \rho_2}{2} h(\xi, \eta) ({}_2u^2 + {}_2v^2) \Big] d\xi d\eta \\
& + \iint_{P_1} \left[\frac{1D}{2} \{w_{xx}^2 + w_{yy}^2 + 2\nu w_{xx} w_{yy}\} \right. \\
& \quad \left. + 2(1-\nu)w_{xy}^2 \right] - \frac{\omega_1^2 \rho}{2} h(x, y) ({}_1w^2) \Big] dx dy \\
& + \iint_{P_1} \left[\frac{1E_1 h(x, y)}{2(1-\nu^2)} \{u_x^2 + v_x^2 + 2\nu u_x v_x\} \right. \\
& \quad \left. + \frac{1-\nu}{2} (u_y + v_x)^2 \right] \\
& - \frac{\omega^2 \rho_1}{2} h(x, y) ({}_1u^2 + {}_1v^2) \Big] dx dy \quad (1)
\end{aligned}$$

となる。

${}_1u$, ${}_1v$, ${}_1w$ および, ${}_2u$, ${}_2v$, ${}_2w$ について変分すれば, 次式を得る。

$$\begin{aligned}
\delta\pi = & \iint_{P_2} {}_2D(w_{\xi\xi\xi\xi} + 2w_{\xi\eta\xi\eta} + w_{\eta\eta\eta\eta}) \\
& + 2D_\xi(w_{\xi\xi} + w_{\eta\eta})_\xi + 2D_\eta(w_{\eta\eta} + w_{\xi\xi})_\eta \\
& + D_{\xi\xi}(w_{\xi\xi} + \nu w_{\eta\eta}) + D_{\eta\eta}(w_{\eta\eta} + \nu w_{\xi\xi}) \\
& + 2(1-\nu)D_{\xi\eta}w_{\xi\eta} - \omega^2 \rho_2 h_2 w \Big\} \delta_2 w dx dy \\
& + \iint_{P_1} \{ {}_1D(w_{xxxx} + 2w_{xyxy} + w_{yyyy}) \\
& + 2D_x(w_{xx} + w_{yy})_x + 2D_y(w_{yy} + w_{xx})_y \\
& + D_{xx}(w_{xx} + \nu w_{yy}) + D_{yy}(w_{yy} + \nu w_{xx}) \\
& + 2(1-\nu)D_{xy}w_{xy} - \omega^2 \rho_1 h_1 w \Big\} \delta_1 w dx dy \\
& - \iint_{P_2} \left[\frac{{}_2E}{(1-\nu^2)} \left[h_\xi(u_\xi + \nu v_\eta) \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + h_\eta \left(\frac{1-\nu}{2} \right) (u_\eta + v_\xi) + {}_2h \left\{ u_{\xi\xi} + \nu v_{\xi\eta} \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \frac{1-\nu}{2} (u_{\eta\eta} + v_{\xi\eta}) \right\} \right] + \omega^2 \rho_2 h_2 u \Big] \delta_2 u d\xi d\eta \\
& - \iint_{P_1} \left[\frac{{}_1E}{1-\nu^2} \left[h_x(u_x + \nu_1 v_y) \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + h_y \left(\frac{1-\nu}{2} \right) (u_y + v_x) + {}_1h \left\{ {}_1u_{xx} + \nu v_{xy} \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \frac{1-\nu}{2} (u_{yy} + v_{xy}) \right\} \right] + \omega^2 \rho_1 h_1 u \Big] \delta_1 u dx dy \\
& - \iint_{P_2} \left[\frac{{}_2E}{1-\nu^2} \left[h_\eta(v_\eta + \nu u_\xi) + h_\xi \left(\frac{1-\nu}{2} \right) (u_\eta + v_\xi) \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + {}_2h \left\{ v_{\eta\eta} + \nu u_{\xi\eta} + \frac{1-\nu}{2} (u_{\xi\eta} + v_{\xi\xi}) \right\} \right] \right. \\
& \quad \left. \times \omega^2 \rho_2 h_2 v \right] \delta_2 v d\xi d\eta \\
& - \iint_{P_1} \left[\frac{{}_1E}{1-\nu^2} \left[h_y(v_y + \nu u_x) \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + h_x \left(\frac{1-\nu}{2} \right) (u_y + v_x) + {}_1h \left\{ v_{yy} + \nu u_{xy} \right. \right. \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left. \left. + \frac{1-\nu}{2} (u_{xy} + v_{xx}) \right\} \right] + \omega^2 \rho_1 h_1 v \Big] \delta_1 v dx dy \\
& + \int_{s_2} \left[{}_2D \frac{\partial}{\partial S_2} \{ (w_{\xi\xi} + \nu w_{\eta\eta}) \sin \alpha_2 \cos \alpha_2 \right. \\
& \quad + (1-\nu) w_{\xi\eta} (\sin^2 \alpha_2 - \cos^2 \alpha_2) \\
& \quad - (w_{\eta\eta} + \nu w_{\xi\xi}) \sin \alpha_2 \cos \alpha_2 \Big\} \\
& - \{ D_\xi w_{\xi\xi} + D_\eta w_{\xi\eta} + {}_2D(w_{\xi\xi} + w_{\eta\eta})_\xi \\
& \quad + (D_\xi w_{\eta\eta} + D_\eta w_{\xi\eta}) \} \cos \alpha_2 \\
& - \{ D_\eta w_{\eta\eta} + D_\xi w_{\xi\eta} + {}_2D(w_{\xi\xi} + w_{\eta\eta})_\eta \\
& \quad + \nu(D_\eta w_{\xi\xi} + D_\xi w_{\xi\eta}) \} \sin \alpha_2 \Big] \delta_2 w dS_2 \\
& + \int_{s_1} \left[{}_1D \frac{\partial}{\partial S_1} \{ (w_{xx} + \nu w_{yy}) \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 \right. \\
& \quad + (1-\nu) w_{xy} (\sin^2 \alpha_1 - \cos^2 \alpha_1) \\
& \quad - (w_{yy} + \nu w_{xx}) \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 \\
& \quad - \{ D_x w_{xx} + D_y w_{xy} + {}_1D(w_{xx} + w_{yy})_x \\
& \quad + \nu(D_x w_{yy} + D_y w_{xy}) \} \cos \alpha_1 \\
& \quad - \{ D_y w_{yy} + D_x w_{xy} + {}_1D(w_{xx} + w_{yy})_y \\
& \quad \left. \left. + \nu(D_y w_{xx} + D_x w_{xy}) \} \sin \alpha_1 \right] \delta_1 w dS_1 \\
& + \int_{s_2} {}_2D \{ (w_{\xi\xi} + \nu w_{\eta\eta}) \cos^2 \alpha_2 + \\
& \quad + 2(1-\nu) w_{\xi\eta} \sin \alpha_2 \cos \alpha_2 \\
& \quad + (w_{\eta\eta} + \nu w_{\xi\xi}) \sin^2 \alpha_2 \} \frac{\partial(\delta_2 w)}{\partial n_2} dS_2 \\
& + \int_{s_1} {}_1D \{ (w_{xx} + \nu w_{yy}) \cos^2 \alpha_1 \\
& \quad + 2(1-\nu) w_{xy} \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 \\
& \quad + (w_{yy} + \nu w_{xx}) \sin^2 \alpha_1 \} \frac{\partial(\delta_1 w)}{\partial n_1} dS_1 \\
& + \int_{s_2} \frac{{}_2E}{1-\nu^2} \left\{ {}_2h(u_\xi + \nu v_\eta) \cos \alpha_2 \right. \\
& \quad \left. + {}_2h \left(\frac{1-\nu}{2} \right) (u_\eta + v_\xi) \sin \alpha_2 \right\} \delta_2 u dS_2 \\
& + \int_{s_1} \frac{{}_1E}{1-\nu^2} \left\{ {}_1h(u_x + \nu v_y) \cos \alpha_1 \right. \\
& \quad \left. + {}_1h \left(\frac{1-\nu}{2} \right) (u_y + v_x) \sin \alpha_1 \right\} \delta_1 u dS_1 \\
& + \int_{s_2} \frac{{}_2E}{1-\nu^2} \left\{ {}_2h(v_\eta + \nu u_\xi) \sin \alpha_2 \right. \\
& \quad \left. + {}_2h \left(\frac{1-\nu}{2} \right) (u_\eta + v_\xi) \cos \alpha_2 \right\} \delta_2 v dS_2 \\
& + \int_{s_1} \frac{{}_1E}{1-\nu^2} \left\{ {}_1h(v_y + \nu u_x) \sin \alpha_1 \right. \\
& \quad \left. + {}_1h \left(\frac{1-\nu}{2} \right) (u_y + v_x) \cos \alpha_1 \right\} \delta_1 v dS_1 = 0 \quad (2)
\end{aligned}$$

(2)式においてそれぞれ P_1 , P_2 面の全域積分に関しては, u , v , w はそれぞれ独立であるから, u , v , w に対応する変分の係数より, それぞれ Euler の式に相当する, 曲げおよび面内変位についての基礎微分

方程式が得られる。

また、図 1 に示すように、 P_1, P_2 の結合辺、 \overline{CB} 、以外の辺における境界条件は S_1, S_2 のこれらの辺での自然境界条件として得られる。そこで問題となる結合辺 \overline{CB} 辺を吟味することにする。

3. 幾何学的束縛について

\overline{CB} 辺での条件は、 P_1, P_2 が幾何学的に接合している条件から (2) 式のこの辺での境界項は力学的にも関係が生じて来る。これを吟味するために、(2) 式の \overline{CB} 境界項のみをとったつぎの式を考察する。

$$\begin{aligned} & \int_C^B {}_2A \delta_2 w dS_2 + \int_C^B {}_2B \frac{\partial \delta_2 w}{\partial n_2} dS_2 + \int_C^B {}_2C \delta_2 u dS_2 \\ & + \int_C^B {}_2E \delta_2 v dS_2 + \int_B^C {}_1A \delta_1 w dS_1 + \int_B^C {}_1B \frac{\partial \delta_1 w}{\partial n_1} dS_1 \\ & + \int_B^C {}_1C \delta_1 u dS_1 + \int_B^C {}_1E \delta_1 v dS_1 = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

ここに A, B, C, D はおのおの変分項に対応する (2) 式中の係数である。

厳密には図示したように、水平板は \overline{CB} 辺で境界が二重になることになる。このために水平板 P_2 が、 ξ 軸に関して対称である場合には、厳密には \overline{CHFBC} と \overline{CBEDC} との \overline{BC} 辺での境界での条件の和が、 \overline{ABCB} の境界の条件と対応することになる。ここでは \overline{CHFBC} を省略した場合の条件の吟味にとどめた。

この水平板が対称であるために、実際の計算例では、 P_1 板と P_2 板とが独立となる場合、つまり水平板は、 \overline{CB} 辺が固定の条件で、対称な振動モードとなる場合が起る。これは、厳密な考察をすれば、モードの対称と非対称により、 \overline{CB} での力学的条件が P_1 板と独立になる場合と、連成して来る場合とに分れるからであると思われる。

さて P_1 と P_2 とが \overline{CB} 直線辺、つまり、

$$P_2: \eta=0, \quad \zeta=0$$

$$P_1: y=b, \quad z=0$$

で幾何学的に接合されている条件を式で表わすことにする。

まず、 P_1 面を fixed-coordinate として、これを基準にして接合条件を求める。 P_1, P_2 座標の fixed-coordinate への変換は、

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} = L \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (5)$$

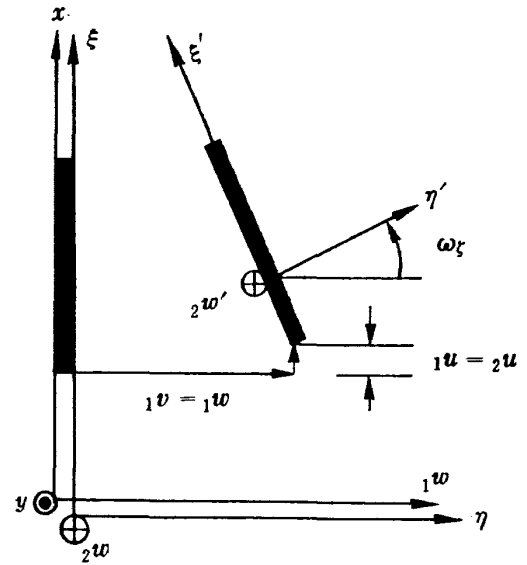


図 3

であるから、fixed-coordinate に関して一般的な幾何学的接合の条件は、

変位の座標条件より、

$$L \begin{pmatrix} {}_2u \\ {}_2v \\ {}_2w \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} {}_1u \\ {}_1v \\ {}_1w \end{pmatrix} \quad (6)$$

傾斜の接合条件は、

$$L \begin{pmatrix} {}_2\theta_\xi \\ {}_2\theta_\eta \\ {}_2\theta_\zeta \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} {}_1\theta_x \\ {}_1\theta_y \\ {}_1\theta_z \end{pmatrix} \quad (7)$$

与えられる。ここに、 ${}_j\theta_j$ は j 軸回りの回転角である。なぜならば、 ξ 軸の CB 結合部において、結合辺が変位したときを吟味すると、厳密には変位したところでの傾斜に関する関係式は、 P_2 面で、

$$\left. \begin{aligned} {}_2\theta_\zeta &\cong \frac{1}{2} \left(\frac{\partial_2 v}{\partial \xi} - \frac{\partial_2 u}{\partial \eta} \right) \\ {}_2\theta_\eta &\cong -\frac{\partial_2 w}{\partial \xi'} = -\left(\frac{\partial_2 w}{\partial \xi} \frac{\partial \xi}{\partial \xi'} + \frac{\partial_2 w}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial \xi'} \right) \\ {}_2\theta_\xi &\cong \frac{\partial_2 w}{\partial \eta'} = \left(\frac{\partial_2 w}{\partial \xi} \frac{\partial \xi}{\partial \eta'} + \frac{\partial_2 w}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial \eta'} \right) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

となる。

	ξ'	η'
ξ	$\cos {}_2\theta_\zeta$	$-\sin {}_2\theta_\zeta$
η	$\sin {}_2\theta_\zeta$	$\cos {}_2\theta_\zeta$

なる変数間の関係式を用いると、

$$\begin{aligned} \frac{\partial_2 w}{\partial \xi'} &= \frac{\partial_2 w}{\partial \xi} \cos {}_2\theta_\eta + \frac{\partial_2 w}{\partial \eta} \sin {}_2\theta_\zeta \cong \frac{\partial_2 w}{\partial \xi} + \frac{\partial_2 w}{\partial \eta} {}_2\theta_\zeta \\ \frac{\partial_2 w}{\partial \eta'} &= -\frac{\partial_2 w}{\partial \xi} \sin {}_2\theta_\zeta + \frac{\partial_2 w}{\partial \eta} \cos {}_2\theta_\zeta \cong \frac{\partial_2 w}{\partial \eta} - \frac{\partial_2 w}{\partial \xi} {}_2\theta_\zeta \end{aligned}$$

となり、右辺の第二項は二次の微小量であるから、

$${}_2\theta_\xi \cong \frac{1}{2} \left(\frac{\partial_2 v}{\partial \xi} - \frac{\partial_2 u}{\partial \eta} \right),$$

$${}_2\theta_\eta' \cong -\frac{\partial_2 w}{\partial \xi},$$

$${}_2\theta_\xi' \cong \frac{\partial_2 w}{\partial \eta},$$

となる。そこで、 $-\frac{\partial_2 w}{\partial \xi} = {}_2\theta_\eta$, $\frac{\partial_2 w}{\partial \eta} = {}_2\theta_\xi$ であるか

ら、(7) 式が得られる。

さて、(6), (7) 式より、 $\eta=0$, $y=b$ において、

$${}_2u = {}_1u, \quad -{}_2w = {}_1v, \quad {}_2v = {}_1w \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial_2 w}{\partial \eta} &= \frac{\partial_1 w}{\partial y} \\ -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial_2 v}{\partial \xi} - \frac{\partial_2 u}{\partial \eta} \right) &= -\frac{\partial_1 w}{\partial x} \\ -\frac{\partial_2 w}{\partial \xi} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial_1 v}{\partial x} - \frac{\partial_1 u}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

が得られる。

(9), (10) 式を用いて (3) 式の \overline{CB} 直線辺での条件を整理する。(3) 式を図 2 に示すような座標に直すと、 CB は ξ , x 軸に平行な辺であるから、(3) 式は、

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha_i &= \cos n_3 \xi = \cos \left(-\frac{\pi}{2} \right) = 0 \\ \cos n_1 x &= \cos \left(-\frac{\pi}{2} \right) = 0 \\ \sin \alpha_i &= \cos n_2 \eta = \cos (-\pi) = -1 \\ \cos n_1 y &= \cos (0) = 1 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

より、

$$\begin{aligned} &+ \int_C^B [{}_2D(1-\nu)w_{\xi\xi\eta} + D_\eta w_{\eta\eta} + D_\xi w_{\xi\eta} \\ &+ {}_2D(w_{\xi\xi} + w_{\eta\eta})_\eta + \nu(D_\eta w_{\xi\xi} + D_\xi w_{\xi\eta})] \delta_2 w d\xi \\ &+ \int_B^C [{}_1D(1-\nu)w_{xxy} + D_y w_{yy} + D_x w_{xy} \\ &+ {}_1D(w_{xx} + w_{yy})_y + \nu(D_y w_{xx} + D_x w_{xy})] \delta_1 w dx \\ &- \int_D^B {}_2D(w_{\eta\eta} + \nu w_{\xi\xi}) \frac{\partial \delta_2 w}{\partial \eta} d\xi \\ &- \int_B^C {}_1D(w_{yy} + \nu w_{xx}) \frac{\partial \delta_1 w}{\partial y} dx \\ &- \int_C^B \frac{E}{1-\nu^2} {}_2h \left(\frac{1-\nu}{2} \right) (u_\eta + v_\xi) \delta_2 u d\xi \\ &- \int_B^C \frac{E}{1-\nu^2} {}_1h \left(\frac{1-\nu}{2} \right) (u_y + v_x) \delta_1 u dx \\ &- \int_C^B \frac{E}{1-\nu^2} {}_2h(v_\eta + \nu u_\xi) \delta_2 v d\xi \\ &- \int_B^C \frac{E}{1-\nu^2} {}_1h(v_y + \nu u_x) \delta_1 v dx \end{aligned} \quad (12)$$

となる。

$\delta_2 u = \delta_1 u$ より、 $x = \xi$ を用いて、

$${}_2h(u_\eta + v_\xi) = {}_1h(u_y + v_x) \quad (13)$$

$-\delta_2 w = \delta_1 v$ より、

$$\begin{aligned} &{}_2D(1-\nu)w_{\xi\xi\eta} + D_\eta w_{\eta\eta} + D_\xi w_{\xi\eta} + {}_2D(w_{\xi\xi} + w_{\eta\eta})_\eta \\ &+ \nu(D_\eta w_{\xi\xi} + D_\xi w_{\xi\eta}) = \left(\frac{E}{1-\nu^2} \right) {}_1h(v_y + \nu u_x) \end{aligned} \quad (14)$$

$\delta_2 v = \delta_1 w$ より、

$$\begin{aligned} &-\frac{E}{1-\nu^2} {}_2h(v_\eta + \nu u_\xi) = {}_1D(1-\nu)w_{xxy} + D_x w_{xy} \\ &+ {}_1D(w_{xx} + w_{yy})_y + \nu(D_y w_{xx} + D_x w_{xy}) \end{aligned} \quad (15)$$

$\delta \left(\frac{\partial_2 w}{\partial \eta} \right) = \delta \left(\frac{\partial_1 w}{\partial y} \right)$ より、

$$-{}_2D(w_{\eta\eta} + \nu w_{\xi\xi}) = {}_1D(w_{yy} - \nu w_{xx}) \quad (16)$$

となり(3)式の変分に表われる境界での板の曲げと面内歪との対応は、一般の接合条件(9), (10)式のうち、最後の二つの式を用いないで対応がつく。これは面内変位の微分に関する変分がないためである。一般の結合では、この条件も入って来るものと思う。ここでとりあつかっている範囲では、接合の幾何学的束縛条件として、(9) および (10) 式の第 1 式を用いればよい。ただし、試験関数は上記座標の結合辺で直線であるような試験関数であることと、エネルギー変分に関係しない変位の条件に関する束縛としては、この(10)式の第 2, 第 3 式は用いる。(38) 式参照。

実際の計算は直接解法で解いたもので結合条件はラグランジュの未定乗数法を用いている。

4. 試験関数の整理

実際の計算は試験関数に冪級数を用いているので、この式について、実際の計算に用いた仮定を入れて整理して置くことにする。

図 1 に示した座標で、仮定としては、 \overline{QA} 辺固定、 \overline{CB} 辺は直線で剛に結合され、 P_1 面では面内変位は零、 P_2 面では、面内歪は零とした。以上の仮定を導入して試験関数と、束縛条件との整理をおこなう。

まず初めに仮定する関数はなんらの束縛のない試験関数として、

$$\left. \begin{aligned} {}_2u &= \sum_{g,h=0} f_{gh} \xi^g \eta^h \\ {}_2v &= \sum_{p,q=0} d_{pq} \xi^p \eta^q \\ {}_2w &= \sum_{k,l=0} b_{kl} \xi^k \eta^l \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

$$\left. \begin{aligned} {}_1u &= \sum_{t,u=0} e_{tu} x^t y^u \\ {}_1v &= \sum_{r,s=0} c_{rs} x^r y^s \\ {}_1w &= \sum_{m,n=0} a_{mn} x^m y^n \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

を仮定する。

簡単な条件から用いていくと、

(i) ${}_1u=0, {}_1v=0$, あるいは \overline{OA} 辺固定にして、面内歪なしの条件より、

$$e_{tu}=0 \quad (t, u, =0, 0, \dots) \quad (19)$$

$$c_{rs}=0 \quad (r, s, =0, 0, \dots) \quad (20)$$

(ii) P_2 面内歪零の条件より、(P_2 全域において)

$$\frac{\partial_2 u}{\partial \xi} = \frac{\partial_2 v}{\partial \eta} = \frac{\partial_2 v}{\partial \xi} + \frac{\partial_2 u}{\partial \eta} \quad (21)$$

この式より、

$$\sum_{g=1, h=0} g f_{gh} \xi^g \eta^h = 0 \quad (22)$$

であり、また、 f_{0h} が残り

$$\sum_{p=0, q=1} q d_{pq} \xi^p \eta^q = 0 \quad (23)$$

で、 d_{p0} が残る。

また、

$$\sum_{p=1, q=0} p d_{pq} \xi^p \eta^q + \sum_{g=0, h=1} h f_{gh} \xi^g \eta^h = 0 \quad (24)$$

より、

$$\begin{aligned} & (d_{10} + d_{11}\eta + d_{12}\eta^2 + d_{13}\eta^3 + \dots \\ & \quad + d_{20}\xi + d_{21}\xi\eta + \dots \\ & \quad + d_{30}\xi^2 + d_{31}\xi\eta + \dots) \\ & + (f_{01} + 2f_{02}\eta + 3f_{03}\eta^2 + 4f_{04}\eta^3 + \dots \\ & \quad + f_{11}\xi + 2f_{12}\xi\eta + 3f_{13}\xi\eta^2 + \dots \\ & \quad + f_{21}\xi^2 + 2f_{22}\xi^2\eta + \dots) = 0 \end{aligned} \quad (25)$$

ゆえに

$$\left. \begin{aligned} d_{10} + f_{01} &= 0 \\ d_{11} + 2f_{02} &= 0 \\ d_{12} + 3f_{03} &= 0 \\ &\vdots \\ d_{20} + f_{11} &= 0 \\ d_{21} + 2f_{12} &= 0 \\ &\vdots \\ d_{30} + f_{11} &= 0 \\ d_{31} + 2f_{22} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

したがって (ii) は三つの条件 (22), (23), (24) 式より、 ${}_2u, {}_2v$ に関して、 $d_{10} + f_{01} = 0$ の条件のみで、 $d_{00}, d_{10}, f_{00}, f_{01}$ 以外の係数はすべて零である。ゆえに、

$${}_2u = f_{00} + f_{01}\eta$$

$${}_2v = d_{00} - f_{01}\xi \quad (27)$$

となる。

(iii) 結合部が直線の仮定を用いると、 ${}_1u, {}_1v$ は零であるから (10) 式の第 2, 3 式より、

$$\eta=0, y=b \text{ で}$$

$$\frac{\partial_1 w}{\partial x} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial_2 v}{\partial \xi} - \frac{\partial_2 u}{\partial \eta} \right) = \theta \quad (28)$$

ゆえに、まず $y=b$ で $\frac{\partial_1 w}{\partial x} = \theta$ と、 ${}_1w$ が OA で固定の条件も入れて、

$$\sum_{m=1}^{\infty} m a_{mn} x^{m-1} y^n = \theta \quad (29)$$

すなわち、

$$\begin{aligned} & a_{12}b^2 + a_{13}b^3 + \dots \\ & + 2a_{22}b^2x + 2a_{23}b^3x + \dots \\ & + 3a_{32}b^2x^2 + 3a_{33}b^3x^2 + \dots = \theta \end{aligned} \quad (30)$$

より

$$\left. \begin{aligned} & a_{12}b^2 + a_{13}b^3 + a_{14}b^4 + \dots = \theta \\ & 2b^2(a_{22} + a_{23}b + a_{24}b^2 + \dots) = 0 \\ & 3b^2(a_{32} + a_{33}b + a_{34}b^2 + \dots) = 0 \\ & \vdots \\ & \sum m a_{mn} b^n = 0 \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

また、 $\left(\frac{\partial_2 v}{\partial \xi} - \frac{\partial_2 u}{\partial \eta} \right) = 2\theta$ より、(27) 式を用いて

$$(-f_{01} - f_{01}) = 2\theta$$

$$\therefore -2f_{01} = 2\theta \quad \therefore f_{01} = -\theta \quad (32)$$

これらの関係から、(27) 式は

$$\left. \begin{aligned} {}_2u &= f_{00} - \theta \cdot \eta \\ {}_2v &= d_{00} + \theta \cdot \xi \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

となる。

(iv) 接合の条件 (9) 式より、

(i) $\eta=0$ で

$${}_2u = {}_1u$$

$$f_{00} = 0$$

$$\therefore {}_2u = -\theta \cdot \eta \quad (34)$$

(ii) $\eta=0$ で

$$-{}_2w = {}_1v$$

$$\therefore \sum_{k=0} b_{k0} \xi^k = 0 \quad \text{より}$$

$$b_{00} = b_{10} = b_{20} = \dots = 0 \quad (35)$$

(ii) ${}_2v = {}_1w, \eta=0, y=b$ と (33) 式より、 $\xi=x$ であるから

$$d_{00} + \theta \cdot \xi = \sum_{m=0}^{\infty} a_{mn} x^m b^n \quad (36)$$

$$d_{00} + \theta \cdot x = \sum_{m=0}^{\infty} a_{mn} x^m b^n \quad (37)$$

$$\left. \begin{aligned} \therefore d_{00} &= a_{02}b^2 + a_{03}b^3 + a_{04}b^4 + \dots \\ \theta &= a_{12}b^2 + a_{13}b^3 + a_{14}b^4 + \dots \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

および

$$\left. \begin{aligned} a_{22}b^2 + a_{23}b^3 + a_{24}b^4 + \dots &= 0 \\ a_{32}b^2 + a_{33}b^3 + \dots &= 0 \\ \vdots & \\ \sum a_{mn}b^n &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

となるが、これは (iii) の (31) 式の後半の条件と同様になる。

$$\Leftrightarrow \frac{\partial_2 w}{\partial \eta} = \frac{\partial_1 w}{\partial y}, \quad \eta=0, \quad y=b \text{ より, } \xi=x \text{ で,}$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} b_{k1} \xi^k = \sum_{\substack{m=0 \\ n=2}}^{\infty} n a_{mn} x^m b^{n-1} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} \therefore (b_{01} + b_{11}x + b_{21}x^2 + \dots) \\ &= (2a_{02}b + 2a_{12}bx + 2a_{22}bx^2 + \dots \\ &\quad + 3a_{03}b^2 + 3a_{13}b^2x + 3a_{23}b^2x^2 + \dots) \\ b_{01} &= 2a_{02}b + 3a_{03}b^2 + 4a_{04}b^3 + \dots \\ b_{11} &= 2a_{12}b + 3a_{13}b^2 + 4a_{14}b^3 + \dots \\ b_{21} &= 2a_{22}b + 3a_{23}b^2 + 4a_{24}b^3 + \dots \end{aligned} \quad (41)$$

以上の条件を用いた試験関数は最終的にはつぎのような形をとればよい。

$$\left. \begin{aligned} {}_2u &= -\theta\eta \\ {}_2v &= d_{00} + \theta\xi \\ {}_2w &= \sum_{\substack{k=0 \\ l=1}}^{\infty} b_{kl} \xi^k \eta^l \\ {}_1u &= 0 \\ {}_1v &= 0 \\ {}_1w &= \sum_{\substack{m=0 \\ n=1}}^{\infty} a_{mn} x^m y^n \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

束縛条件として、

$$\left. \begin{aligned} a_{12}b^2 + a_{13}b^3 + a_{14}b^4 + \dots &= \theta \\ a_{22}b^2 + a_{23}b^3 + a_{24}b^4 + \dots &= 0 \\ a_{32}b^2 + a_{33}b^3 + a_{34}b^4 + \dots &= 0 \\ \vdots & \\ a_{02}b^2 + a_{03}b^3 + a_{04}b^4 + \dots &= d_{00} \\ b_{01} &= 2a_{02}b + 3a_{03}b^2 + 4a_{04}b^3 + \dots \\ b_{11} &= 2a_{12}b + 3a_{13}b^2 + 4a_{14}b^3 + \dots \\ b_{21} &= 2a_{22}b + 3a_{23}b^2 + 4a_{24}b^3 + \dots \\ \vdots & \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

ここで (42) 式の ${}_2u$, ${}_2v$ は ξ , η の一次の関数であるので、水平板の試験関数に物理的意味をみるため整理して、水平板の重心に関する関数として、おのおのの一つのパラメータにすることが可能である。

(1) 式の第2積分の最後の項、(歪エネルギーの項は関係しない)

$$\iint_{\rho_2} \frac{\omega^2 \rho}{2} {}_2h(\xi, \eta) ({}_2u^2 + {}_2v^2) d\xi d\eta \quad (44)$$

を吟味する。 ${}_2u$, ${}_2v$ を代入した、

$$\frac{\omega^2 \rho}{2} \iint {}_2h(\xi, \eta) \{(\theta\eta)^2 + (d_{00} + \theta\xi)^2\} d\xi d\eta \quad (45)$$

の η , ξ はそれぞれ図1の O' 点を原点にした時の座標である。括弧間の幾何学的な関係を見ると、 η に関しては2枚の水平板を対称にとつたため0となるから、重心を、 $(\bar{\xi}, 0)$ とすると、

$$\begin{aligned} \theta^2 \eta^2 + \{d_{00} + \theta(X + \bar{\xi})\}^2 \\ &= \theta^2 \eta^2 + \theta^2 X^2 + d_{00}^2 + 2d_{00}\theta(X + \bar{\xi}) \\ &\quad + \theta^2 \cdot 2X\bar{\xi} + \theta^2 \cdot \bar{\xi}^2 \\ &= \theta^2 (X^2 + \eta^2) + (d_{00}^2 + 2d_{00}\theta\bar{\xi} + \theta^2 \bar{\xi}^2) \\ &\quad + X(2d_{00}\theta + 2\theta^2 \bar{\xi}) \end{aligned} \quad (46)$$

となる。重心からの変数 X に関する積分は零となるから、(45) 式は、

$$\frac{\omega^2 \rho}{2} \iint {}_2h(\xi, \eta) \{[(\xi - \bar{\xi})^2 + \eta^2] \theta^2 + (d_{00} + \theta\bar{\xi})^2\} d\xi d\eta \quad (47)$$

となる。

今、 θ と重心の平行移動量、 $d_{00} + \theta\bar{\xi} = Q$ を新たなパラメータとすると、(47) 式は、

$$\iint \rho_2 h(\xi, \eta) \{(\xi - \bar{\xi})^2 + \eta^2\} d\xi d\eta = I_G \quad (48)$$

$$\iint \rho_2 h(\xi, \eta) d\xi d\eta = W \quad (49)$$

を用いて、

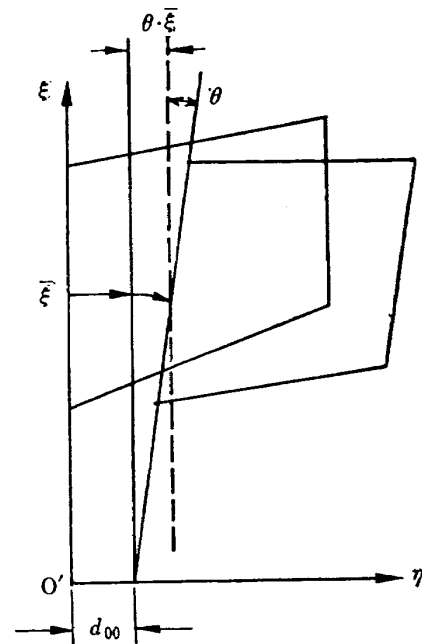


図 4

$$\frac{\omega^2}{2g} I_G \theta^2 + \frac{\omega^2}{2g} W Q^2 \quad (50)$$

となる。ゆえに、

$$d_{00} + \theta \xi = Q,$$

と θ なる試験関数を用いると、(42) 式の代りに、つぎのような試験関数を用いればよいことになる。

$${}_2w = \sum_{\substack{k=0 \\ l=1}} b_{kl} \xi^k \eta^l \quad (51)$$

$${}_1w = \sum_{\substack{m=0 \\ n=2}} a_{mn} x^m y^n \quad (52)$$

$$Q, \quad \theta \quad (53)$$

(43) 式の条件は、まとめられて ξ での条件にし、束縛条件として、

$$\left. \begin{aligned} a_{02}b^2 + a_{03}b^3 + \dots + a_{12}\xi b^2 + a_{13}\xi b^3 + a_{14}\xi b^4 + \dots &= Q \\ a_{12}b^2 + a_{13}b^3 + a_{14}b^4 + \dots &= \theta \\ a_{22}b^2 + a_{23}b^3 + \dots &= 0 \\ a_{32}b^2 + a_{33}b^3 + \dots &= 0 \\ \vdots & \\ b_{01} &= 2a_{02}b + 3a_{03}b^2 + \dots \\ b_{11} &= 2a_{12}b + 3a_{13}b^2 + \dots \\ \vdots & \end{aligned} \right\} \quad (54)$$

となる。

5. 計算式

水平板に対して、 ξ, η 面内の変位を、4 で導いた水平板の重心変位 Q と重心回りの回転角 θ で表わすと、(1) 式に相当する汎関数として、

$$\begin{aligned} \pi = & \iint_{P_2} \left[\frac{2D}{2} \{ w_{\xi\xi}^2 + w_{\eta\eta}^2 + 2\nu w_{\xi\xi} w_{\eta\eta} \right. \\ & \left. + 2(1-\nu) w_{\xi\eta}^2 \} - \frac{\omega^2 \rho}{2} {}_2h(\xi, \eta) {}_2w^2 \right] d\xi d\eta \\ & + \iint_{P_1} \left[\frac{1D}{2} \{ w_{xx}^2 + w_{yy}^2 + 2\nu w_{xx} w_{yy} \right. \\ & \left. + 2(1-\nu) w_{xy}^2 \} - \frac{\omega^2 \rho}{2} {}_1h(x, y) {}_1w^2 \right] dx dy \\ & - \frac{W\omega^2}{2} Q^2 - \frac{I_G}{2} \omega^2 \theta^2 \quad (55) \end{aligned}$$

板の曲げ剛性は板厚の三乗に比例するとすれば、

$$\begin{aligned} \pi = & \frac{2D_r}{2} \iint \left(\frac{2h}{2h_r} \right)^3 [w_{\xi\xi}^2 + w_{\eta\eta}^2 + 2\nu w_{\xi\xi} w_{\eta\eta} \\ & + 2(1-\nu) w_{\xi\eta}^2] d\xi \cdot d\eta \\ & - \omega^2 \frac{2\gamma_2 h_r}{2g} \iint \left(\frac{2h}{2h_r} \right)^2 w^2 d\xi d\eta \\ & + \frac{1D_r}{2} \iint \left(\frac{1h}{1h_r} \right)^3 [w_{xx}^2 + w_{yy}^2 + 2\nu w_{xx} w_{yy} \\ & + 2(1-\nu) w_{xy}^2] dx dy \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - \omega^2 \frac{2\gamma_1 h_r}{2g} \iint \left(\frac{1h}{1h_r} \right) {}_1w^2 dx dy \\ & - \omega^2 \frac{W}{2g} Q^2 - \omega^2 \frac{I_G}{2g} \theta^2 \quad (56) \end{aligned}$$

ここに W, I_G はおのおの水平板の重量および、重心回りの慣性モーメントとし、 ω は角振動数、 ${}_1D_r, {}_2D_r$ は最高板厚部の P_1, P_2 の板の曲げ剛性、 ${}_1h_r, {}_2h_r$ は P_1, P_2 板の最高板厚、 ${}_1h, {}_2h$ は P_1, P_2 板の分布板厚、 Q, θ はそれぞれ重心に関する水平板の平行移動および回転角を示し、 P_2 面内変位を整理して導入した新たな試験関数とする。試験関数を (53) 式のようにとり (56) 式の π を求めると、

$$\begin{aligned} \pi = & \frac{1D_r}{2} \left[\left[\sum \sum A_{mn} A_{rs} A_{mnr s} \right. \right. \\ & \left. \left. + D \sum \sum B_{kl} B_{lu} B_{kltu} \right] \right. \\ & - X^2 \left[E \sum \sum A_{mn} A_{rs} (\sum h_{p_1 q_1} M_{m+r+p_1, n+s+q_1}) \right. \\ & \left. + R \sum \sum B_{kl} B_{lu} (\sum h_{p_2 q_2} M_{k+t+p_2, l+u+q_2}) \right. \\ & \left. + S \bar{Q} (\sum h_{p_2 q_2} M_{p_2, q_2}) \right. \\ & \left. + T \theta^2 \left\{ \sum h_{p_2 q_2} (M_{p_2+2, q_2} + U M_{p_2, q_2+2}) \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{(\sum h_{p_2 q_2} M_{p_2+1, q_2})^2}{\sum h_{p_2 q_2} M_{p_2, q_2}} \right\} \right] ab^{-3} \\ & [ML] \quad (57) \end{aligned}$$

ここに、

$$\begin{aligned} A_{mnr s} = & m(m-1)r(r-1)k^{-4} \sum e_{p_1 q_1} M_{m+r-4+p, n+s+q_1} \\ & + n(n-1)s(s-1) \sum e_{p_1 q_1} M_{m+r+p_1, n+s-4+q_1} \\ & + 2\nu m(m-1)s(s-1)k^{-2} \sum e_{p_1 q_1} M_{m+r-2+p_1, \\ & \quad n+s-2+q_1}, \\ & + 2(1-\nu) mnrs k^{-2} \sum e_{p_1 q_1} M_{m+v-2+p_1, n+s-2+q_1}, \quad [0] \quad (58) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{kltu} = & k(k-1)t(t-1)\tau^{-4} \sum f_{p_2 q_2} M_{k+t-4+p_2, l+u+q_2} \\ & + l(l-1)u(u-1) \sum f_{p_2 q_2} M_{R+t+p_2, l+u-4+q_2} \\ & + 2\nu k(k-1)u(u-1)\tau^{-2} \sum f_{p_2 q_2} M_{k+t-2+p_2, \\ & \quad l+u-2+q_2}, \\ & + 2(1-\nu) kltu \tau^{-2} \sum f_{p_2 q_2} M_{k+t-2+p_2, l+u-2+q_2}, \quad [0] \quad (59) \end{aligned}$$

$$k = a/b, \quad [0]$$

$$\tau = a/l, \quad [0]$$

$$M_{pq} = H \left\{ \sum_{i=0}^{p+1} \frac{P! (A^{P+1-i} B^i - D^{P+1-i} E^i)}{(p+1-i)! (q+1+i)} \right\} [0] \text{ とす}$$

ると、

$$H = 1,$$

$$A = 1,$$

$$B = \cot \alpha / k,$$

$$D = 0,$$

$$E = \cot \beta / k \text{ のとき}$$

$$\bar{M}_{pq} = M_{pq},$$

さらに

$$H = \{1 - (-1)^{q+1}\}$$

$$A = \left(\frac{b}{c} \cot \alpha + 1\right) c/a$$

$$B = \left(\cot \delta \cdot \frac{c}{a}\right) / S,$$

$$S = c/l$$

$$D = \left(\frac{b}{c} \cot \alpha\right) c/a,$$

$$E = \left(\cot \gamma \cdot \frac{c}{a}\right) / S \text{ のとき}$$

$$\bar{M}_{pq} = M_{pr'},$$

h_{p1q1} , h_{p2q2} は、垂直板および水平板の分布変厚を幕級数展開したときの $x^{p1} \cdot y^{q1}$, および $\xi^{p2} \cdot \eta^{q2}$ に関する項の係数, e_{p1q1} , f_{p2q2} はおのおの変厚分布関数を三乗したときの $x^{p1} y^{q1}$, $\xi^{p2} \eta^{q2}$ に対応する係数である。

ここで,

$$X^2 = \omega^2 \frac{1\gamma_1 h_r}{g_1 D_r} a^4, \quad [0]$$

$$D = \frac{2D_r b^3}{1D_r l^3} \quad [0]$$

$$E = b^4/a^4 \quad [0]$$

$$R = \frac{2\gamma_2 h_r b^3 l}{1\gamma_1 h_r a^4}, \quad [0]$$

$$S = \frac{l^3 b^3 \gamma_2 h_r}{a^4 1\gamma_1 h_r}, \quad [L^2]$$

$$T = \frac{l b^3 \gamma_2 h_r}{a^2 1\gamma_1 h_r}, \quad [L^2]$$

$$\bar{Q} = Q/l \quad [0]$$

$$U = (l/a)^2, \quad [0]$$

$$A_{mn} = a_{mn} a^m b^n, \quad [L]$$

$$B_{kl} = b_{kl} a^k l^l \quad [L]$$

とする。

束縛条件は (54) 式より,

$$l^{-1} \sum_{n=2} A_{0n} \bar{X}^n - \bar{Q} = 0 \quad [0] \quad (60)$$

$$\frac{\xi}{a} = \bar{X} = \frac{\sum h_{p2q2} M'_{p2+1, q2}}{\sum h_{p2q2} M'_{p2, q2}}$$

$$a^{-1} \sum_{n=2} A_{1n} - \theta = 0 \quad [0] \quad (61)$$

$$(a^{-1} \sum_{n=2} m A_{mn})_{m=2} = 0 \quad [0] \quad (62)$$

$$(b^{-1} \sum_{n=2} n A_{mn} - l^{-1} B_{m1})_{m=0} = 0 \quad [0] \quad (63)$$

の条件を用いればよいので、最終的にはこれらの条件に対応した、Lagrange の未定乗数,

$$(60) \quad \lambda_1 \quad [ML]$$

$$(61) \quad \lambda_2 \quad [ML]$$

$$(62) \quad \lambda_{3m} \quad [ML]$$

$$(63) \quad \lambda_{10m} \quad [ML]$$

を用いて (57) 式に加えた式を求めると、ディメンションを整理して、最小にすべき汎関数として,

$$\begin{aligned} \pi = & [\sum \sum \bar{A}_{mn} \bar{A}_{rs} A_{mnrs} + D \sum \sum \bar{B}_{kl} \bar{B}_{tu} B_{kltu} \\ & - X^2 H S \bar{Q}^2 - X^2 L T \theta^2 \\ & + \bar{A}_1 \{ \sum \bar{A}_{mn} \bar{X}^m (b/l) - Q \} \\ & + \bar{A}_2 \{ \sum \bar{A}_{1n} (b/a) - \theta \} \\ & + \bar{A}_{3m} (\sum m A_{mn})_{m=2,3,\dots} \\ & + \bar{A}_{10m} (\sum n A_{mn} - \bar{B}_{m1})_{m=0,1,\dots}] \quad [0] \quad (64) \end{aligned}$$

を得る。ここに、文字はすべてノンディメンションで,

$$\bar{A}_{mn} = A_{mn}/b, \quad \bar{Q} = Q/l$$

$$\bar{B}_{kl} = B_{kl}/l, \quad \theta = \theta$$

$$A_{mnrs} = A_{mnrs} - X^2 E \sum h_{p1q1} M'_{m+n+p1, n+s+q1}$$

$$B_{kltu} = B_{kltu} - X^2 \frac{R}{D} \sum h_{p2q2} M'_{k+t+p2, l+u+q2}$$

$$D = \frac{2D_r b}{1D_r l}$$

$$H = \sum h_{p2q2} M'_{p2, q2}$$

$$S = \frac{b l^3 \gamma_2 h_r}{a^4 1\gamma_1 h_r}$$

$$L = \sum h_{p2q2} (M'_{p2+2, q2} + U M'_{p2, q2+2}) - \frac{(\sum h_{p2q2} M'_{p2+1, q2})^2}{\sum h_{p2q2} M'_{p2, q2}}$$

$$T = \frac{b l^2 \gamma_2 h_r}{a^2 1\gamma_1 h_r}$$

$$\bar{A}_1 = \frac{2\lambda_1 b}{1D_r a}$$

$$\bar{A}_2 = \frac{2\lambda_2 b}{1D_r a}$$

$$\bar{A}_{3m} = \frac{2\lambda_{3m} b^2}{1D_r a^2}$$

$$\bar{A}_{10m} = \frac{2\lambda_{10m} b}{1D_r a}$$

である。

(64) 式の停留条件より, (64) 式を \bar{A}_{mn} , \bar{B}_{kl} , \bar{Q} , θ , \bar{A}_1 , \bar{A}_2 , \bar{A}_{3m} , および \bar{A}_{10m} で偏微分して, 振動数方程式を得る。つまり,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi}{\partial \bar{A}_{mn}} = & \sum \bar{A}_{rs} [A_{mnrs} + A_{rsmn}] + \bar{A}_1 \bar{X}^m \left(\frac{b}{l}\right) \\ & + \bar{A}_2 \left(\frac{b}{a}\right) \delta_{m1} \\ & + \bar{A}_{3j} \cdot m \cdot \delta_{jm} \\ & \vdots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \bar{A}_{10j} \cdot n \cdot \delta_{jm} \\
 & \vdots \\
 & \quad \quad \quad (65)
 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial \bar{A}_{3j}} = \sum_j \bar{A}_{jn} \quad (71)_j$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial \bar{A}_{10j}} = \sum_n \bar{A}_{jn} - \bar{B}_j \quad (72)_j$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \pi}{\partial \bar{B}_{kl}} = D \sum \bar{B}_{tu} [B_{kltu} + B_{tuku}] - \bar{A}_{10j} \cdot \delta_{jm} \\
 \vdots \\
 \quad \quad \quad (66)
 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial \bar{Q}} = -2X^2 HS \bar{Q} - \bar{A}_1 \quad (67)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial \theta} = -2X^2 L T \theta - \bar{A}_2 \quad (68)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial \bar{A}_1} = \sum \bar{A}_{mn} \bar{X}^m \left(\frac{b}{l}\right) - \bar{Q} \quad (69)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial \bar{A}_2} \sum \bar{A}_{1n} \left(\frac{b}{a}\right) - \theta \quad (70)$$

なる式の齊次の連立方程式が求まる。これらより、固有振動数と固有モードとが求まる。水平板の試験関数に関しては先にもふれたように、一般には \bar{CB} 軸に対しての対称項と非対称項の混合したパラメータを含む項をとるが、 B_{kltu} の内部ではこれらは連成せず、また (iii) の (二) の条件より b_{kn} の $n \geq 2$ の項は a_{mn} とも連成はしない。このため対称項の方は、垂直板と連成しない。そしてこの水平板の分離した振動は、 η に関し偶数次の項からなる振動モードの振動となることが予想される。つぎに実験および計算結果に

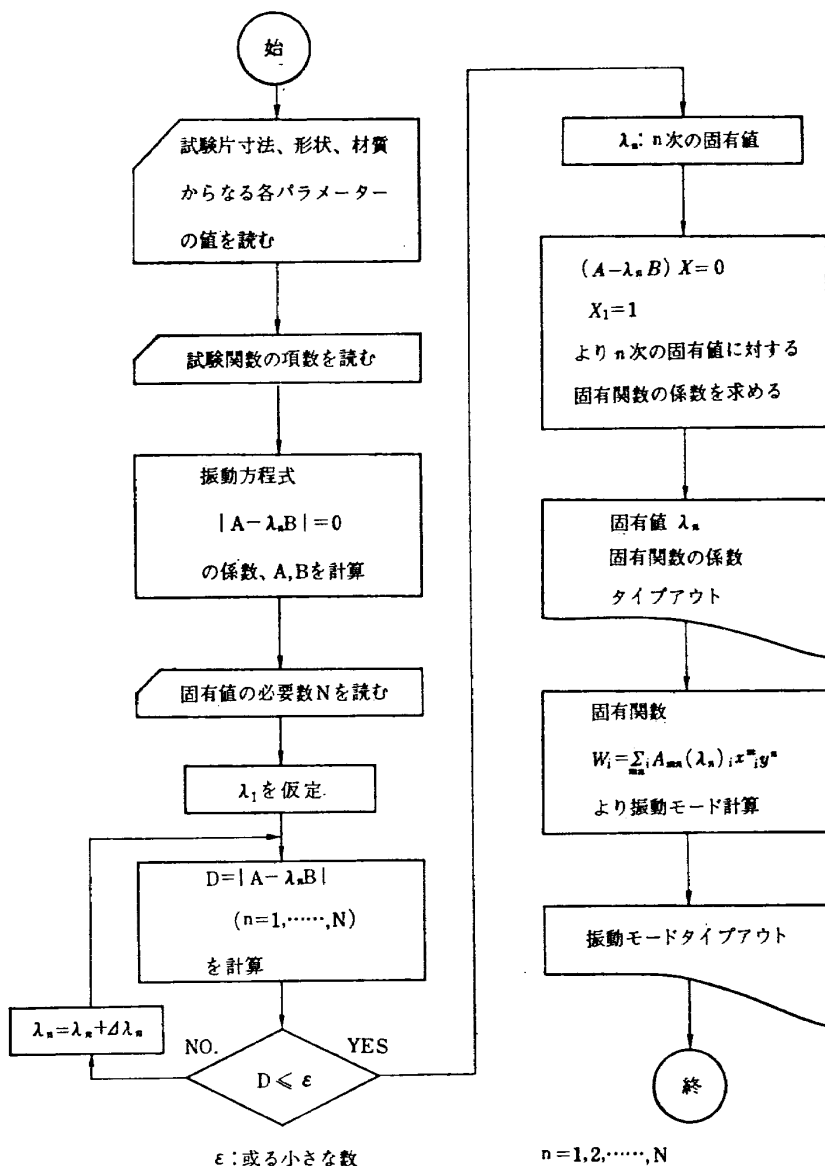


図 5 計算フローチャートの一例

ついて吟味をする。

6. 数 値 計 算

計算は、MADIC 2 A, DATATRON 205 および HITAC 5020 を用いたが、この場合の問題は固有値計算であり、それぞれのサブルーチンおよび研究室で開発した固有値計算プロによった。

計算フローチャートの1例を図5に示した。

実際におこなった計算および実験例はつぎに示す4つのCaseについて行ない、さらに先にのべた水平板の y に関する指数を変化させた場合の片持板の計算の

吟味を行なったものである。

(A) 等厚正方形—正方形

試験関数に、

$$w_1 = a_{02}y^2 + a_{03}y^3 + a_{04}y^4 + a_{12}xy^2 + a_{13}xy^3$$

$$w_2 = b_{01}\eta + b_{11}\xi\eta$$

$$Q = Q$$

$$\theta = \theta$$

(73)

の9項を用いた場合の計算結果を図6、表2に示す。

これらの計算は MADIC 2 A でおこなった。解くべきマトリックスの形としては (73) 式の場合には、表1のような形式的には13次の式であるが、(表1

表 1 振動数方程式, 試片 (A)

	A_{02}	A_{03}	A_{04}	A_{12}	A_{13}	B_{01}	B_{11}	Q	θ	λ_1	λ_2	λ_{101}	λ_{102}
A_{02}						0	0	0	0	1	0	2	0
A_{03}						0	0	0	0	1	0	3	0
A_{04}			$2A_{mnrs} = 2[a-bx]$			0	0	0	0	1	0	4	0
A_{12}						0	0	0	0	0.5	1	0	2
A_{13}						0	0	0	0	0.5	1	0	3
B_{02}	0	0	0	0	0	$2DB_{kltu} = 4[a-bx]$		0	0	0	0	-1	0
B_{11}	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0
Q	0	0	0	0	0	0	0	-4_x	0	-1	0	0	0
θ	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6_x	0	-1	0	0
λ_1	1	1	1	0.5	0.5	0	0	-1	0	0	0	0	0
λ_2	0	0	0	1	1	0	0	0	-1	0	0	0	0
λ_{101}	2	3	4	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
λ_{102}	0	0	0	2	3	0	-1	0	0	0	0	0	0

表 2 試験片 (A) 固有値, 連成振動

$\alpha=90^\circ, \beta=90^\circ, \gamma=90^\circ, \delta=90^\circ$
 ${}_1h_t/{}_1h_r = {}_2h_t/{}_2h_r = 1$

	実 験 値		計 算 値	
	$f c/s$	λa^2	$f c/s$	λa^2
1 st	27.1	0.85	27.8	0.87
2 nd	56.6	1.77	54.9	1.72
3 rd	88.4	2.77	99.8	3.13
4 th	272.3	8.56	245.0	7.68
5 th	474.9	14.8	749.7	23.5

表 3 試験片 (B) 固有値, 連成振動

$\alpha=90^\circ, \beta=90^\circ, \gamma=45^\circ, \delta=60^\circ$
 ${}_1h_t/{}_1h_r = {}_2h_t/{}_2h_r = 1$

	実 験 値		計 算 値	
	$f c/s$	λa^2	$f c/s$	λa^2
1 st	5.88	1.11	6.20	1.17
2 nd	11.7	2.21	14.3	2.69
3 rd	20.8	3.93	20.9	3.94
4 th	62.5	11.8	64.1	12.1
5 th	104	19.6	117	22.2
6 th	118	22.3	135	25.4

のノンディメンション化は (72) 式までの方法とことなる) この場合には結合条件から入る λ は実際の計算では、消去して 9 項の未知パラメータとした。図 6.2 の係数の表参照。

(B) 等厚正方形-45°/60°

試験関数としては、

$$w_1 = a_{02}y^2 + a_{03}y^3 + a_{04}y^4 + a_{05}y^5$$

$$a_{12}xy^2 + a_{13}xy^3 + a_{14}xy^4$$

$$a_{22}x^2y^2 + a_{23}x^2y^3$$

$$w_2 = b_{01}\eta + b_{03}\eta^3 + b_{05}\eta^5$$

$$+ b_{11}\xi\eta + b_{13}\xi\eta^3 + b_{21}\xi^2\eta + b_{23}\xi^2\eta^3$$

$$+ b_{31}\xi^3\eta + b_{41}\xi^4\eta$$

$$Q = Q$$

$$\theta = \theta$$

である。

(A)においては実際のノンディメンションの方法が、(72) 式までの誘導式と異なっているが以下 (B), (C), (D)に関しては (72) 式までの誘導式によるノンディメンション化したものによって計算したものである。

結果を図 7, 表 3 に示す。

(C), 直線変厚正方形-正方形 結果は図 8, 表 4 に示した。

(D), 直線変厚 60°//60°~45°/60°

試験関数は (74) 式と同様なものである。結果を図 9, 表 5 に示す。

7. 水平板垂直板の連成振動と片持水平板の解の対応について

片持水平板の解と実測値との対応を吟味するため、片持水平板の解および実験と、連成振動の解および実

表 4.1 試験片 (C) 固有値, 連成振動

$$\alpha = 90^\circ, \beta = 90^\circ, \gamma = 90^\circ, \delta = 90^\circ$$

$${}_1h_t/{}_1h_r = {}_2h_t/{}_2h_r = 0.45/4.95$$

	実験値		計算値	
	fc/s	λa^2	fc/s	λa^2
1 st	12.1	1.01	14.3	1.09
2 nd	24.0	1.83	26.4	2.02
3 rd	68.4	5.23	69.1	5.28
4 th	100.2	7.66	125.8	9.61
5 th	127.2	9.80	174.0	13.3
6 th	176.8	13.5	232.9	17.8

表 5.1 試験片 (D) 固有値, 連成振動

$$\alpha = 60^\circ, \beta = 60^\circ, \gamma = 45^\circ, \delta = 60^\circ$$

$${}_1h_t/{}_1h_r = {}_2h_t/{}_2h_r = 0.3/5.0$$

	実験値		計算値	
	fc/s	$\lambda_n a^2$	fc/s	$\lambda_n a^2$
1 st	9.1	0.66	9.8	0.75
2 nd	21.3	1.61	25.6	1.94
3 rd	38.1	2.89	46.2	3.50
4 th	78.1	5.91	97.9	7.42
5 th	147.3	11.17	220.3	16.7
6 th	181.7	13.77	246.7	18.7

表 6 試片 (D) に関する $\lambda_n a^2$ の値の吟味の表

低次振動型 ←————→ 高次振動型

実測値	非対称起振	0.69	1.61	2.89		5.91	11.2		
	対称起振		(1.91)		2.89	(5.98)	9.9 7.7	(11.1)	12.2
計算値	連成	0.75	1.94	3.50		7.42		16.7	
	非連成	ALL				3.10		8.58	13.9
		EVEN				3.24		8.71	17.6
	ODD				3.90		9.26	21.3	

連成: 02, 03, 04, 05, 12, 13, 14, 22, 23, (x, y)
 01, 03, 05, 11, 13, 21, 23, 31, 41, (ξ, η)
 Q
 θ

ALL: 02, 03, 06, 06, 12, 13, 14, 15, 22, 23, 24, 32, 33, 42, (ξ, η)
 EVEN: 02, 04, 06, 08, 12, 14, 16, 22, 24, 26, 32, 34, 42, 44, (ξ, η)
 ODD: 03, 05, 07, 09, 011, 13, 15, 17, 19, 23, 25, 27, 33, 35, (ξ, η)

験値とを比較してみた。独立に生じる水平板の振動の計算および実測例は、試片 (A), (B) の例に示した。この場合片持の試験関数は普通の偶数奇数項を含む場合の値であるが、ここで問題となる、偶数項のみからなる解を普通の片持の場合と比較するため、(D)の場合について求めてみた。また奇数項のみをとった場合も追加しておく。

結果を表6に示したが結論としては、片持の試験関数としては偶数、奇数をとった普通の解と、偶数のみ、または奇数のみをとっても本質的には変わらず、近似が偶数、奇数混合したものをとればよいことが解る。また本論で誘導された水平板の独立した偶数項からなる試験関数による解も片持の解としてみられる解を与えることがわかる。

8. 実 験

実験は前記試験片について共振法によってその振動数および振動モードを測定した。

まず試験片は、(A)においては溶接によって水平、垂

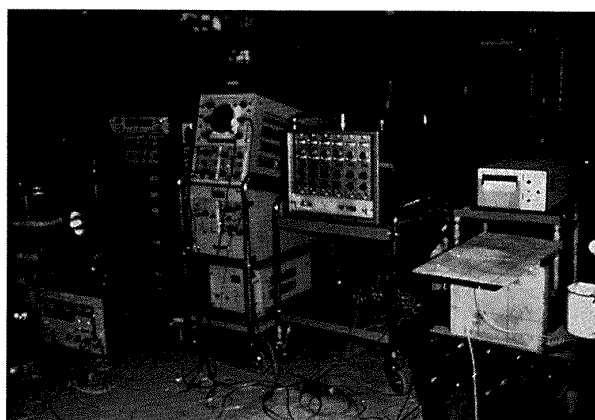


写真 1 試験装置全景

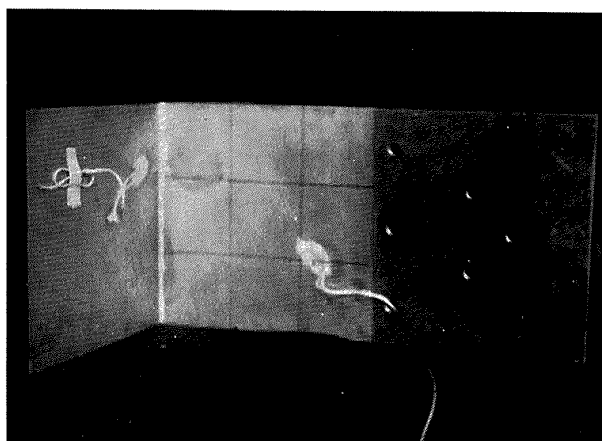


写真 2 試験片 (C), 接着および振動ピックアップ

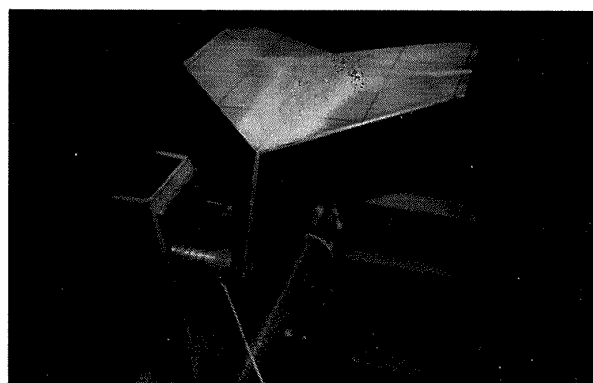


写真 3 試験片 (D), 治具および起振器

直板を接合、(B)では、ボルト接合にしたため、水平垂直の接合辺にL型補強材が入っている。(C), (D)試験はともに、アラルダイト接着によった。

起振は、連成振動を目的とする振動においては、図 6.1, 図 8.1, 図 9.1 に示しように、垂直板前縁にこれに垂直な方向から起振した。また、T型試験片で水平板の独立な振動をチェックするため、図7.1, 図9.1 に示すように水平板両翼の前縁または後縁に、同相に起振することによりチェックした。垂直板の水平方向起振による連成振動の試験において、図 6.1 にも示すように、連成しない振動と思われる振動が生じており、また逆に、同相2個の起振で水平板を振動させた場合にも、連成振動と思われる振動が生じている。図 7.4。これらは、おそらく、試験片、および起振器の不均等に原因するものと思われる。振動モードは共振時に、砂の散布、位相の判定は、小型接触型振動ピックアップによった。

振動モード判定用の砂模様の動きは複雑で、特に、水平板が、垂直板による平行移動および回転と連成して振動する場合には、節線の判定は困難で、より精密な測定が必要であろうと思われるが、今回は、一応砂の集中したとみられる線を節線として実験値に示した。

実験結果は試験片 (A) に対して、測定振動数より求めた固有値および振動モードを図 6.1, 表2に解析結果と比較して示す。試験片 (B) の結果は図 7.1, 表3に固有値を、図 7.3~7.5 に測定した振動モードを示す。図 8.1 および表 4.1 に試験片 (C) の振動固有値を解析と比較して、振動モードは図 8.3~8.8 に示してある。試験片 (D) の実験結果は、図 9.1 と表 5.1 に振動固有値を、図 9.3~9.8 に振動モードをおのおの解析結果と比較して示す。

実験値のバラツキは、片持板と比較して広い。グラ

フに示した値は代表的な値である。図 10 に実験値のバラツキの例を示した。これはセットの相違，判定の相違，起振の違相などの混合したものである。試験片は同一であることはもちろんである。

9. 結 語

板の結合構造物について，エネルギー法による固有振動数と振動モードの推定をし，実験値との比較をおこなった結果について示した。実例は4種のT型結合板についておこなったものである。

エネルギー法による場合，複雑な構造物になると，ここでのべた方法を用いた場合，仮定する試験関数の種類も多くなり，それにつれて，これらの結合の条件が多くなって最終的に解くべき振動数方程式の形式的な元数が極めて増大する。このため大容量の計算機を必要とする。

現在各種のマトリックス法による構造物の解析法が開発され，各種資料もでてくると思われるので，これらとの比較の参考になればと思いまとめたものである。

取扱ったT型結合構造物の例からみると，低次の振動においては，この方法でも実用的に十分なものが得られることがわかった。高次の振動になると，近似は悪くなるが，これは項数の不足も考えられようが，実験試験片が数値解析の仮定を十分に満たすものでないことにも原因があると思はれるので，機械的に項数を増すよりは，むしろ数値解析の中に，実験試験体のもつ各種の要因を考慮した項を追加する方向に進める必要があると思う。特により複雑な構造物になった場合にはこの種の注意が必要であろう。

また，ここにのべた固有振動解析法がそのままフラット問題の解析に便利なものであるかどうか，問題もあるであろうし，現在の実機においてはもっと有効な方法が用いられているものと思われるが，幾分かの参考になれば幸である。

これらの研究を進めるにあたっては，構造研究室の多田保夫，林 洋一，戸田 勸および日下和夫の各技官ならびに計算センタの各位の協力があった。また，東海大学実習生佐々木忠視君が一部分の実験を担当しておこなったものであり，同君に感謝の意を表すしだいである。

文 献

- 1) 越出慎一，林 洋一，塙 武敏；梁，板結合構造物の振動，航技研報告 TR-137 (昭和42年)
- 2) 塙 武敏，越出慎一，戸川隼人，川井忠彦ら；変厚平板翼の振動について，航技研報告 TR-60 (昭和39年)

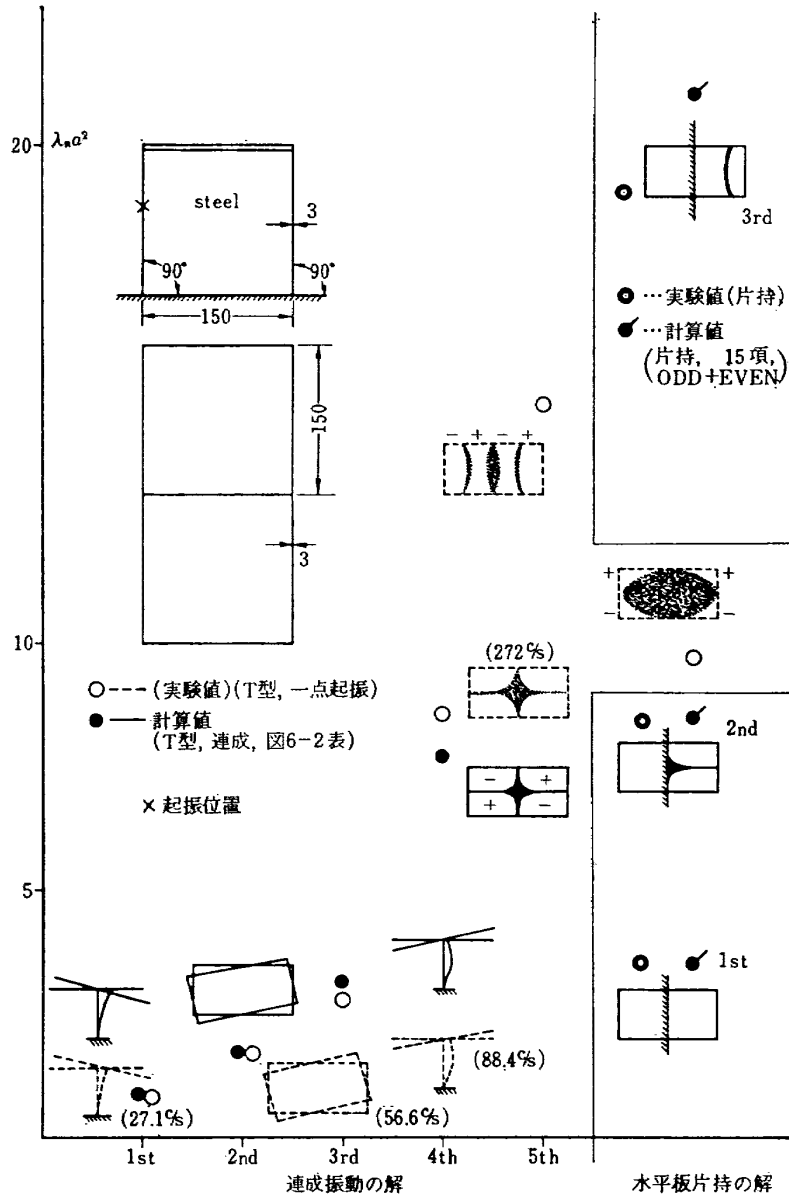


図 6.1 試験片 (A) 振動数と Mode, 試験片の結合は溶接によるもの

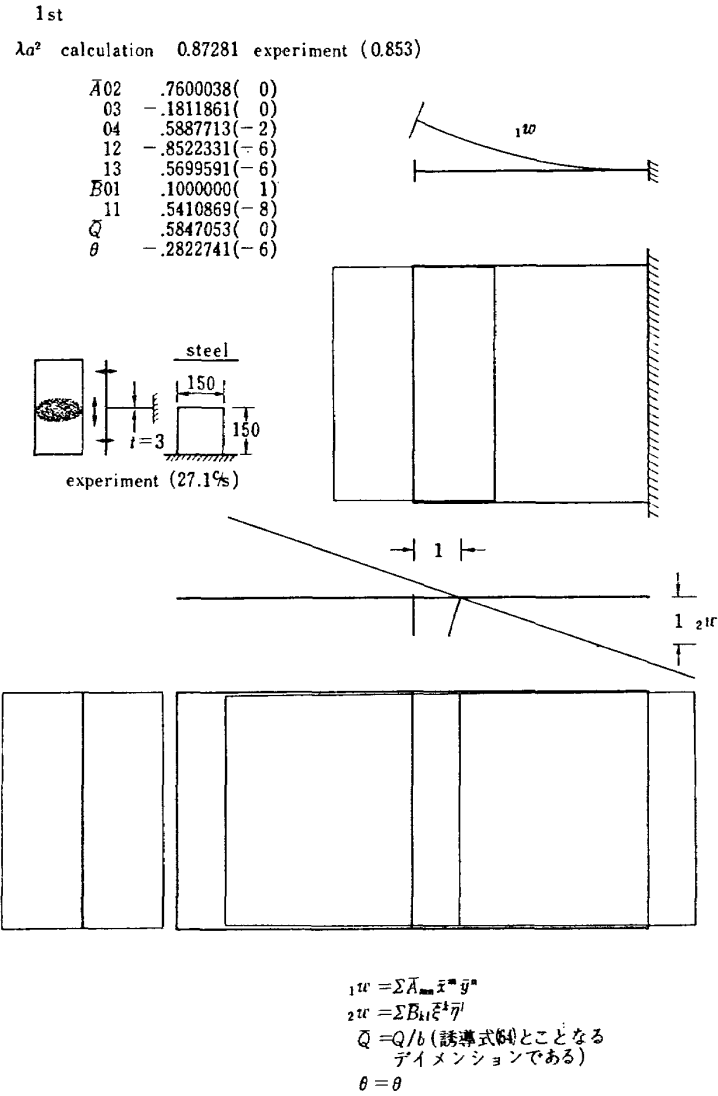


図 6.2 試験片 (A) 1st Mode

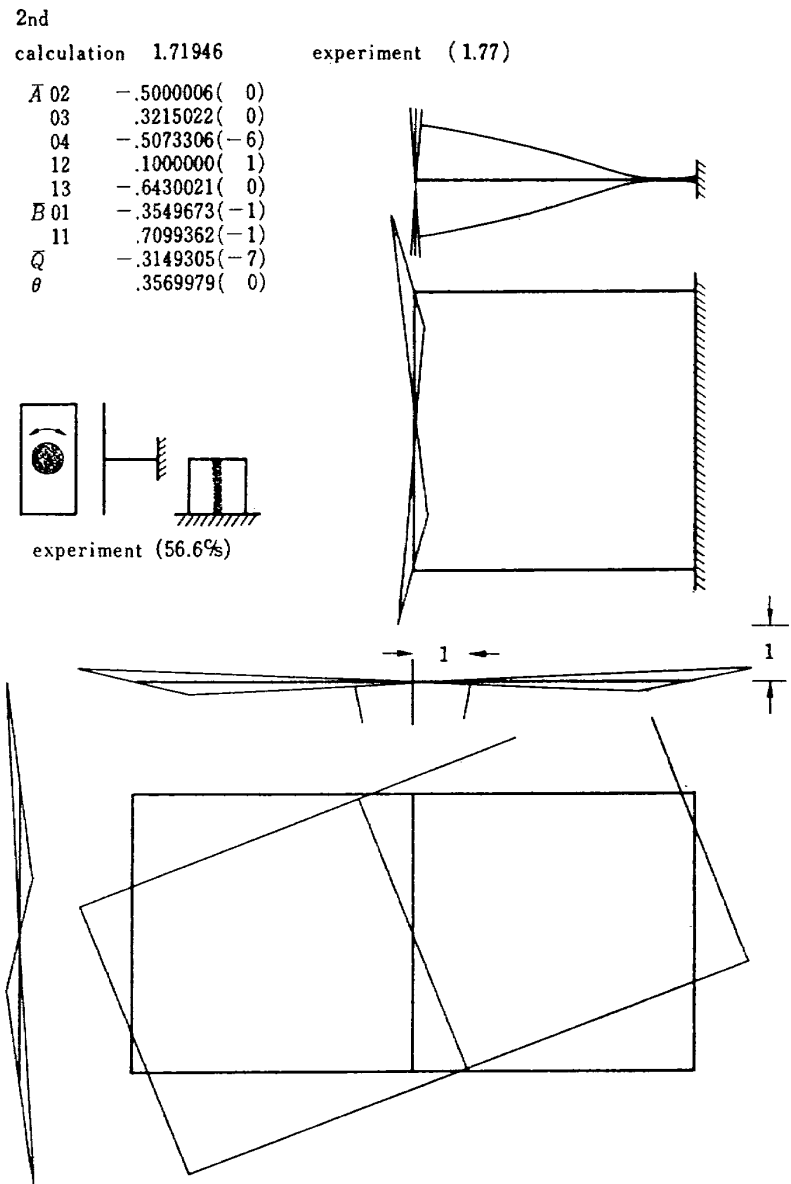


図 6.3 試験片 (A) 2nd Mode

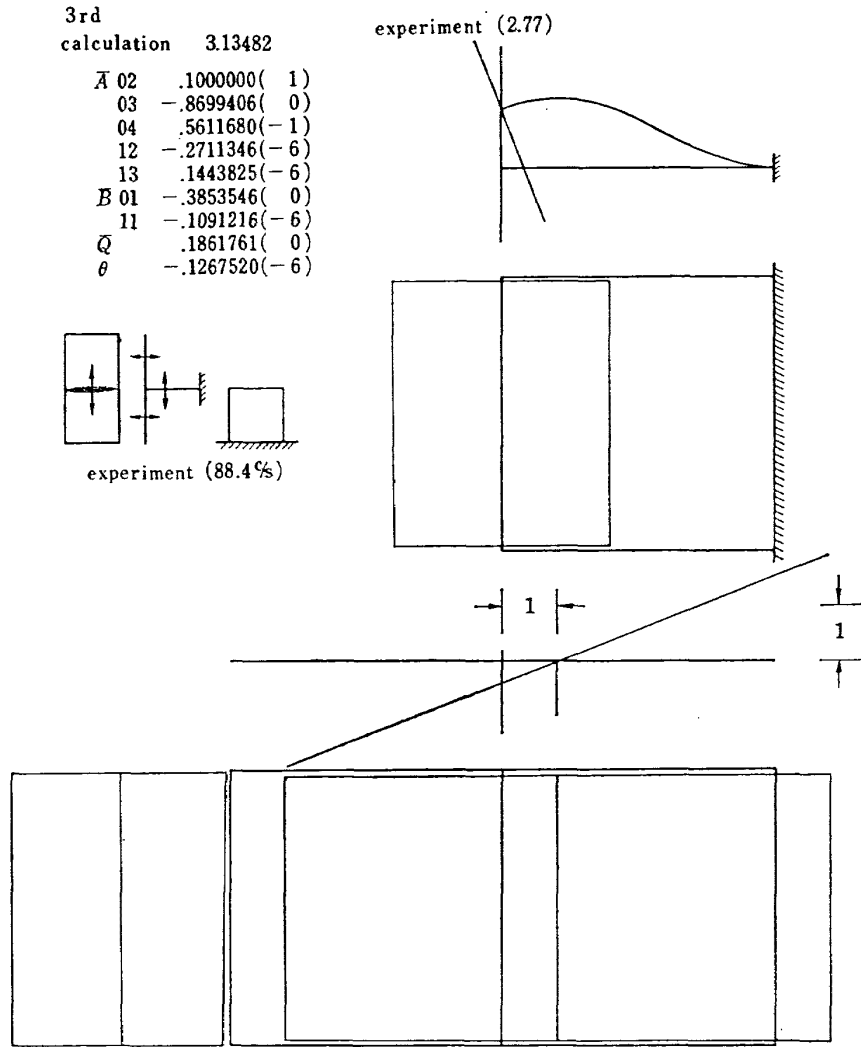


图 6.4 試験片 (A) 3rd Mode

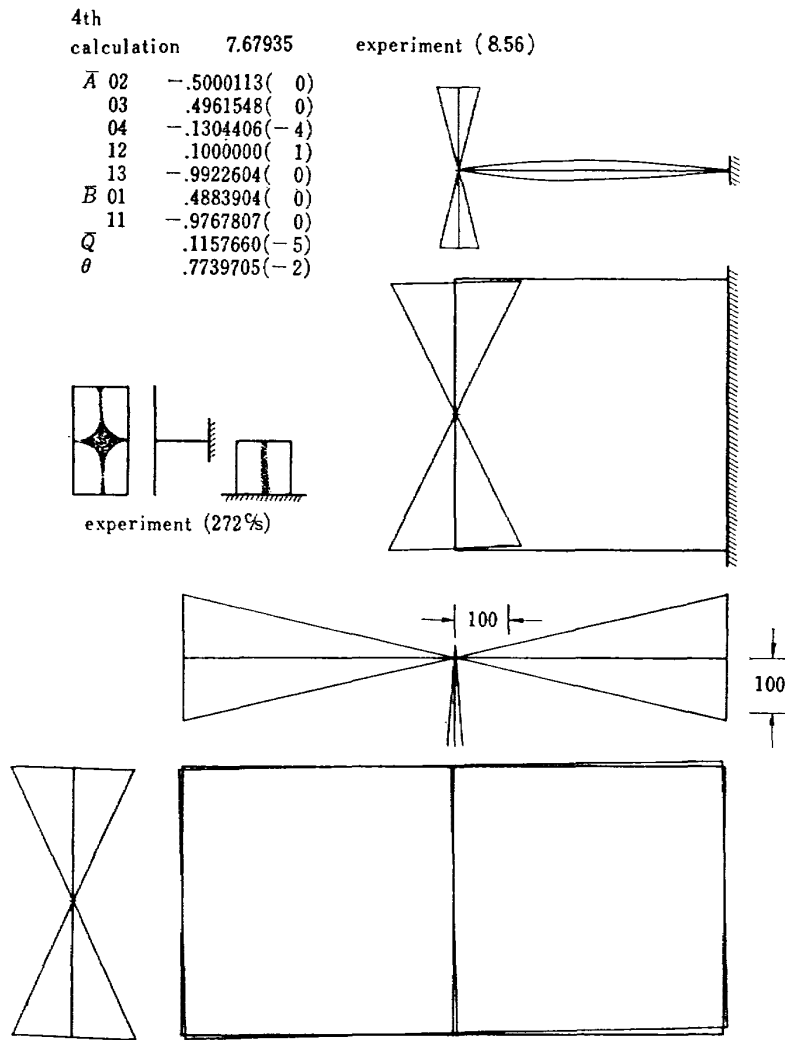


図 6.5 試験片 (A) 4th Mode

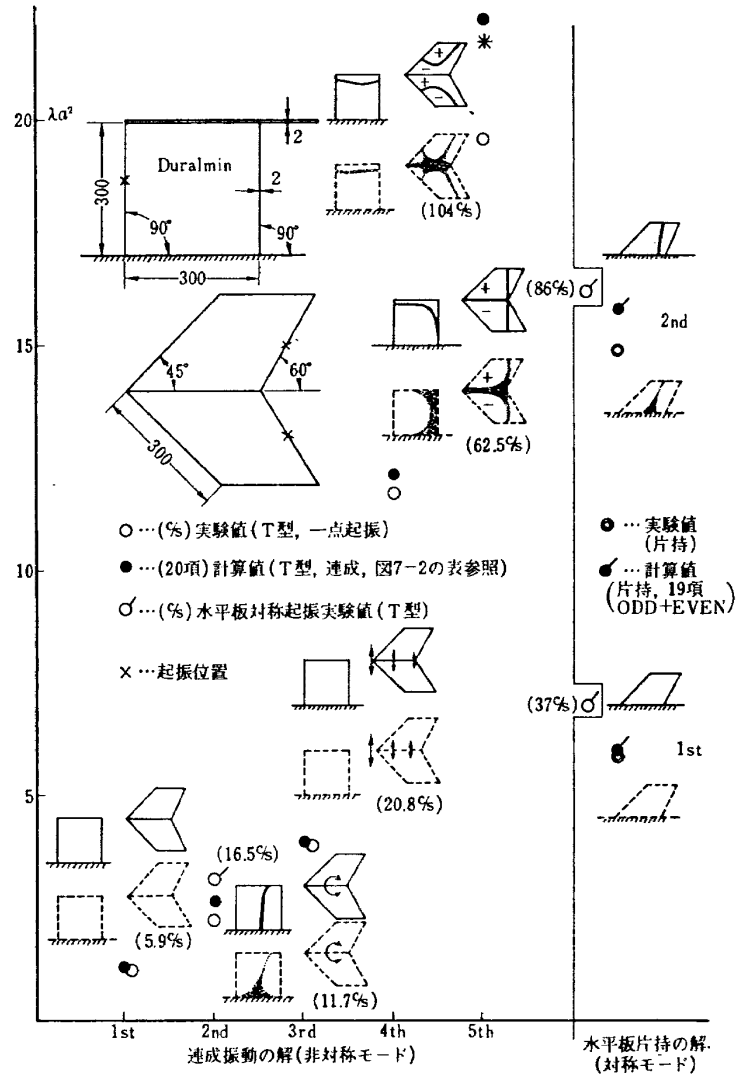
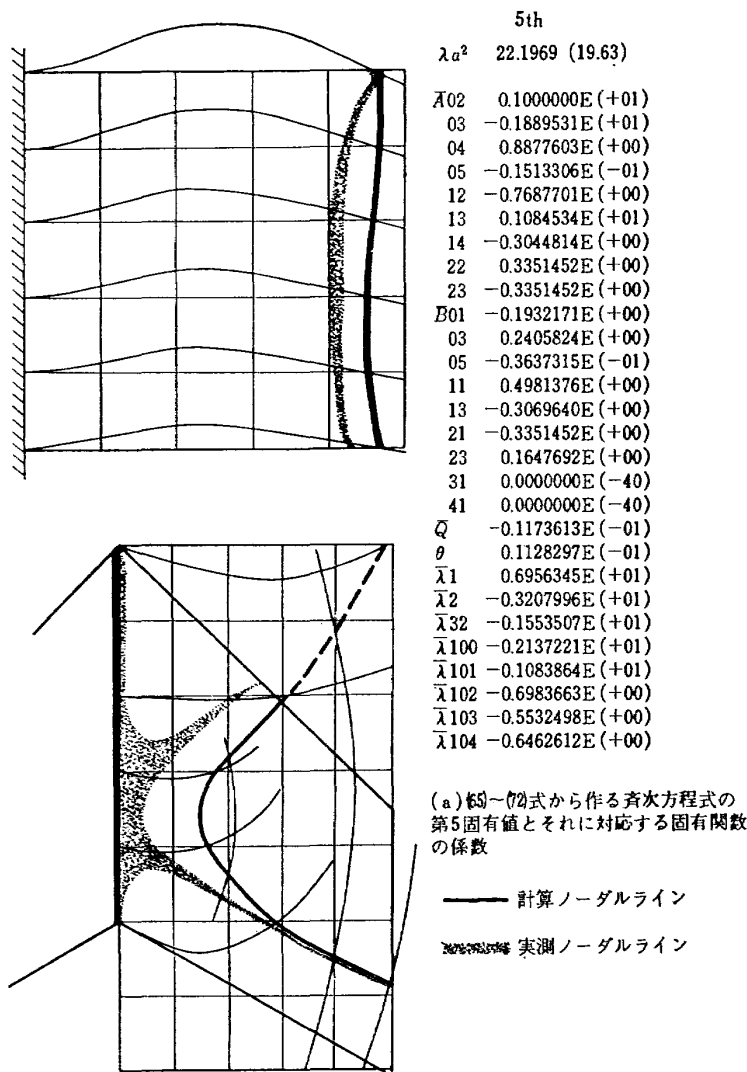


図 7.1 試験片 (B) 振動数と Mode, 試験片の結合は L 型補強とボルト止めによるもの。



5th 垂直板 $w = \bar{A}_{mn} \bar{x}^m \bar{y}^n$

$\bar{x} \backslash \bar{y}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000E-40	0.263E-01	0.616E-01	0.657E-01	0.312E-01	-0.169E-01
0.20	0.000E-40	0.222E-01	0.507E-01	0.513E-01	0.207E-01	-0.146E-01
0.40	0.000E-40	0.190E-01	0.422E-01	0.407E-01	0.135E-01	-0.124E-01
0.60	0.000E-40	0.166E-01	0.364E-01	0.339E-01	0.980E-02	-0.101E-01
0.80	0.000E-40	0.151E-01	0.331E-01	0.311E-01	0.953E-02	-0.788E-02
1.00	0.000E-40	0.145E-01	0.324E-01	0.320E-01	0.127E-01	-0.562E-02

水平板 $w = \bar{B}_{kl} \bar{\xi}^k \bar{\eta}^l$

$\bar{\xi} \backslash \bar{\eta}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000E-40	-0.367E-01	-0.623E-01	-0.668E-01	-0.433E-01	0.110E-01
0.20	0.000E-40	-0.199E-01	-0.313E-01	-0.269E-01	-0.240E-02	0.424E-01
0.40	0.000E-40	-0.838E-02	-0.102E-01	-0.241E-03	0.238E-01	0.602E-01
0.60	0.000E-40	-0.208E-02	0.104E-02	0.132E-01	0.353E-01	0.644E-01
0.80	0.000E-40	-0.105E-02	0.238E-02	0.134E-01	0.322E-01	0.549E-01
1.00	0.000E-40	-0.527E-02	-0.617E-02	0.289E-03	0.143E-01	0.318E-01
1.20	0.000E-40	-0.147E-01	-0.246E-01	-0.280E-01	-0.183E-01	-0.494E-02
1.40	0.000E-40	-0.295E-01	-0.529E-01	-0.656E-01	-0.656E-01	-0.553E-01
1.60	0.000E-40	-0.495E-01	-0.911E-01	-0.118E+00	-0.128E+00	-0.119E+00

(b) 節点判定用計算例：5th Mode* 試験片(B), 図7-1
 (a)の係数を用い試験関数(7)式から求めた
 (試験片各点のzおよびy方向変位)

図 7.2 試験片(B) 振動 Mode と計算した試験関数の係数の例
 5th Mode* 図 7.1

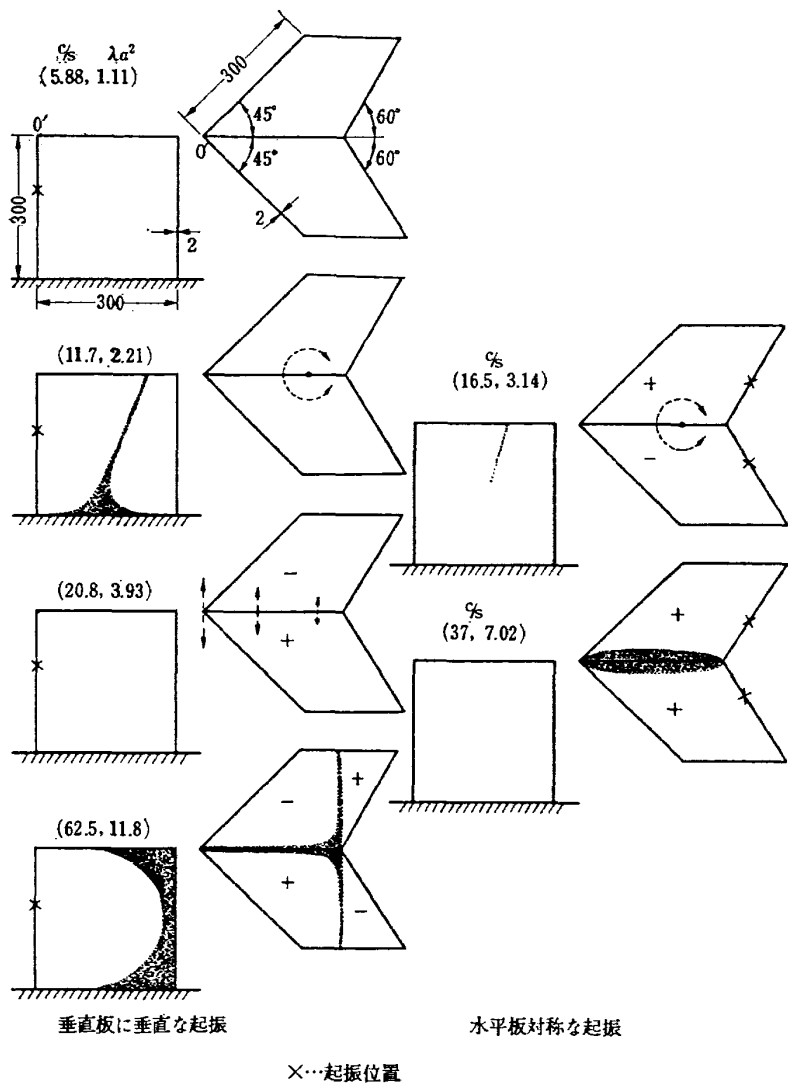


図 7.3 試験片 (B) 実験 Mode, $f=5.297 \lambda a^2$

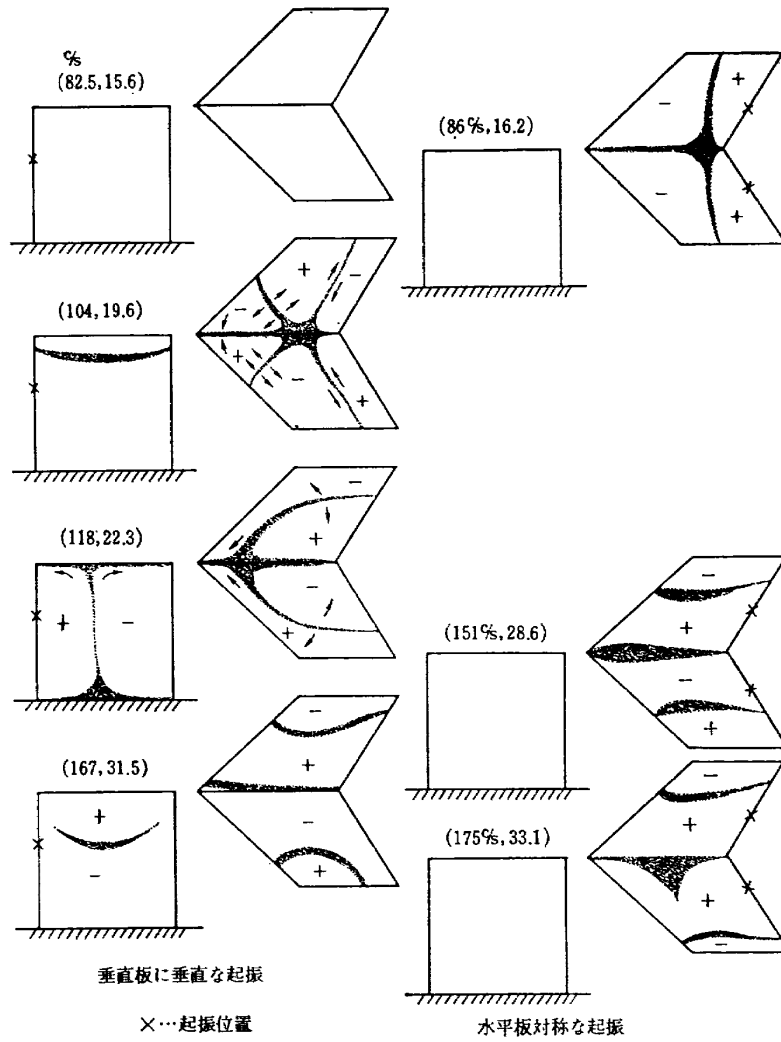
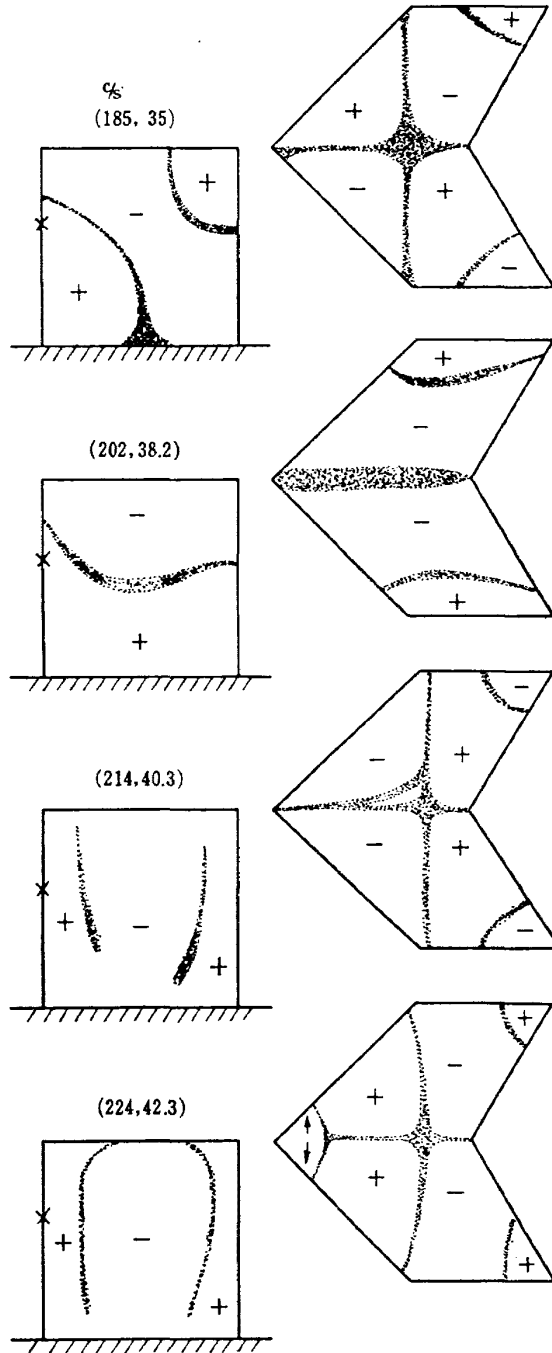


図 7.4 試験片 (B) 実験 Mode



垂直板に垂直な起振
 ×…起振位置

図 7.5 試験片 (B) 実験 Mode

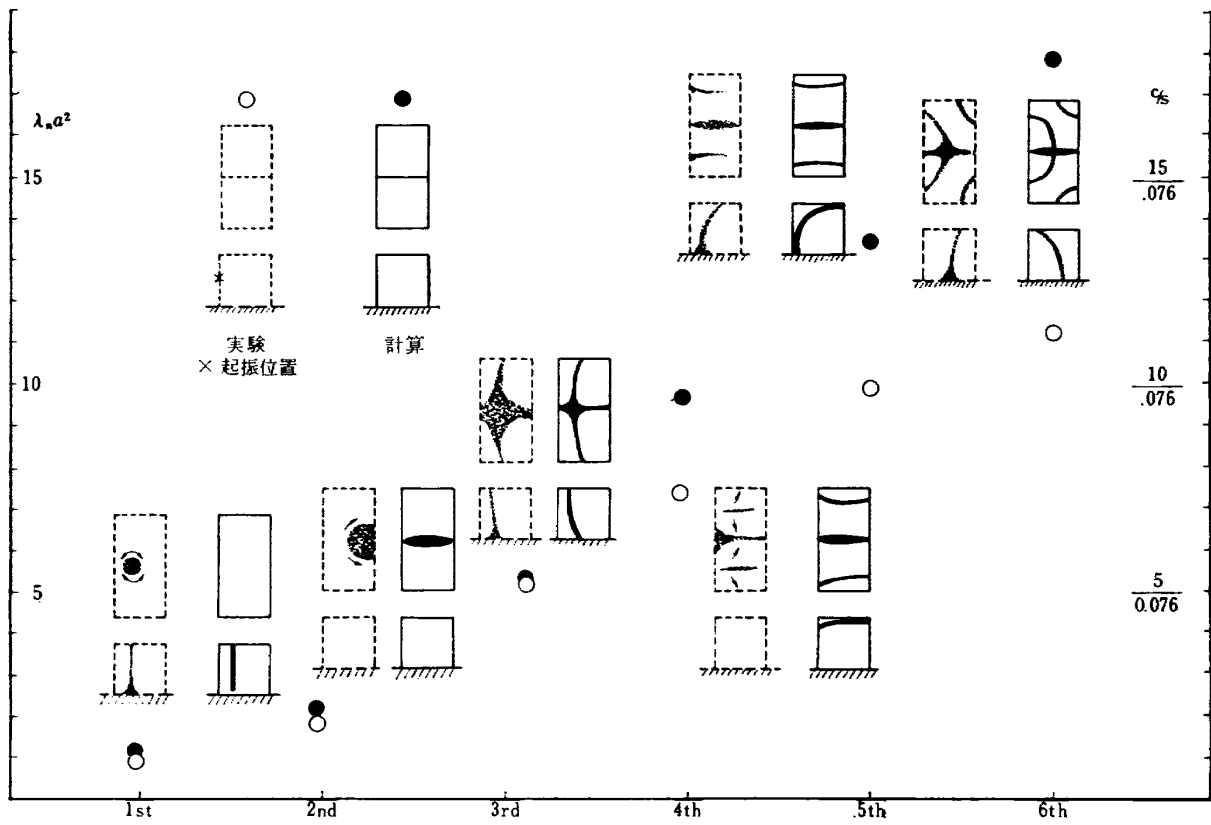


図 8.1 試験片 (C) 振動数と Mode

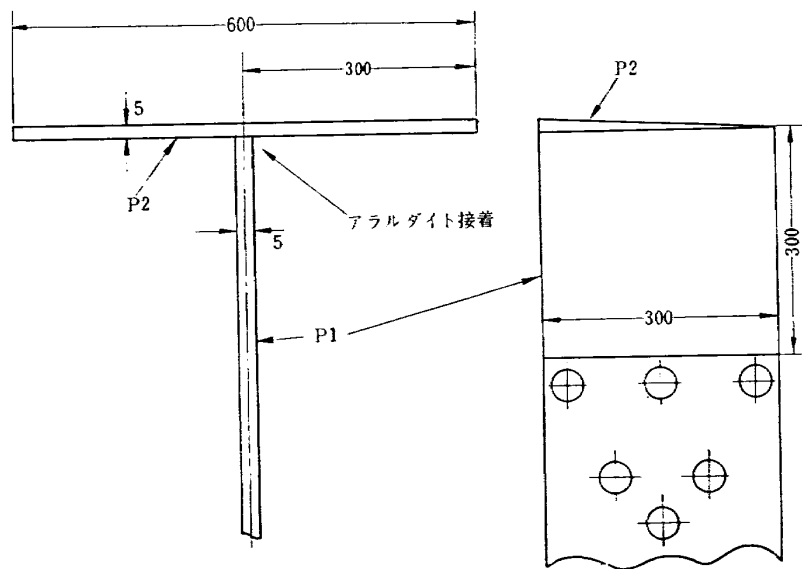


図 8.2 試験片 (C) ジュラルミン材

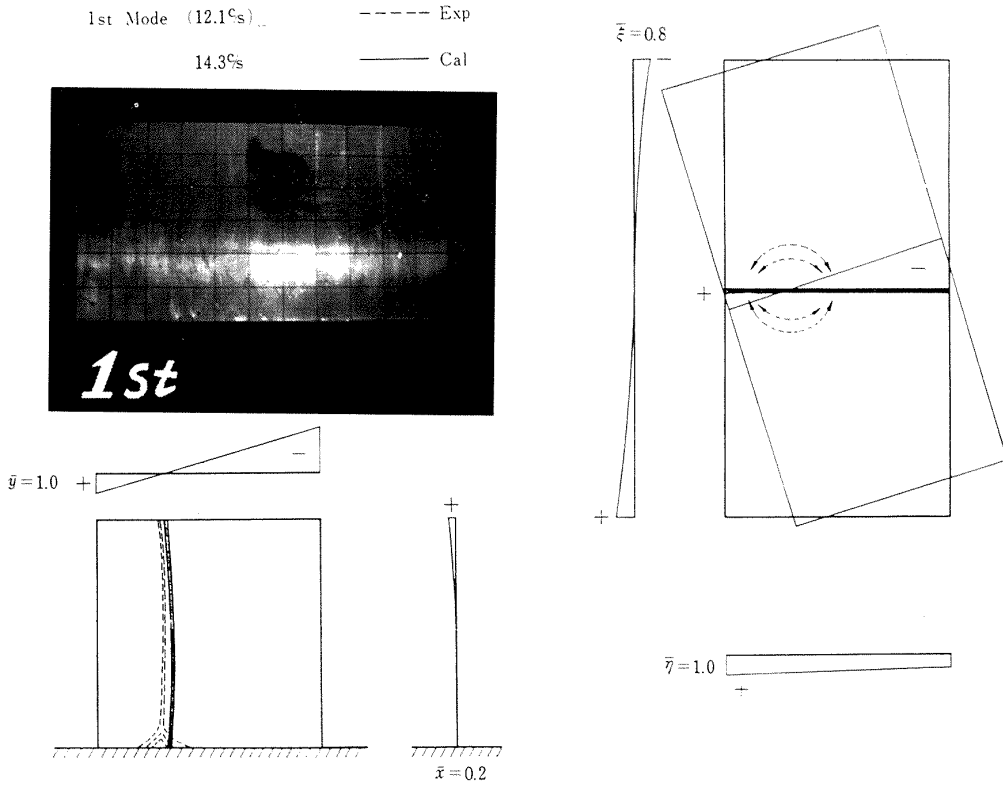


表 4.2 試験片 (C) 1st Mode

1st Mode

1st 垂直板

\bar{A} 02	0.100000 E +01
03	-0.6169064 E +00
04	0.6371584 E -01
05	-0.1831642 E -02
12	-0.4365166 E +01
13	0.3237674 E +01
14	-0.3035410 E +00
22	0.1774193 E -01
23	-0.1774193 E -01
\bar{B} 01	0.3949860 E +00
03	0.3643934 E -01
05	-0.2390651 E +01
11	-0.2314720 E +00
13	0.1164772 E +00
21	-0.1774193 E -01
23	0.1380266 E -01
31	0.0000000 E -40
41	0.0000000 E -40
\bar{Q}	-0.7141926 E -01
θ	-0.1431032 E +01
$\bar{\lambda}$ 1	0.1857578 E +00
$\bar{\lambda}$ 2	0.1478788 E +01
$\bar{\lambda}$ 32	0.2964102 E +03
$\bar{\lambda}$ 100	-0.3003728 E +00
$\bar{\lambda}$ 101	-0.2775039 E +00
$\bar{\lambda}$ 102	-0.1225580 E +00
$\bar{\lambda}$ 103	-0.5441582 E -01
$\bar{\lambda}$ 104	-0.2613847 E -01

$x \backslash y'$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000 E -40	0.357 E -01	0.124 E +00	0.238 E +00	0.255 E +00	0.451 E +00
0.20	0.000 E -40	0.543 E -02	0.227 E -01	0.534 E -01	0.990 E -01	0.161 E +00
0.40	0.000 E -40	-0.248 E -01	-0.783 E -01	-0.131 E +00	-0.156 E +00	-0.129 E +00
0.60	0.000 E -40	-0.549 E -01	-0.179 E +00	-0.315 E +00	-0.411 E +00	-0.419 E +00
0.80	0.000 E -40	-0.850 E -01	-0.280 E +00	-0.500 E +00	-0.666 E +00	-0.710 E +00
1.00	0.000 E -40	-0.115 E +00	-0.380 E +00	-0.684 E +00	-0.921 E +00	-0.100 E +01

左の係数を用いて計算した座標の垂直板の変位

1st 水平板

$\xi \backslash \eta$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000 E -40	0.804 E -01	0.162 E +00	0.246 E +00	0.332 E +00	0.414 E +00
0.20	0.000 E -40	0.711 E -01	0.145 E +00	0.223 E +00	0.305 E +00	0.389 E +00
0.40	0.000 E -40	0.615 E -01	0.127 E +00	0.199 E +00	0.279 E +00	0.366 E +00
0.60	0.000 E -40	0.515 E -01	0.109 E +00	0.174 E +00	0.235 E +00	0.342 E +00
0.80	0.000 E -40	0.414 E -01	0.892 E -01	0.149 E +00	0.225 E +00	0.317 E +00
1.00	0.000 E -40	0.309 E -01	0.697 E -01	0.124 E +00	0.197 E +00	0.293 E +00

左の係数を用いて計算した座標の水平板の変位

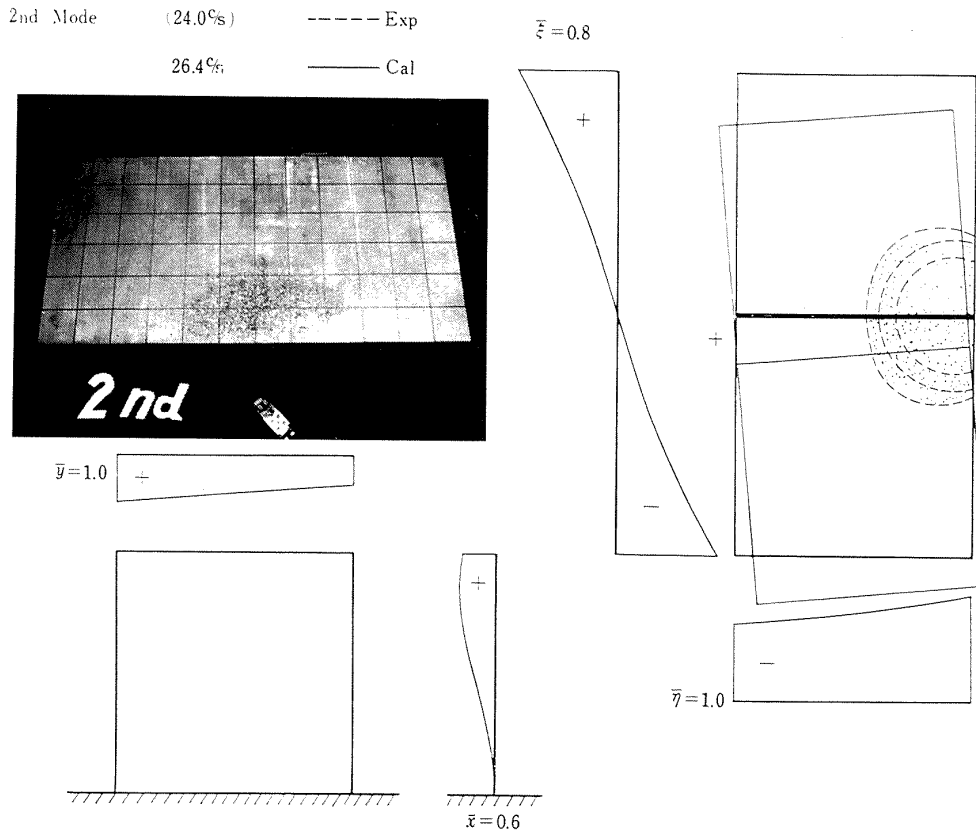


表 4.3 試験片 (C) 2nd Mode

2nd Mode	
$\bar{A}02$	0.100000 E +01
03	-0.7887218 E +00
04	0.8817528 E -02
05	0.2181071 E -01
12	-0.2170044 E +00
13	0.1827712 E +00
14	-0.7776934 E -01
22	-0.2501190 E -01
23	0.2501190 E -01
$\bar{B}01$	-0.2218417 E +00
03	-0.2678904 E +00
05	0.9943532 E -01
11	-0.1967726 E +00
13	0.7892763 E -01
21	0.2501190 E -01
23	-0.6529125 E -01
31	0.0300900 E -40
41	0.0000900 E -40
\bar{Q}	0.2014896 E +00
$\bar{\theta}$	-0.1120025 E +00
$\bar{\lambda}1$	-0.1868440 E +01
$\bar{\lambda}2$	0.4126472 E +00
$\bar{\lambda}32$	0.1817384 E +00
$\bar{\lambda}100$	0.1225997 E +01
$\bar{\lambda}101$	0.2673709 E +00
$\bar{\lambda}102$	0.7299723 E -01
$\bar{\lambda}103$	0.6285440 E -01
$\bar{\lambda}104$	0.5285388 E -01

2nd 垂直板							
$x \backslash y$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	
0.00	0.000 E -40	0.137 E +00	0.445 E +00	0.779 E +00	0.100 E +01	0.980 E +00	
0.20	0.000 E -40	0.130 E +00	0.425 E +00	0.739 E +00	0.937 E +00	0.889 E +00	
0.40	0.000 E -40	0.124 E +00	0.403 E +00	0.698 E +00	0.873 E +00	0.798 E +00	
0.60	0.000 E -40	0.118 E +00	0.381 E +00	0.656 E +00	0.808 E +00	0.707 E +00	
0.80	0.000 E -40	0.111 E +00	0.358 E +00	0.612 E +00	0.742 E +00	0.617 E +00	
1.00	0.000 E -40	0.104 E +00	0.334 E +00	0.568 E +00	0.675 E +00	0.526 E +00	

左の係数を用いて計算した座標の垂直板の変位

2nd 水平板							
$\xi \backslash \eta$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	
0.00	0.000 E -40	-0.188 E +00	-0.425 E +00	-0.741 E +00	-0.114 E +01	-0.158 E +01	
0.20	0.000 E -40	-0.219 E +00	-0.482 E +00	-0.821 E +00	-0.124 E +01	-0.168 E +01	
0.40	0.000 E -40	-0.248 E +00	-0.538 E +00	-0.903 E +00	-0.134 E +01	-0.179 E +01	
0.60	0.000 E -40	-0.276 E +00	-0.595 E +00	-0.988 E +00	-0.143 E +01	-0.193 E +01	
0.80	0.000 E -40	-0.302 E +00	-0.648 E +00	-0.100 E +01	-0.155 E +01	-0.206 E +01	
1.00	0.000 E -40	-0.327 E +00	-0.700 E +00	-0.115 E +01	-0.167 E +01	-0.222 E +01	

左の係数を用いて計算した座標の水平板の変位

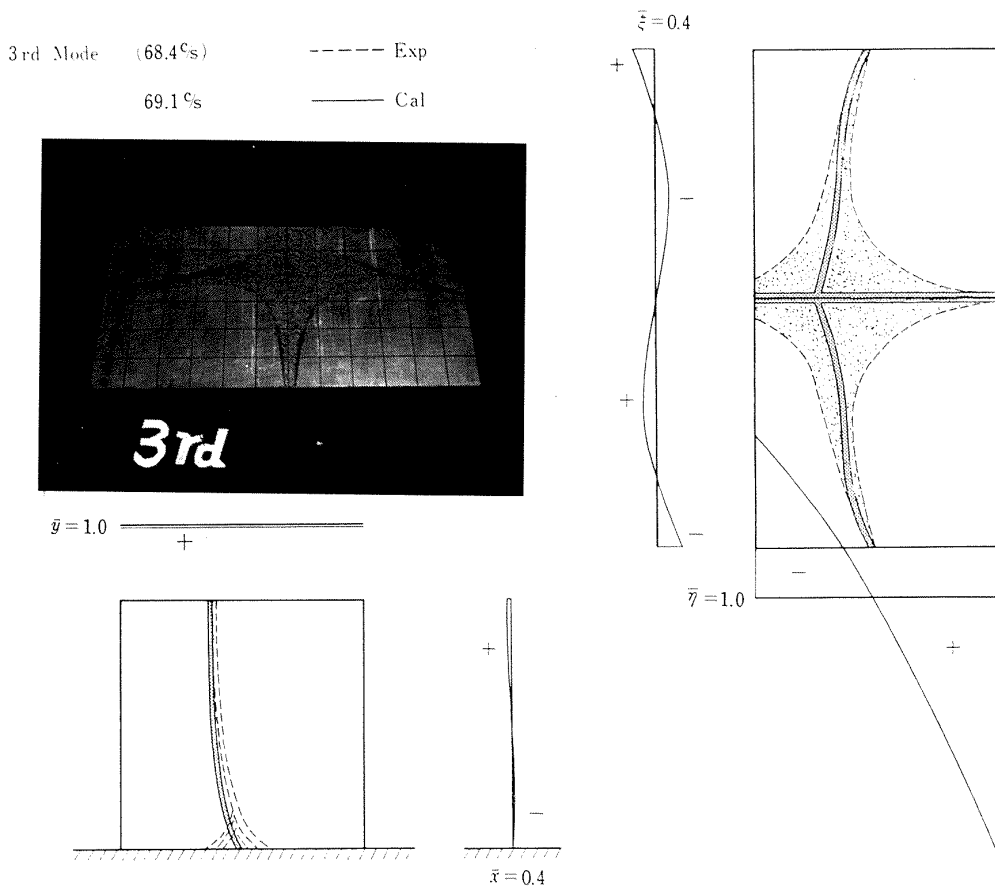


表 4.4 試験片 (C) 3rd Mode

3rd Mode

3rd 垂直板

\bar{A} 02	0.100000 E +01
03	-0.1198541 E +00
04	-0.7306691 E +00
05	-0.1008431 E +00
12	-0.8898579 E +00
13	-0.3232225 E +01
14	0.4087913 E +01
22	-0.2732672 E +01
23	0.2732672 E +01
\bar{B} 01	-0.1786454 E +01
03	-0.5378810 E +00
05	0.2370210 E +00
11	0.4875261 E +01
13	-0.1294910 E +01
21	0.2732672 E +01
23	-0.6194755 E +00
31	0.0000000 E -40
41	0.0000000 E -40
\bar{Q}	0.3630318 E -01
$\bar{\theta}$	-0.3417000 E -01
$\bar{\lambda}$ 1	-0.2205488 E +01
$\bar{\lambda}$ 2	0.8247643 E +00
$\bar{\lambda}$ 32	0.3553129 E +00
$\bar{\lambda}$ 100	0.1472010 E +01
$\bar{\lambda}$ 101	-0.5331330 E +00
$\bar{\lambda}$ 102	-0.3995494 E +00
$\bar{\lambda}$ 103	-0.1846805 E +01
$\bar{\lambda}$ 104	-0.2171772 E +01

$x \backslash y$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000 E -40	0.579 E -01	0.203 E +00	0.354 E +00	0.377 E +00	0.744 E -01
0.20	0.000 E -40	0.357 E -01	0.112 E +00	0.181 E +00	0.187 E +00	0.640 E -01
0.40	0.000 E -40	0.288 E -02	-0.110 E -01	-0.411 E -01	-0.454 E -01	0.535 E -01
0.60	0.000 E -40	-0.407 E -01	-0.166 E +00	-0.311 E +00	-0.321 E +00	0.430 E -01
0.80	0.000 E -40	-0.950 E -01	-0.353 E +00	-0.629 E +00	-0.639 E +00	0.326 E -01
1.00	0.000 E -40	-0.160 E -00	-0.573 E +00	-0.996 E +00	-0.100 E +01	0.221 E -01

左の係数を用いて計算した座標の垂直板の変位

3rd 水平板

$\xi \backslash \eta$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000 E -40	-0.554 E +01	-0.114 E +01	-0.179 E +01	-0.250 E +01	-0.320 E +01
0.20	0.000 E -40	-0.225 E +00	-0.507 E +00	-0.888 E +00	-0.129 E +01	-0.198 E +01
0.40	0.000 E -40	0.170 E +00	0.259 E +00	0.198 E +00	-0.505 E +01	-0.485 E +00
0.60	0.000 E -40	0.631 E +00	0.115 E +01	0.147 E +01	0.151 E +01	0.125 E +01
0.80	0.000 E -40	0.116 E +01	0.217 E +01	0.294 E +01	0.331 E +01	0.326 E +01
1.00	0.000 E -40	0.175 E +01	0.332 E +01	0.456 E +01	0.533 E +01	0.553 E +01

左の係数を用いて計算した座標の水平板の変位

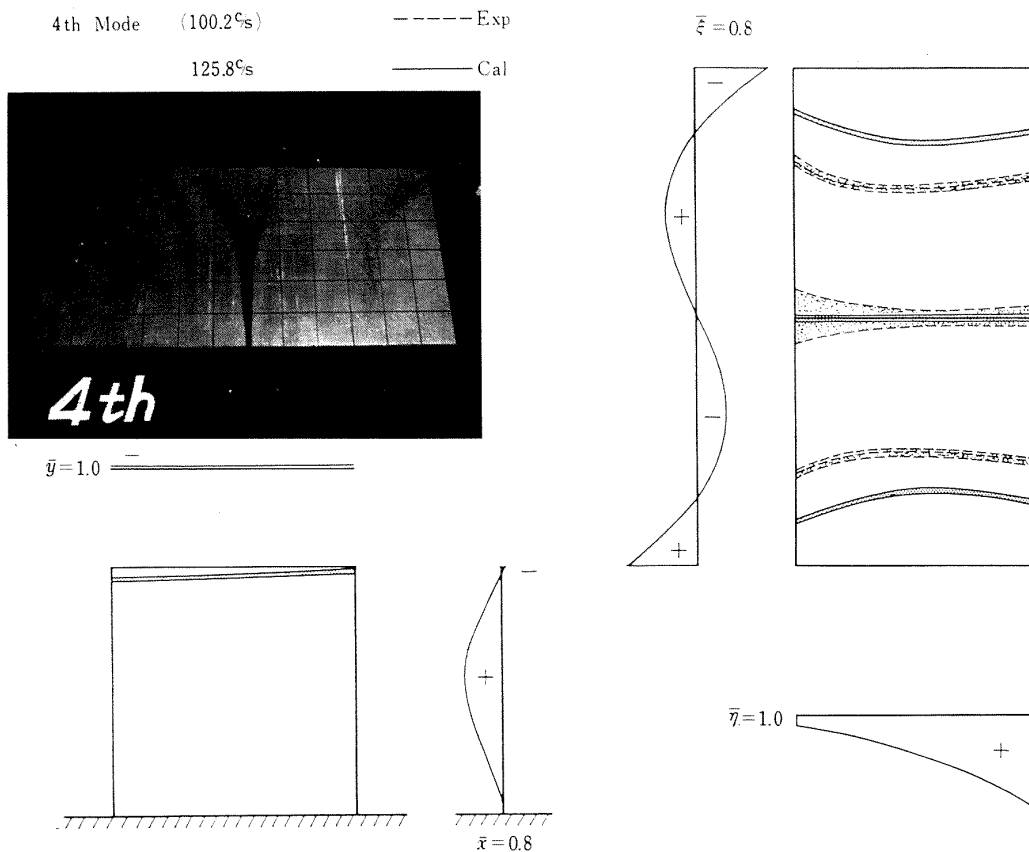


表 4.5 試験片 (C) 4 th Mode

4 th Mode

\bar{A} 02	0.100000 E + C1
03	-0.8277014 E + C0
04	-0.4781925 E + 00
05	0.2800847 E + 00
12	0.6474972 E + 01
13	-0.1413165 E + 02
14	0.7638344 E + 01
22	0.2292634 E + 01
23	-0.2292634 E + 01
\bar{B} 01	-0.9954504 E + 00
03	0.1894999 E + 01
05	-0.7155846 E + 00
11	0.1083579 E + 01
13	-0.7330568 E + 00
21	-0.2292634 E + 01
23	0.3175728 E + 01
31	0.000000 E - 40
41	0.000000 E - 40
\bar{Q}	-0.3242661 E - 01
$\bar{\theta}$	-0.1833827 E - 01
$\bar{\lambda}$ 1	0.6526778 E + 01
$\bar{\lambda}$ 2	0.1466494 E + 01
$\bar{\lambda}$ 32	0.8658397 E + 00
$\bar{\lambda}$ 100	-0.6177160 E - 01
$\bar{\lambda}$ 101	-0.3111009 E + 00
$\bar{\lambda}$ 102	-0.3150749 E + 00
$\bar{\lambda}$ 103	-0.1837214 E + 00
$\bar{\lambda}$ 104	-0.8958076 E - 01

4 th 垂直板

$x \backslash y$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000 E - 40	0.442 E - 01	0.132 E + 00	0.191 E + 00	0.152 E + 00	-0.349 E - 01
0.20	0.000 E - 40	0.910 E - 01	0.232 E + 00	0.281 E + 00	0.178 E + 00	-0.399 E - 01
0.40	0.000 E - 40	0.146 E + 00	0.357 E + 00	0.407 E + 00	0.235 E + 00	-0.448 E - 01
0.60	0.000 E - 40	0.208 E + 00	0.505 E + 00	0.569 E + 00	0.325 E + 00	-0.498 E - 01
0.80	0.000 E - 40	0.279 E + 00	0.676 E + 00	0.767 E + 00	0.446 E + 00	-0.547 E - 01
1.00	0.000 E - 40	0.357 E + 00	0.872 E + 00	0.100 E + 01	0.599 E + 00	-0.597 E - 01

左の係数を用いて計算した座標の垂直板の変位

4 th 水平板

$\xi \backslash \eta$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.88	1.00
0.00	0.000 E - 40	-0.249 E + 00	-0.384 E + 00	-0.336 E + 00	-0.819 E + 01	0.249 E + 00
0.20	0.000 E - 40	-0.214 E + 00	-0.315 E + 00	-0.236 E + 00	0.450 E + 01	0.397 E + 00
0.40	0.000 E - 40	-0.226 E + 00	-0.324 E + 00	-0.204 E + 00	0.150 E + 00	0.642 E + 00
0.60	0.000 E - 40	-0.285 E + 00	-0.409 E + 00	-0.254 E + 00	0.231 E + 00	0.982 E + 00
0.80	0.000 E - 40	-0.391 E + 00	-0.573 E + 00	-0.378 E + 00	0.291 E + 00	0.142 E + 01
1.00	0.000 E - 40	-0.542 E + 00	-0.814 E + 00	-0.577 E + 00	0.328 E + 00	0.195 E + 01

左の係数を用いて計算した座標の水平板の変位

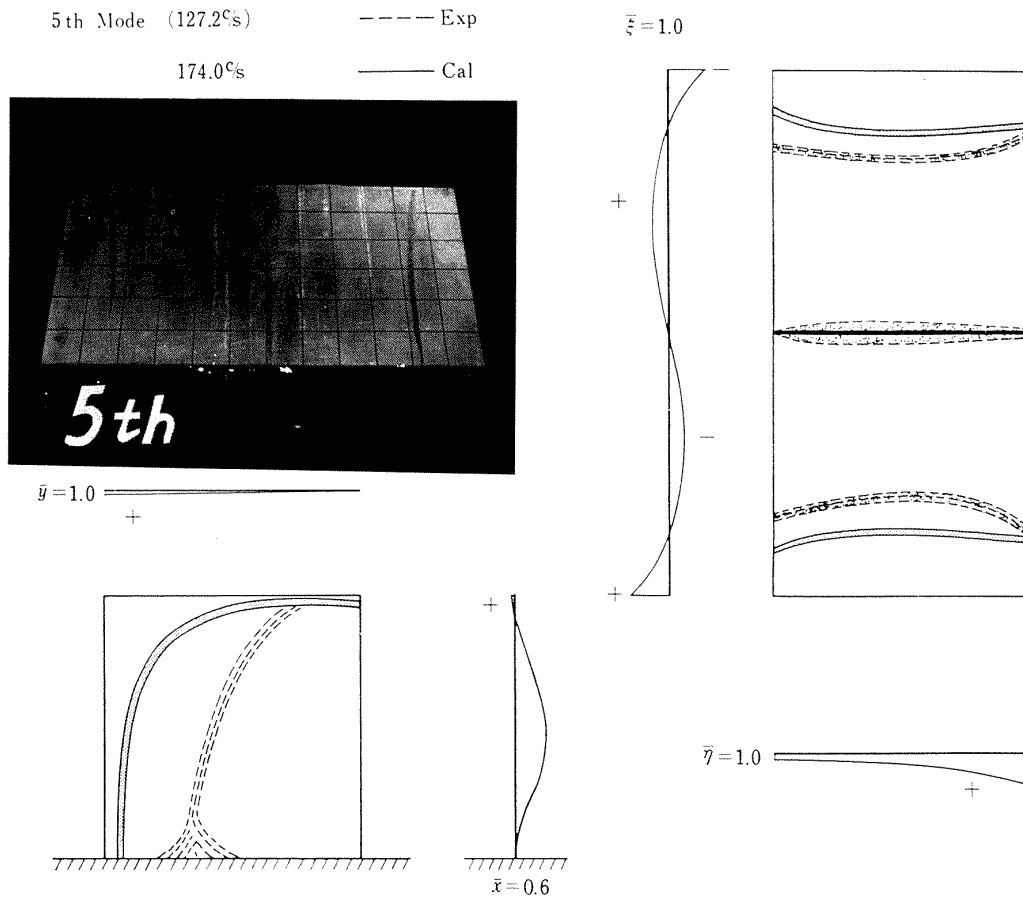


表 4.6 試験片 (C) 5 th Mode

5 th Mode

\bar{A} 02	0.1000000 E +01
03	-0.1383811 E +01
04	0.1125315 E +00
05	0.2872980 E +00
12	-0.1278549 E +02
13	0.2555962 E +02
14	-0.1275957 E +02
22	0.4842220 E +00
23	-0.4842220 E +00
\bar{B} 01	-0.2648171 E +00
03	0.5304509 E +00
05	-0.1944525 E +00
11	0.6960391 E -01
13	-0.1960576 E -01
21	-0.4842220 E +00
23	0.7218629 E +00
31	0.0000000 E -40
41	0.0000000 E -40
\bar{Q}	0.2127265 E -01
$\bar{\theta}$	0.1456057 E -01
$\bar{\lambda}$ 1	-0.8146020 E +01
$\bar{\lambda}$ 2	-0.2215226 E +01
$\bar{\lambda}$ 32	-0.1167449 E +01
$\bar{\lambda}$ 100	0.2416978 E +01
$\bar{\lambda}$ 101	0.8990718 E +00
$\bar{\lambda}$ 102	0.7227876 E +00
$\bar{\lambda}$ 103	0.5208930 E +00
$\bar{\lambda}$ 104	0.4052719 E +00

5 th 垂直板

$x \backslash y$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000 E -40	0.477 E -01	0.126 E +00	0.160 E +00	0.117 E +00	0.261 E -01
0.20	0.000 E -40	-0.582 E -01	-0.100 E +00	-0.756 E -01	0.158 E -01	0.309 E -01
0.40	0.000 E -40	-0.162 E +00	-0.343 E +00	-0.302 E +00	-0.773 E -01	0.356 E -01
0.60	0.000 E -40	-0.264 E +00	-0.568 E +00	-0.519 E +00	-0.162 E +00	0.404 E -01
0.80	0.000 E -40	-0.364 E +00	-0.787 E +00	-0.727 E +00	-0.238 E +00	0.452 E -01
1.00	0.000 E -40	-0.461 E +00	-0.100 E +01	-0.927 E +00	-0.308 E +00	0.499 E -01

左の係数を用いて計算した座標の垂直板の変位

5 th 水平板

$\xi \backslash \eta$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000 E -40	-0.796 E -01	-0.121 E +00	-0.969 E -01	-0.649 E -02	0.116 E +00
0.20	0.000 E -40	-0.811 E -01	-0.122 E +00	-0.935 E -01	0.724 E -02	0.148 E +00
0.40	0.000 E -40	-0.943 E -01	-0.142 E +00	-0.108 E +00	0.186 E -01	0.210 E +00
0.60	0.000 E -40	-0.119 E +00	-0.181 E +00	-0.146 E +00	0.227 E -01	0.305 E +00
0.80	0.000 E -40	-0.157 E +00	-0.240 E +00	-0.189 E +00	0.346 E -01	0.429 E +00
1.00	0.000 E -40	-0.206 E +00	-0.318 E +00	-0.256 E +00	0.390 E -01	0.586 E +00

左の係数を用いて計算した座標の水平板の変位

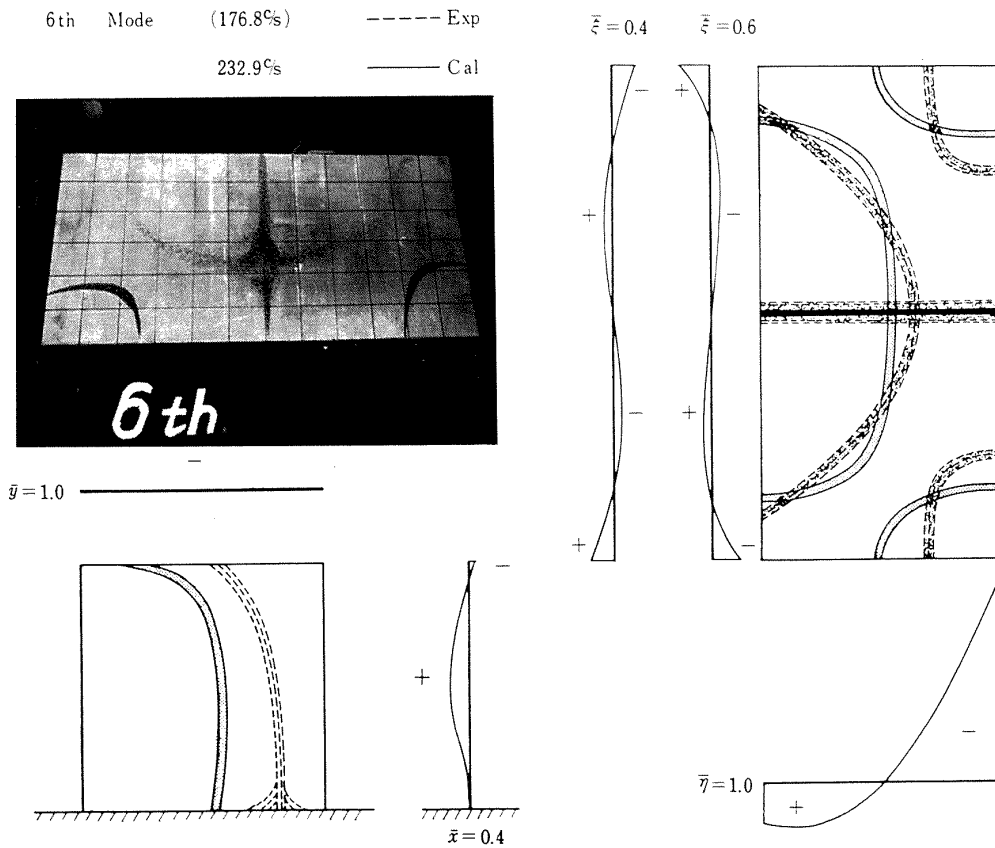


表 4.7 試験片 (C) 6th Mode

6th Mode

\bar{A} 02	0.1000000 E +01
03	-0.1858578 E +01
04	0.8512774 E +00
05	0.2690083 E -02
12	-0.1284891 E +01
13	0.2536526 E +01
14	-0.1248482 E +01
22	-0.4832635 E +00
23	0.4832635 E +00
\bar{B} 01	-0.1577510 E +00
03	0.3001620 E +00
05	-0.7483728 E -01
11	0.4586796 E -01
13	0.9924687 E -01
21	0.4832635 E +00
23	-0.1040473 E +01
31	0.0000000 E -40
41	0.0000000 E -40
\bar{Q}	-0.3473104 E -02
$\bar{\theta}$	0.3152910 E -02
$\bar{\lambda}$ 1	0.2417594 E +01
$\bar{\lambda}$ 2	-0.8683636 E +00
$\bar{\lambda}$ 32	-0.2715307 E +00
$\bar{\lambda}$ 100	-0.3477898 E +00
$\bar{\lambda}$ 101	-0.4895490 E -01
$\bar{\lambda}$ 102	0.7578773 E -02
$\bar{\lambda}$ 103	0.4821888 E -01
$\bar{\lambda}$ 104	0.0738882 E -01

6th 垂直板

$x \backslash y$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000 E -40	0.344 E +00	-0.817 E +00	0.897 E +00	0.493 E +00	-0.599 E -01
0.20	0.000 E -40	0.250 E +00	-0.597 E +00	0.663 E +00	0.370 E +00	-0.517 E -01
0.40	0.000 E -40	0.140 E +00	-0.330 E +00	0.355 E +00	0.183 E +00	-0.435 E -01
0.60	0.000 E -40	0.139 E +01	0.136 E -01	-0.241 E -01	-0.689 E -01	-0.353 E -01
0.80	0.000 E -40	0.128 E +00	0.351 E +00	-0.476 E +00	-0.385 E +00	-0.271 E -01
1.00	0.000 E -40	0.287 E +00	0.763 E +00	-0.100 E +01	-0.765 E +00	-0.189 E -01

左の係数を用いて計算した座標の垂直板の変位

6th 水平板

$\xi \backslash \eta$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000 E -40	-0.378 E +00	-0.577 E +00	-0.458 E +00	0.444 E -01	0.884 E +00
0.20	0.000 E -40	-0.305 E +00	-0.447 E +00	-0.297 E +00	0.196 E +00	0.973 E +00
0.40	0.000 E -40	-0.142 E +00	-0.186 E +00	-0.684 E -01	0.195 E +00	0.481 E +00
0.60	0.000 E -40	0.113 E +00	0.208 E +00	0.229 E +00	0.432 E -01	-0.589 E +00
0.80	0.000 E -40	0.460 E +00	0.732 E +00	0.592 E +00	-0.261 E +00	-0.223 E +01
1.00	0.000 E -40	0.899 E +00	0.139 E +00	0.102 E +01	-0.717 E +00	-0.447 E +01

左の係数を用いて計算した座標の水平板の変位

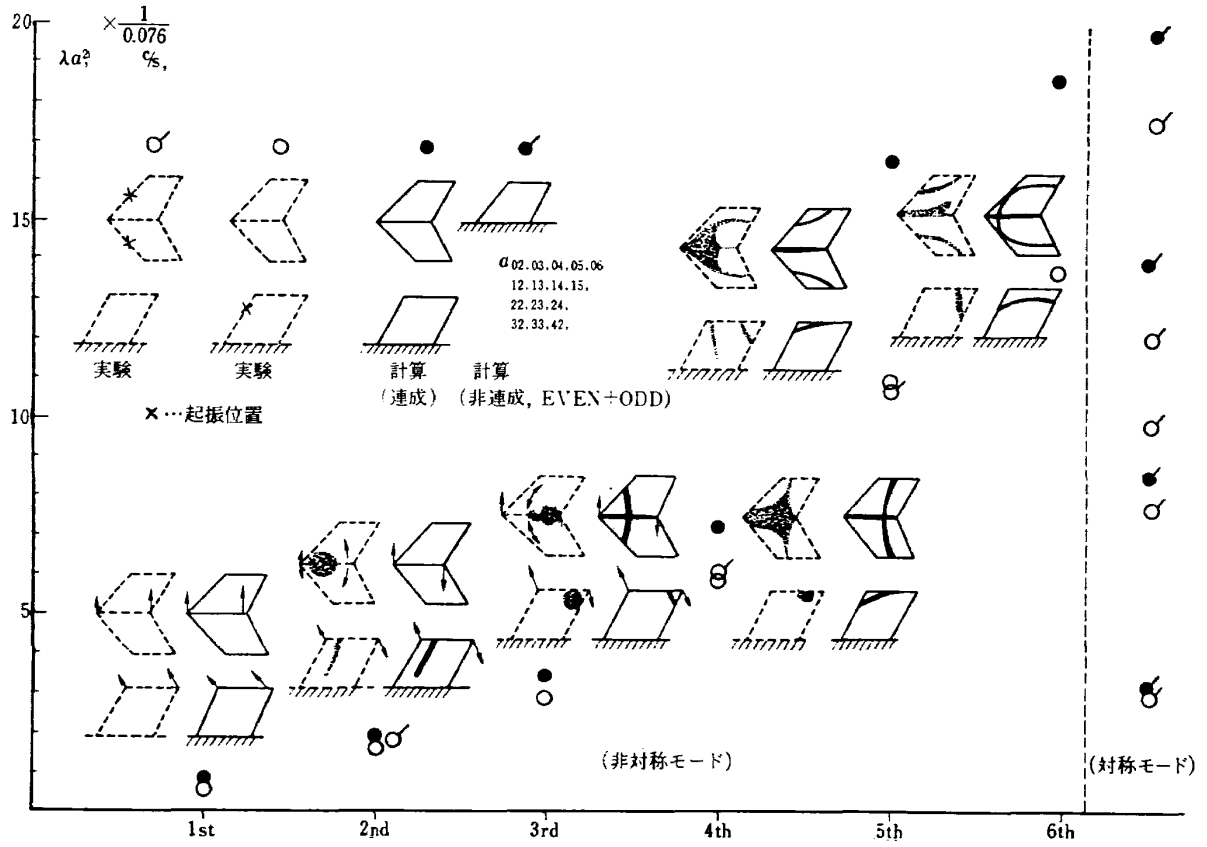


図 9.1 試験片 (D) 振動数と Mode

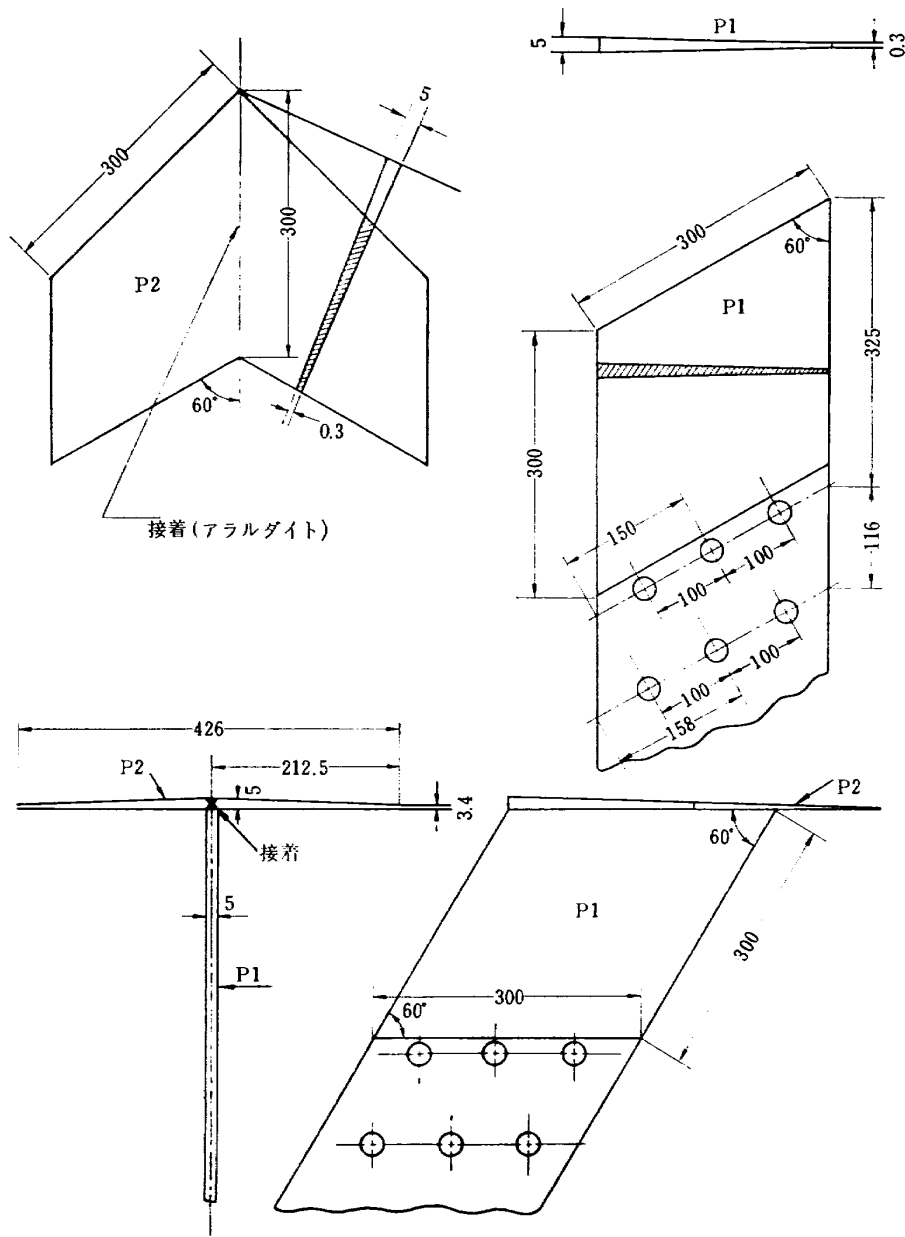
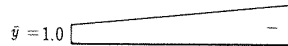
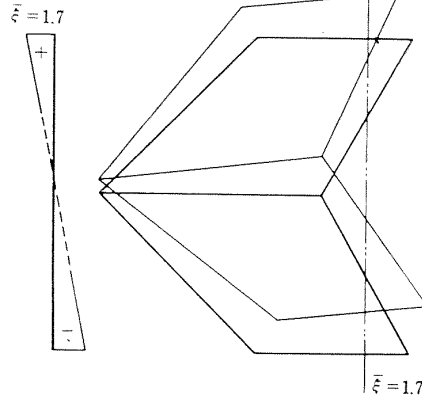
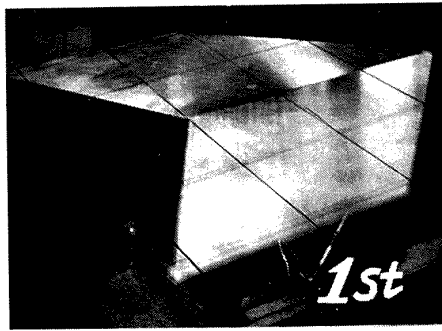


図 9・2 試験片 (D) ジュラルミン材

1st Mode.



----- Exp (9.1%)
 ——— Cal 9.8%

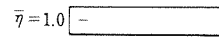
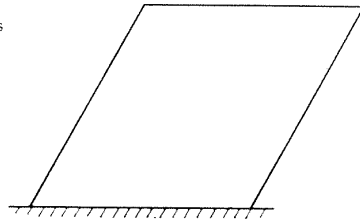


表 5.2 試験片 (D) 1st Mode

1st

1st 垂直板

$\bar{A}02$	0.100000 E +01
03	-0.4314302 E +01
04	-0.8328401 E +02
05	0.4657190 E +02
12	-0.4112500 E +03
13	0.4979329 E +03
14	-0.1931385 E +03
22	-0.2021162 E +02
23	0.2021162 E +02
$\bar{B}01$	-0.1112195 E +03
03	-0.5023775 E +02
05	-0.2746286 E +00
11	-0.7125502 E +02
13	0.7415264 E +02
21	0.2021162 E +02
23	-0.2656829 E +02
31	0.0000000 E +40
41	0.7790093 E +16
\bar{Q}	-0.1953933 E +03
θ	-0.9219314 E +02
$\bar{\lambda}1$	0.5264110 E +02
$\bar{\lambda}2$	0.1076939 E +02
$\bar{\lambda}32$	-0.4024035 E +01
$\bar{\lambda}100$	0.1553777 E +02
$\bar{\lambda}101$	0.5076395 E +01
$\bar{\lambda}102$	0.1739667 E +01
$\bar{\lambda}103$	0.3676934 E +01
$\bar{\lambda}104$	0.1046934 E +02

$x \backslash y$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000 E -40	-0.537 E -03	-0.842 E -02	-0.368 E -01	-0.971 E -01	-0.190 E +00
0.20	0.000 E -40	-0.130 E -01	-0.468 E -01	-0.102 E +00	-0.184 E +00	-0.291 E +00
0.40	0.000 E -40	-0.257 E -01	-0.860 E -01	-0.169 E +00	-0.271 E +00	-0.393 E +00
0.60	0.000 E -40	-0.386 E -01	-0.126 E +00	-0.236 E +00	-0.359 E +00	-0.494 E +00
0.80	0.000 E -40	-0.518 E -01	-0.167 E +00	-0.305 E +00	-0.449 E +00	-0.595 E +00
1.00	1.000 E -40	-0.653 E -01	-0.203 E +00	-0.374 E +00	-0.539 E +00	-0.696 E +00
1.20	1.000 E -40	-0.789 E -01	-0.250 E +00	-0.445 E +00	-0.631 E +00	-0.798 E +00
1.40	1.000 E -40	-0.929 E -01	-0.293 E +00	-0.517 E +00	-0.723 E +00	-0.899 E +00
1.60	1.000 E -40	-0.107 E -00	-0.336 E +00	-0.590 E +00	-0.816 E +00	-0.100 E +01

左の係数を用いて計算した座標の垂直板の変位

1st 水平板

$\xi \backslash \eta$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.50	0.000 E -40	-0.111 E +00	-0.225 E +00	-0.347 E +00	-0.482 E +00	-0.629 E +00
0.70	0.000 E -40	-0.117 E +00	-0.237 E +00	-0.362 E +00	-0.493 E +00	-0.633 E +00
0.90	0.000 E -40	-0.124 E +00	-0.248 E +00	-0.374 E +00	-0.505 E +00	-0.637 E +00
1.10	0.000 E -40	-0.128 E +00	-0.257 E +00	-0.385 E +00	-0.517 E +00	-0.645 E +00
1.30	0.000 E -40	-0.132 E +00	-0.263 E +00	-0.396 E +00	-0.524 E +00	-0.657 E +00
1.50	0.000 E -40	-0.134 E +00	-0.268 E +00	-0.400 E +00	-0.536 E +00	-0.668 E +00
1.70	0.000 E -40	-0.135 E +00	-0.270 E +00	-0.403 E +00	-0.543 E +00	-0.680 E +00
1.90	0.000 E -40	-0.135 E +00	-0.271 E +00	-0.408 E +00	-0.522 E +00	-0.696 E +00
2.10	0.000 E -40	-0.134 E +00	-0.299 E +00	-0.411 E +00	-0.556 E +00	-0.715 E +00

左の係数を用いて計算した座標の水平板の変位

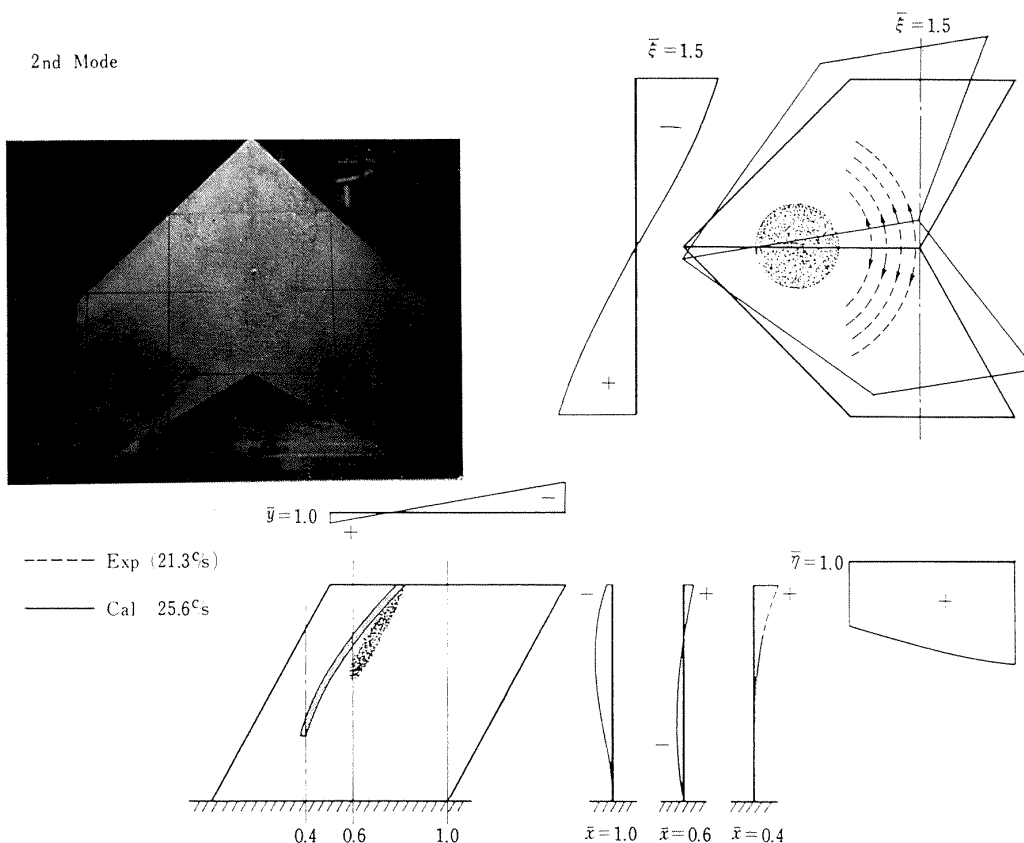
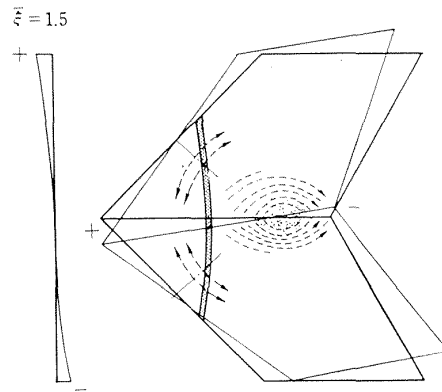
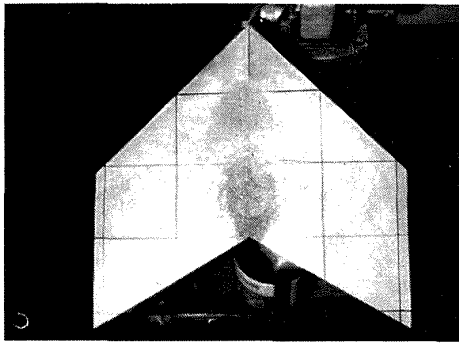


表 5.3 試験片 (D) 2nd Mode

2nd		2nd 垂直板						
		$x \backslash y$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
A02	0.1000000 E +01	0.00	0.000 E -40	0.385 E -01	0.144 E +00	0.297 E +00	0.481 E +00	0.702 E +00
03	-0.3224167 E -01	0.20	0.000 E -40	0.184 E -01	0.834 E -01	0.195 E +00	0.344 E +00	0.528 E +00
04	-0.6491281 E +00	0.40	0.000 E -40	-0.520 E -02	0.124 E -01	0.744 E -01	0.193 E +00	0.354 E +00
05	0.3883031 E +00	0.60	0.000 E -40	-0.322 E -01	-0.689 E -01	-0.554 E -01	0.279 E -01	0.181 E +00
12	-0.3036254 E +01	0.80	0.000 E -40	-0.626 E -01	-0.160 E +00	-0.203 E +00	-0.150 E +00	0.700 E -02
13	0.3901999 E +01	1.00	0.000 E -40	-0.963 E -01	-0.262 E +00	-0.367 E +00	-0.342 E +00	-0.167 E +00
14	-0.1740598 E +01	1.20	0.000 E -40	-0.134 E +00	-0.374 E +00	-0.546 E +00	-0.548 E +00	-0.340 E +00
22	-0.1339414 E +01	1.40	0.000 E -40	-0.174 E +00	-0.496 E +00	-0.740 E +00	-0.767 E +00	-0.514 E +00
23	0.1339414 E +01	1.60	0.000 E -40	-0.218 E +00	-0.628 E +00	-0.949 E +00	-0.109 E +01	-0.688 E +00
B01	0.1248278 E +01	左の係数を用いて計算した座標の垂直板の変位						
03	-0.3159808 E +00	2nd 水平板						
05	-0.2638445 E -01	$\xi \backslash \eta$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
11	-0.1328500 E +01	0.50	0.000 E -40	0.149 E +00	0.303 E +00	0.466 E +00	0.640 E +00	0.824 E +00
13	0.1276013 E +01	0.70	0.000 E -40	0.158 E +00	0.325 E +00	0.505 E +00	0.704 E +00	0.921 E +00
21	0.1339414 E +01	0.90	0.000 E -40	0.185 E +00	0.378 E +00	0.585 E +00	0.808 E +00	0.106 E +01
23	-0.7782949 E +00	1.10	0.000 E -40	0.229 E +00	0.462 E +00	0.706 E +00	0.961 E +00	0.124 E +01
31	0.0000000 E -40	1.30	0.000 E -40	0.288 E +00	0.578 E +00	0.864 E +00	0.116 E +01	0.145 E +01
41	-0.7035606 E -17	1.50	0.000 E -40	0.365 E +00	0.725 E +00	0.108 E +01	0.140 E +01	0.169 E +01
Q	-0.3379661 E +00	1.70	0.000 E -40	0.460 E +00	0.905 E +00	0.132 E +01	0.168 E +01	0.197 E +01
theta	-0.7576439 E +00	1.90	0.000 E -40	0.570 E +00	0.112 E +01	0.160 E +01	0.200 E +01	0.228 E +01
lambda1	0.6111249 E +00	2.10	0.000 E -40	0.698 E +00	0.136 E +01	0.193 E +01	0.238 E +01	0.264 E +01
lambda2	0.595032 E +00	左の係数を用いて計算した座標の水平板の変位						
lambda32	0.2759825 E -01							
lambda100	-0.1118326 E +01							
lambda101	-0.9350305 E +00							
lambda102	-0.6986134 E +00							
lambda103	-0.4168669 E +00							
lambda104	-0.6664761 E -01							

3rd Mode



----- Exp (38.1°s)
 ——— Cal 46.2°s

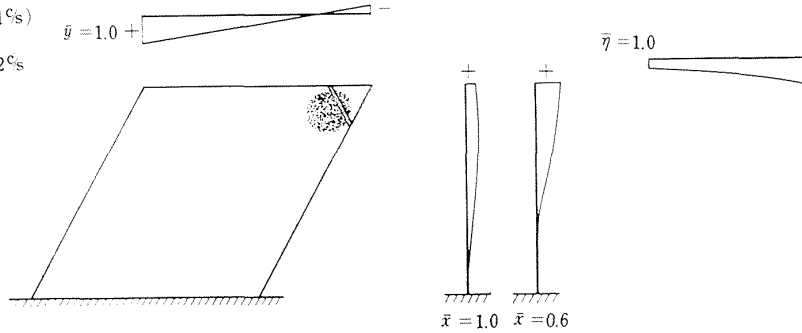


表 5.4 試験片 (D) 3rd Mode

3rd

3rd 垂直板

		y	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	
\bar{A}	02	x							
	03	0.00	0.000 E -40	0.461 E -01	0.186 E +00	0.418 E +00	0.715 E +00	0.100 E +01	
	04	0.20	0.000 E -40	0.494 E -01	0.182 E +00	0.380 E +00	0.619 E +00	0.841 E +00	
	05	0.40	0.000 E -40	0.521 E -01	0.175 E +00	0.339 E +00	0.521 E +00	0.683 E +00	
	12	0.60	0.000 E -40	0.542 E -01	0.167 E +00	0.295 E +00	0.420 E +00	0.524 E +00	
	13	0.80	0.000 E -40	0.556 E -01	0.177 E +00	0.248 E +00	0.317 E +00	0.365 E +00	
	24	1.00	0.000 E -40	0.564 E -01	0.144 E +00	0.199 E +00	0.211 E +00	0.207 E +00	
	22	1.20	0.000 E -40	0.566 E -01	0.130 E +00	0.146 E +00	0.103 E +00	0.479 E +01	
	23	1.40	0.000 E -40	0.561 E -01	0.114 E +00	0.907 E -01	-0.831 E -02	-0.111 E +00	
	\bar{B}	01	1.60	0.000 E -40	0.549 E -01	0.963 E +01	0.323 E -01	-0.122 E +00	-0.269 E +00
		03							
		05							
		11							
		13							
21									
23									
31									

左の係数を用いて計算した座標の垂直板の変位

3rd 水平板

		η	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
\bar{Q}	θ	ξ						
	λ_1	0.50	0.000 E -40	0.829 E -01	0.147 E +00	0.173 E +00	0.141 E +00	0.367 E -01
	λ_2	0.70	0.000 E -40	0.470 E -01	0.821 E -01	0.941 E -01	0.711 E -01	0.245 E -02
	λ_{32}	0.90	0.000 E -40	0.140 E -01	0.219 E -01	0.180 E -01	-0.339 E -02	-0.476 E -01
	λ_{100}	1.10	0.000 E -40	-0.160 E -01	-0.341 E -01	-0.558 E -01	-0.829 E -01	-0.117 E +00
	λ_{101}	1.30	0.000 E -40	-0.431 E -01	-0.858 E -01	-0.127 E +00	-0.167 E +00	-0.205 E +00
	λ_{102}	1.50	0.000 E -40	-0.672 E -01	-0.133 E +00	-0.197 E +00	-0.257 E +00	-0.311 E +00
	λ_{103}	1.70	0.000 E -40	-0.883 E -01	-0.177 E +00	-0.264 E +00	-0.351 E +00	-0.437 E +00
	λ_{104}	1.90	0.000 E -40	-0.107 E +01	-0.215 E +00	-0.329 E +00	-0.451 E +00	-0.581 E +00
		2.10	0.000 E -40	-0.123 E +00	-0.250 E +00	-0.392 E +00	-0.555 E +00	-0.744 E +00

左の係数を用いて計算した座標の水平板の変位

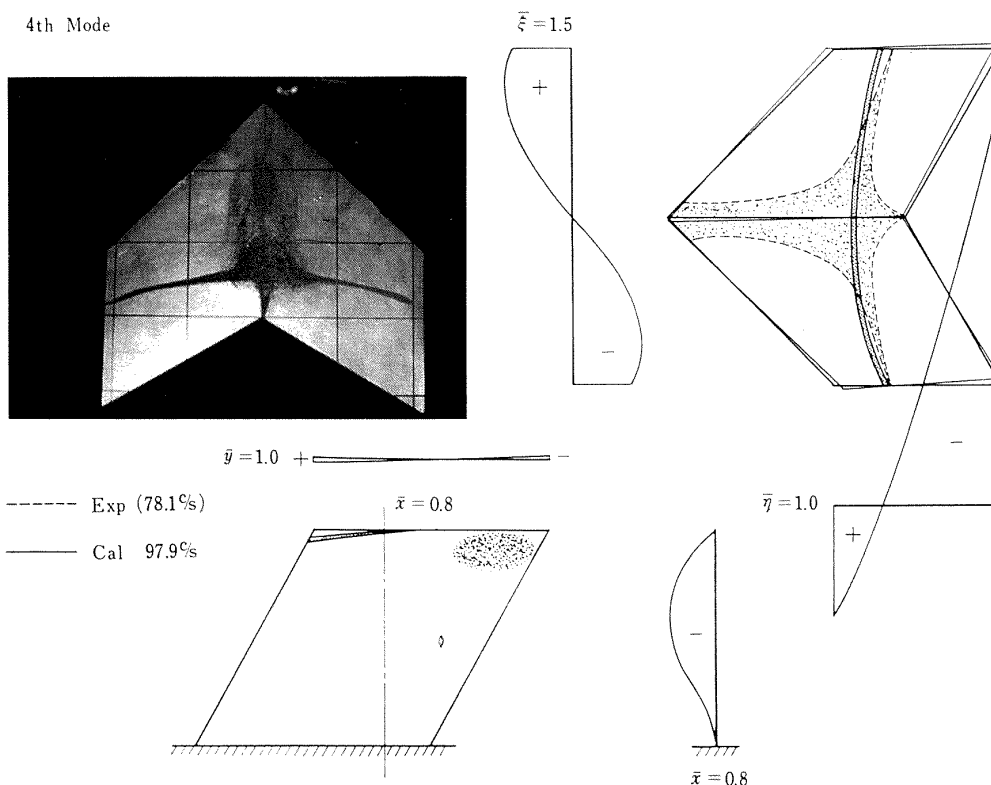


表 5.5 試験片 (D) 4th Mode

4th		4th 垂直板						
		$x \backslash y$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
\bar{A}	02							
	03							
	04							
	05							
	12							
	13							
	14							
	22							
	23							
\bar{B}	01							
	03							
	05							
	11							
	13							
	21							
	23							
	31							
	41							
\bar{Q}								
$\bar{\theta}$								
$\bar{\lambda}$	1							
	2							
	32							
	100							
	101							
	102							
	103							
	104							

$x \backslash y$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.00	0.000 E -40	0.109 E +00	0.376 E +00	0.593 E +00	0.518 E +00	0.744 E -02
0.20	0.000 E -40	-0.577 E -01	-0.935 E +01	-0.624 E -01	-0.220 E -01	0.552 E -02
0.40	0.000 E -40	-0.187 E +00	-0.448 E +00	-0.546 E +00	-0.410 E +00	0.361 E -02
0.60	0.000 E -40	-0.278 E +00	-0.689 E +00	-0.859 E +00	-0.645 E +00	0.169 E -02
0.80	0.000 E -40	-0.330 E +00	-0.815 E +00	-1.000 E +00	-0.728 E +00	-0.224 E -02
1.00	0.000 E -40	-0.345 E +00	-0.827 E +00	-0.970 E +00	-0.659 E +00	-0.214 E -02
1.20	0.000 E -40	-0.322 E +00	-0.725 E +00	-0.768 E +00	-0.437 E +00	-0.406 E -02
1.40	0.000 E -40	-0.260 E +00	-0.508 E +00	-0.395 E +00	-0.626 E +01	-0.597 E -02
1.60	0.000 E -40	-0.161 E +00	-0.177 E +00	0.150 E +00	0.464 E +00	-0.789 E -02

左の係数を用いて計算した座標の垂直板の変位

4th 水平板							
$\xi \backslash \eta$		0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.50							
0.70							
0.90							
1.10							
1.30							
1.50							
1.70							
1.90							
2.10							

左の係数を用いて計算した座標の水平板の変位

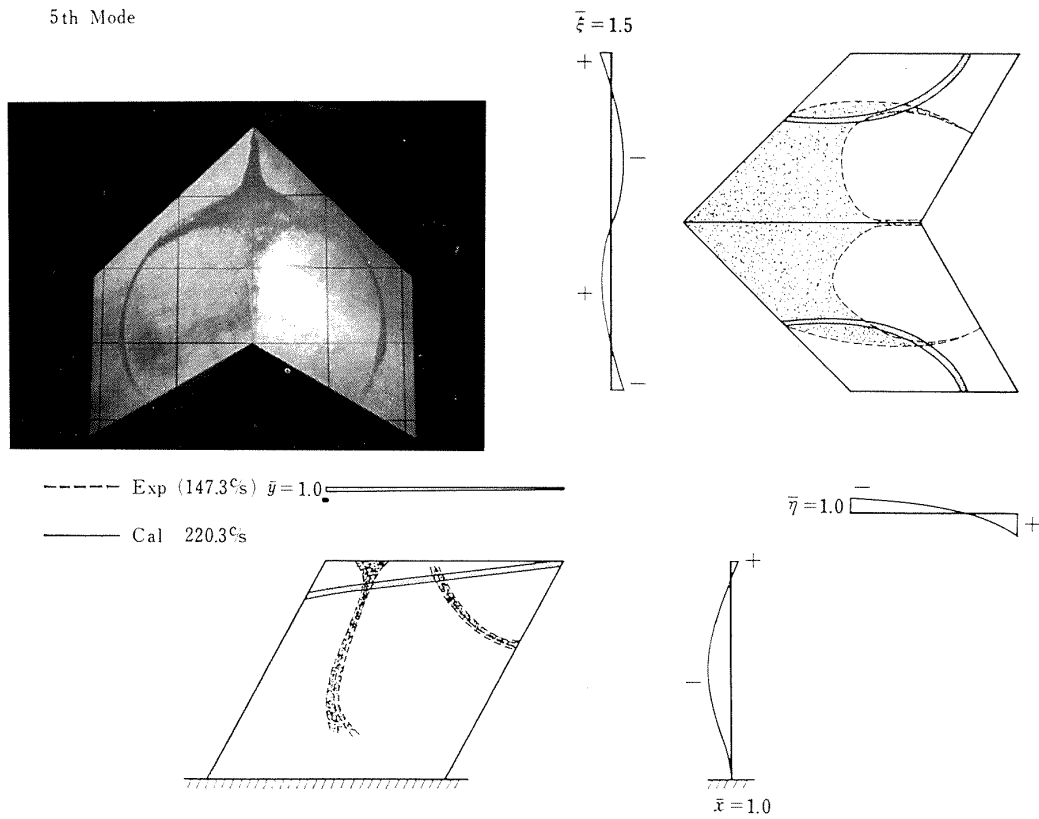


表 5.6 試験片 (D) 5th Mode

5th		5th 垂直板						
		$x \backslash y$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
$\bar{A}02$	0.150000 E + 01	0.00	0.000 E - 40	0.146 E - 01	0.291 E - 01	- 0.947 E - 02	- 0.619 E - 01	0.133 E + 00
03	0.2563394 E + 01	0.20	0.000 E - 40	- 0.259 E - 01	- 0.463 E - 01	- 0.540 E - 01	- 0.453 E - 01	0.119 E + 00
04	- 0.1199798 E + 02	0.40	0.000 E - 40	- 0.715 E - 01	- 0.137 E + 00	- 0.121 E + 00	- 0.453 E - 01	0.105 E + 00
05	0.9299805 E + 01	0.60	0.000 E - 40	- 0.122 E + 00	- 0.242 E + 00	- 0.211 E + 00	- 0.671 E - 01	0.911 E - 01
12	- 0.2304004 E + 02	0.80	0.000 E - 40	- 0.178 E + 00	- 0.363 E + 00	- 0.324 E + 00	- 0.109 E + 00	0.772 E - 01
13	0.5643025 E + 02	1.00	0.000 E - 40	- 0.238 E + 00	- 0.499 E + 00	- 0.459 E + 00	- 0.171 E + 00	0.634 E - 01
14	- 0.3358077 E + 02	1.20	0.000 E - 40	- 0.304 E + 00	- 0.650 E + 00	- 0.617 E + 00	- 0.254 E + 00	0.496 E - 01
22	- 0.5415099 E + 01	1.40	0.000 E - 40	- 0.375 E + 00	- 0.816 E + 00	- 0.797 E + 00	- 0.356 E + 00	0.357 E - 01
23	0.5416099 E + 01	1.60	0.000 E - 40	- 0.451 E + 00	- 0.997 E + 00	- 0.100 E + 01	- 0.478 E + 00	0.219 E - 01
$\bar{B}01$	0.6697281 E + 01							
03	- 0.1860200 E + 00							
05	0.1387376 E + 01							
11	- 0.1111239 E + 02							
13	- 0.3795677 E + 01							
21	0.5416090 E + 01							
23	0.6120521 E + 00							
31	0.0000000 E - 40							
41	0.6035533 E - 16							
\bar{Q}	0.1852962 E + 00							
$\bar{\theta}$	- 0.1650244 E + 00							
$\bar{\lambda}1$	- 0.1926959 E + 02							
$\bar{\lambda}2$	0.7444856 E + 01							
$\bar{\lambda}32$	0.5690879 E + 01							
$\bar{\lambda}100$	0.4862149 E + 01							
$\bar{\lambda}101$	0.4241470 E + 01							
$\bar{\lambda}102$	0.4034297 E + 01							
$\bar{\lambda}103$	0.3649940 E + 01							
$\bar{\lambda}104$	0.2211361 E + 01							

左の係数を用いて計算した座標の垂直板の変位

5th 水平板							
$\xi \backslash \eta$		0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
0.50		0.000 E - 40	0.144 E + 00	0.264 E + 00	0.353 E + 00	0.433 E + 00	0.579 E + 00
0.70		0.000 E - 40	0.875 E - 01	0.142 E + 00	0.149 E + 00	0.122 E + 00	0.124 E + 00
0.90		0.000 E - 40	0.570 E - 01	0.739 E - 01	0.258 E - 01	- 0.798 E - 01	- 0.189 E + 00
1.10		0.000 E - 40	0.525 E - 01	0.572 E - 01	- 0.172 E - 01	- 0.171 E + 00	- 0.359 E + 00
1.30		0.000 E - 40	0.739 E - 01	0.932 E - 01	0.201 E - 01	- 0.153 E + 00	- 0.383 E + 00
1.50		0.000 E - 40	0.121 E + 00	0.184 E + 00	0.138 E + 00	- 0.234 E + 00	- 0.267 E + 00
1.70		0.000 E - 40	0.194 E + 00	0.323 E + 00	0.335 E + 00	0.216 E + 00	- 0.706 E - 02
1.90		0.000 E - 40	0.293 E + 00	0.516 E + 00	0.614 E + 00	0.567 E + 00	0.395 E + 00
2.10		0.000 E - 40	0.418 E + 00	0.760 E + 00	0.973 E + 00	0.103 E + 01	0.944 E + 00

左の係数を用いて計算した座標の水平板の変位

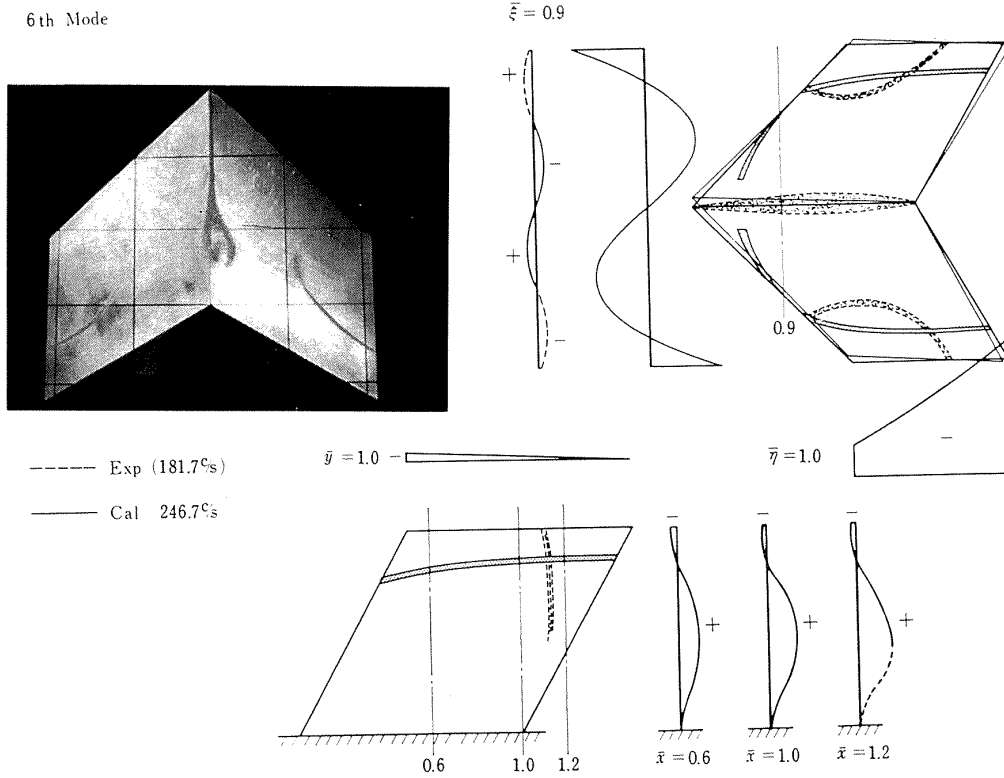


表 5.7 試験片 (D) 6th Mode

6th		6th 垂直板						
		y	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
\bar{A}	02	x	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
	03	0.00	0.000 E -40	-0.148 - E01	-0.639 E -01	-0.597 E -01	0.142 E -02	-0.223 E +00
	04	0.20	0.000 E -40	0.718 - E01	0.119 E +00	0.101 E +00	0.486 E -01	-0.196 E +00
	05	0.40	0.000 E -40	0.154 + E00	0.288 E +00	0.240 E +00	0.767 E -01	-0.169 E +00
	12	0.60	0.000 E -40	0.231 + E00	0.442 E +00	0.357 E +00	0.859 E -01	-0.142 E +00
	13	0.80	0.000 E -40	0.303 + E00	0.582 E +00	0.454 E +00	0.761 E -01	-0.116 E +00
	22	1.00	0.000 E -40	0.371 + E00	0.708 E +00	0.529 E +00	0.472 E -01	-0.887 E +01
	23	1.20	0.000 E -40	0.434 + E00	0.820 E +00	0.582 E +00	-0.594 E -03	-0.619 E +01
\bar{B}	01	1.40	0.000 E -40	0.492 + E00	0.917 E +00	0.615 E +00	-0.674 E -01	-0.350 E +01
	03	1.60	0.000 E -40	0.545 + E00	0.100 E +00	0.625 E +00	-0.153 E +00	-0.818 E +02
	05							
	11							
	13							
	21							
	23							
	31							
	41							
\bar{Q}								
$\bar{\theta}$								
$\bar{\lambda}_1$								
$\bar{\lambda}_2$								
$\bar{\lambda}_{32}$								
$\bar{\lambda}_{100}$								
$\bar{\lambda}_{101}$								
$\bar{\lambda}_{102}$								
$\bar{\lambda}_{103}$								
$\bar{\lambda}_{104}$								

左の係数を用いて計算した座標の垂直板の変位

6th 水平板		6th 水平板						
		η	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
$\bar{\xi}$	0.50	ξ	0.50	0.70	0.90	1.10	1.30	1.50
	0.70	0.50	0.000 E -40	-0.207 E +00	-0.418 E +00	-0.562 E +00	-0.404 E +00	0.533 E +00
	0.90	0.70	0.000 E -40	0.517 E +01	-0.162 E +00	-0.312 E +00	-0.318 E +00	0.240 E +00
	1.10	0.90	0.000 E -40	0.126 E +00	0.130 E +00	-0.285 E -01	-0.232 E +00	-0.120 E +00
	1.30	1.10	0.000 E -40	0.326 E +00	0.459 E +00	0.287 E +00	-0.145 E +00	-0.547 E +00
	1.50	1.30	0.000 E -40	0.549 E +00	0.824 E +00	0.634 E +00	-0.574 E -01	-0.104 E +01
	1.70	1.50	0.000 E -40	0.793 E +00	0.123 E +01	0.101 E +01	0.301 E -01	-0.160 E +01
	1.90	1.70	0.000 E -40	0.106 E +01	0.167 E +01	0.142 E +01	0.119 E +00	-0.224 E +01
	2.10	1.90	0.000 E -40	0.135 E +01	0.213 E +01	0.187 E +01	0.207 E +00	-0.293 E +01
		2.10	0.000 E -40	0.167 E +01	0.265 E +01	0.234 E +01	0.295 E +00	-0.369 E +01

左の係数を用いて計算した座標の水平板の変位

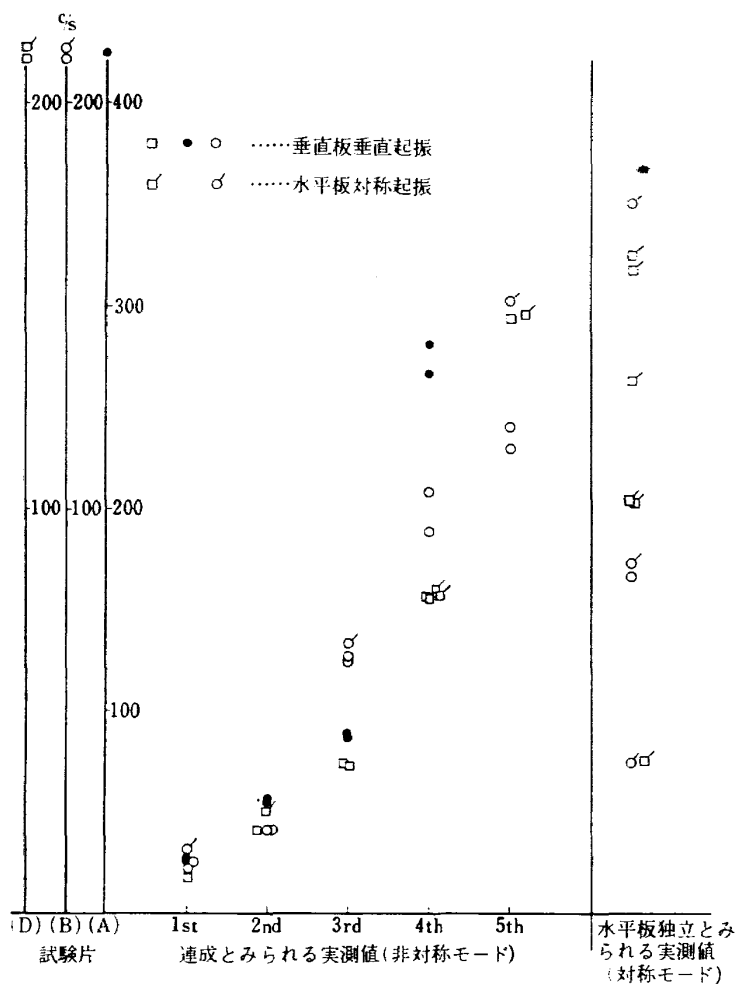


図 10 実測値バラツキの例, 試験片 (A), (B) および (D)

TR-149	よどみ点におけるグラファイトのアブレーションの実験的研究 An Experimental Study of the Ablation of Graphite in the Stagnation Region	1968年2月	相原康彦, 野村茂昭 渡辺泰夫
TR-150	強化プラスチックの熱的物性値について (輻射加熱による測定) The Measurement of Thermal Properties of Reinforced Plastics at Temperatures up to 150°C (Infra-red Radiation Method)	1968年2月	小川鉦一, 野口義男
TR-151	空気力学的加熱の少ない極超音速飛しょう体 Minimum Heat Transfer Body at Hypersonic Speeds	1968年3月	相原康彦
TR-152	二次元二重円弧翼列の遷音速実験 High Speed Tests of Compressor Cascades with Double Circular Arc Blade Sections	1968年3月	近藤博, 藪田光弘 山崎紀雄, 古川昇
TR-153	アーク加熱衝撃波管による物体のまわりの高温気流の研究 Study of High Temperature Flow around Body Using an Arc-Driven Shock Tube	1968年4月	松崎利一, 上瀬千春
TR-154	フライングテストベッドの計画 —本体のシステムデザイナー— System Design of Flying Test Bed for VTOL Aircraft at National Aerospace Laboratory	1968年5月	新型航空機部
TR-155	遷音速における Control-Surface Buzz に関する研究 An Investigation on Control-Surface Buzz at Transonic Speeds	1968年5月	中村泰治
TR-156	二次元湾曲ジェットの相似構造と乱流混合におよぼす曲率の研究 Effects of Curvature on the Similar Structure and Turbulent Mixing of Two-dimensional Curved Jets	1968年5月	遠藤 浩
TR-157	電子線密度測定法による低密度極超音速流の実験的研究 Experimental Study of Low Density Hypersonic Flow Using Electron-Beam Densitometry	1968年6月	和田 勇, 曾我国男
TR-158	局所凸線形位相空間内の非線形初期値問題に対する近似について On Approximations for Nonlinear Cauchy Problems in Locally Convex Spaces	1968年6月	小島清史

航空宇宙技術研究所報告159号

昭和43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
