

ISSN 0452-2982  
UDC 620.173.26:  
539.411

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-563

H-II ロケット衛星フェアリング構造要素模型  
(アルミ面板/アルミハニカムサンドイッチ曲面  
板) の軸圧縮座屈試験

遠藤修司・野口義男・大竹邦彦  
小野幸一・福島幸夫

1987 年 1 月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

# H-II ロケット衛星フェアリング構造要素模型 (アルミ面板/アルミハニカムサンドイッチ曲面 板)の軸圧縮座屈試験\*

遠 藤 修 司\*\* 野 口 義 男\*\* 大 竹 邦 彦\*\*

小 野 幸 一\*\* 福 島 幸 夫\*\*\*

## 1. 緒 言

本報告は、航空宇宙技術研究所と宇宙開発事業団との共同研究「H-II フェアリングに関する研究」の中の“構造に関する研究”の一環として行なわれた共同研究の成果の一部である。

現在、宇宙開発事業団において1990年代の主力ロケットとして開発が進められているH-II ロケットは静止衛星軌道に2トン級の人工衛星を打上げる能力を有するロケットである。その開発に当たっての基本方針の一つに自主技術開発があり、衛星フェアリングについても国内技術による開発が進められている。すでに宇宙開発事業団では概念設計<sup>1)</sup>を終了し、フェアリング構体の構造様式としては衛星とフェアリングのクリアランス確保のための剛性および重量あるいはコスト面からなどの比較検討により数種の候補案の中から、アルミ面板とアルミハニカムコアより成るサンドイッチ構造の採用が決定されている。

衛星フェアリングは大型の殻構造であり、その構造設計では座屈強度が重要な設計条件となる。サンドイッチ構造の座屈<sup>2)</sup>は、二つの様式に分けられる。すなわち、コアの弾性係数が大きく面板とコアとが一体となって座屈する全体座屈 (general instability) と、コアの剛性が比較的小さく、したがって表裏面板の結合作用が弱く面板が互いに独立的に座屈するリンクリング (wrinkling) とである。さらに、コアにハニカムを用いたハニカムサンドイッチ構造

では、ハニカム板に特有な安定問題としてセル間座屈 (intracell buckling) が加わる。これは、ハニカムコアではセルの壁間で薄い面板がコアと接触していないために、面内圧縮を受けると面板がセル間でたわむことにより生じる局部座屈である。また、これらの座屈現象は面板の耐荷能力によっては塑性域で生じる可能性がある。

本報告では、このようなハニカムサンドイッチ構造に特有の複雑な座屈挙動を把握し、フェアリングの構造設計に役立つ基礎的資料を得ることと、併せて今後の有限要素法による数値解析のための基礎資料を提供することを主要な目的として、当所において実施したフェアリングの部分構造要素模型すなわちアルミハニカムサンドイッチ曲面板の軸圧縮座屈試験の結果について述べる。試験は当所機体2号館に設置されている容量196kN (20 ton) の万能試験機 (島津製作所, IS-20T オートグラフ) を用いて昭和61年3月25日、27日および4月1日に行なわれた。

なお、上記共同研究「H-II フェアリングに関する研究」の昭和60年度における研究成果の全容については、共同研究成果報告書<sup>3)</sup>があるので参照していただきたい。

## 2. 供 試 体

実機として計画されている衛星フェアリングの外形寸度は、直径約4m、全長約12mで、その円筒部は板厚0.4mmのアルミニウム合金7075-T6 bare sheetの面板とコア厚40mmのアルミ合金ハニカムコア 3.1-3/16-5056-.001 (密度: pcf - セル

\* 昭和61年12月10日 受付

\*\* 機体第一部

\*\*\* 宇宙開発事業団

サイズ：in.-材質-箔厚：in.）とから構成される大型のサンドイッチ構造体である。ここに選定された面板およびコアの厚さは、飛翔中の動圧最大時における“軸圧縮+曲げ”による最大等価圧縮荷重に対する全体座屈強度（終極荷重に対して強度余裕0.5以上を確保）および剛性要求（分離時および最大動圧時のクリアランス要求）を標定に設定されたものであり、コアの密度およびセルサイズはそれぞれリンクリングおよびセル間座屈強度が全体座屈強度よりも高くなるように設定されている。設計に用いられた終極荷重条件は、動圧最大時の制限荷重 2.06 MN（210 ton）に安全率 1.25 を乗じた 2.57 MN（262 ton）である。したがって、実機として計画されているフェアリング構造の設計座屈強度は 255 MPa（26 kgf/mm<sup>2</sup>）であり、予想される全体座屈強度は 467.8 MPa（47.7 kgf/mm<sup>2</sup>），強度余裕は 0.83 である。

上述のように実機フェアリングは非常に大きな構造であるが、本試験では試験の目的ならびに試験機の容量などを勘案し、座屈強度が実機と同等となるように構造パラメータを設定した縮小円筒（直径約 1 m）の一部分を構成する曲面板を以て供試体とした。図 1 に供試体の形状を示す。供試体は 3 体製作した。これら 3 体の供試体 SF 3904-001A，-001B および -001C の寸度を表 1 に示す。材料構成は

3 体ともに同一構成で表 2 に示すとおりである。ハニカムコアのリボン方向は曲面板の母線方向（ $x$  軸方向）に一致してとってある。各供試体とも端部は、端縁から約 15 mm の深さにわたって樹脂（Minnesota Mining & Manufacturing Co., 3M EC-3524 B/A）を充填し端末処理を施してある。表 3 に面板およびハニカムコアの物性値を示す。表中の  $\sigma_1$  および  $N$  は、W. Ramberg と W. R. Osgood<sup>4)</sup> によって応力-ひずみ曲線を無次元量で表示するために導入されたパラメータである。 $\sigma_1$  は secant yield strength

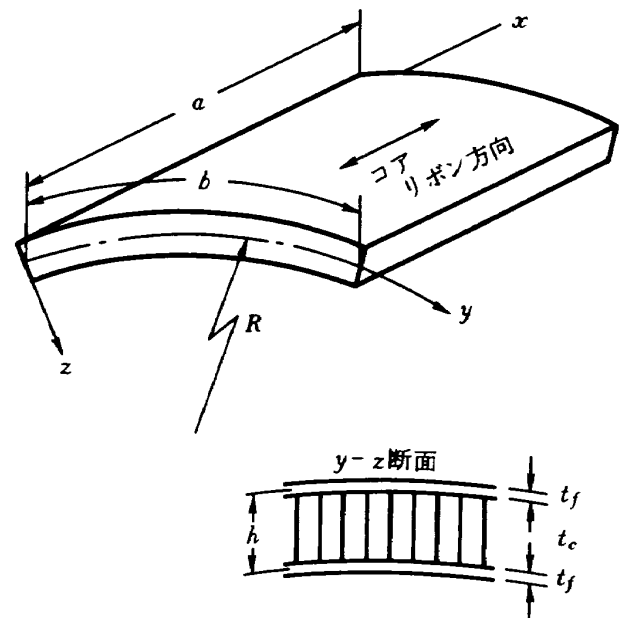


図 1 供試体形状

表 1 供試体寸度

| 供 試 体        | 長 さ<br>$a$ | 幅<br>$b$ | 半 径<br>$R$ | mm           |              |
|--------------|------------|----------|------------|--------------|--------------|
|              |            |          |            | 面板厚<br>$t_f$ | コア厚<br>$t_c$ |
| SF 3904-001A | 450.6      | 297.4    | 534.0      | 0.42         | 10.7         |
| SF 3904-001B | 450.1      | 297.4    | 536.7      |              |              |
| SF 3904-001C | 445.6      | 297.0    | 535.2      |              |              |

表 2 材 料 構 成

| 種 別      | 材 料 名 称                               |
|----------|---------------------------------------|
| 面 板      | AL-7075-T6 bare sheet                 |
| ハニカムコア   | AL-3.1-3/16-5056-.001                 |
| 面板-コア接着剤 | フィルム接着剤 FM400 (American Cyanamid Co.) |

表 3 面板およびハニカムコアの物性値

| 縦弾性係数<br>GPa<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) |                 | 面 板 の<br>ポアソン比 | コアのせん断弾性係数<br>MPa<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) |                 | 面板の圧縮<br>降伏応力 $\sigma_{YC}$<br>MPa<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 面板の Ramberg-Osgood のパラメータ                |     |
|--|-----------------|----------------|---|-----------------|--|--|-----|
| 面板 $E_f$                               | コア $E_c$        | $\nu_f$        | $G_{cxz}$                                   | $G_{cyz}$       |  | $\sigma_1$ MPa<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | $N$ |
| 72.37<br>(7380)                        | 0.669<br>(68.2) | 0.33           | 309.9<br>(31.6)                             | 138.3<br>(14.1) | 468.8<br>(47.8)  | 486.4<br>(49.6)                          | 10  |

と呼ばれ、応力-ひずみ線図において原点を通る勾配  $0.7E$  ( $E$ : 縦弾性係数) の直線と応力-ひずみ曲線との交点における応力値として定義される。また、 $N$  は材料の形状パラメータである。

### 3. 試験装置および試験方法

試験は前述のように容量 196 kN (20 ton) の万能試験機を用いて行なった。測定項目は、軸圧縮荷重、供試体のひずみ、面外変位および試験機のクロスヘッド変位である。ひずみは、単軸および 2 軸 90° 交叉の抵抗線ひずみゲージ (共和電業, KFC-5-C1-11 および KFC-5-D16-11) により検出し、デジタル静ひずみ計 (共和電業, UCAM-5BT および SD-400A) にて所定の荷重刻みで測定した。供試体のひずみ測定標点は表裏相对应する箇所とし、それらに同一の一連番号を付した。位置番号の表裏の区別は表側 (凸側) に接頭記号 A を、裏側に B を付すことにした。図 2 に供試体表側のひずみ測定標点位置を示す。これら標点位置は供試体の中心線を基準として定めた。図中の C を付された測定位置番号はその点が周方向ひずみの測定位置であることを示す。測定点数は周方向ひずみ測定点を含めて合計 32 点である。面外変位とクロスヘッド変位の測定には、ひずみゲージ式変位変換器 (共和電業, DT-20D) を用い、動ひずみ計 (共和電業, DPM-611BS) を介して 2 素子 XY レコーダ (渡辺測器, WX4422) にそれぞれ荷重に対して連続的に記録した。面外変位の測定標点は、供試体 SF3904-001A および B では、ひずみの測定標点 A8 の下方約 10 mm の点であり、供試体-001C では A8 の上方 7 mm の点である。

試験は平滑な端板を用いて平押しで行なった。供試体の側辺は単純支持の条件をできるだけ実現でき

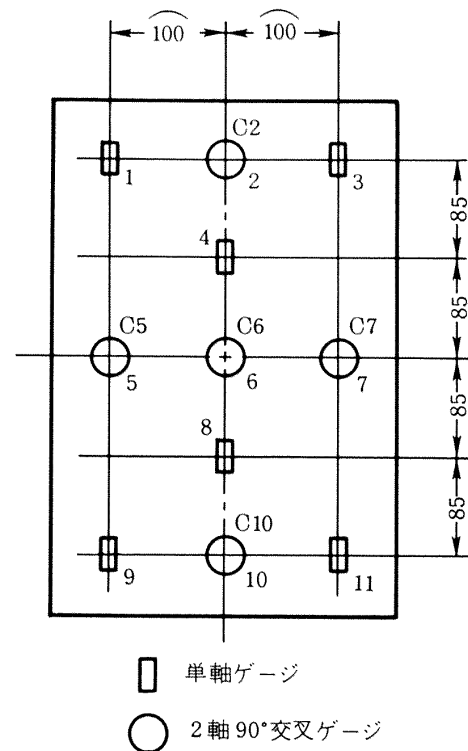


図 2 ひずみ測定点

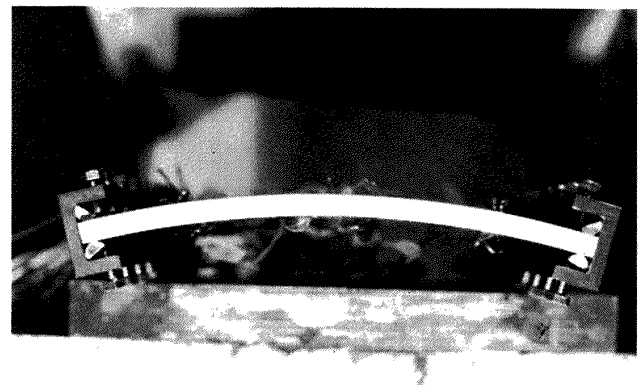


図 3 供試体側辺部の支持状況

るよう設計した側辺部支持金具を用い図 3 に示すように支持した。なお荷重は軸方向のひずみが周方向にはほぼ一様となるように調整して負荷した。また、

座屈後の供試体のモアレ縞をモアレカメラ（富士写真光機，FM80）で  $50\mu\text{m}$  の格子を用いて撮影した。試験の手順を図 4 に、試験の状況を図 5 に示す。

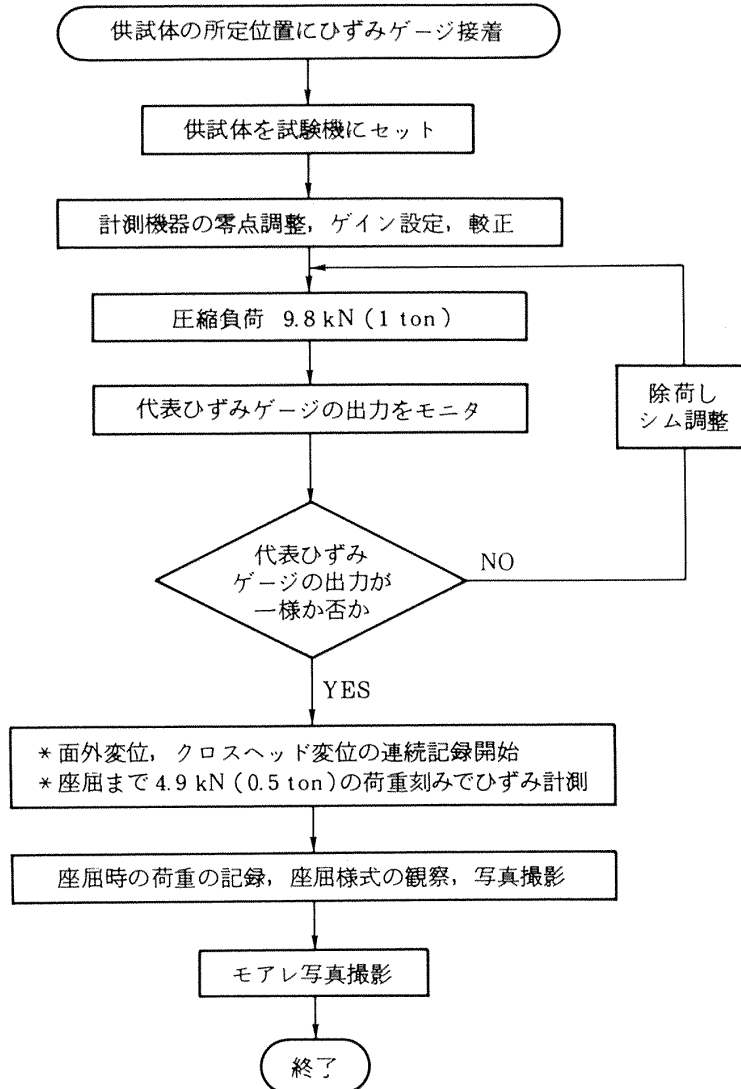
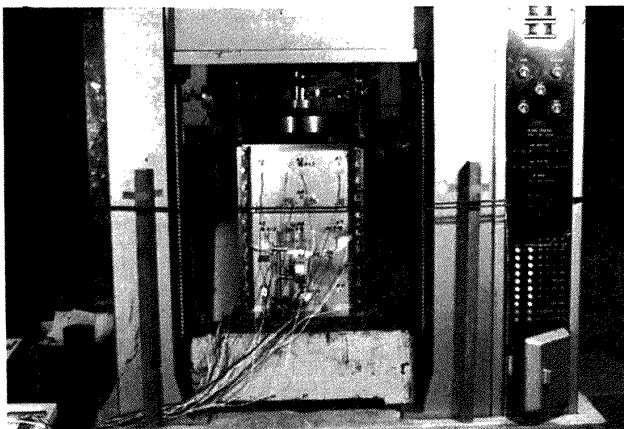
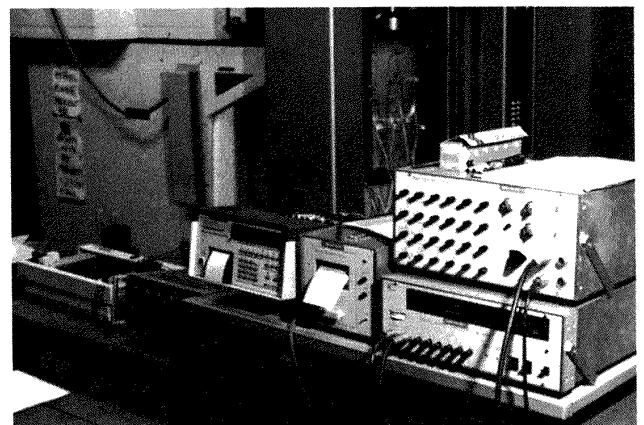


図 4 試験の手順



(a) 試験状況概観



(b) 計測機器

図 5 試験の状況

#### 4. 試験結果

試験により得られた座屈荷重は、供試体 SF 3904 - 001A では 147.1 kN (15.0 ton), - 001B では 144.2 kN (14.7 ton) そして - 001C では 126.5 kN (12.9 ton) であった。各供試体の座屈様式は、- 001A と B は全体座屈であり、001C はリンクリングによる破壊であった。破壊はいずれも供試体のほぼ中央で発生した。図 6 に座屈後の供試体の写真を示す。供試体 - 001A を試験後に試験機から取り外し、外観を観察した結果、面板にセルサイズに対応する間隔の横縞（面板の軸方向の波打ち）を発生していることが確認された。これは図 6(a) の供試体破壊部の写真にも明瞭に認められる。供試体 - 001B の試験中の目視による観察で、この波打現象は負荷荷重約 118 kN (12 ton) で発生することが確認された。- 001C の供試体は、外観上この波打現象を示すことなく荷重 126.5 kN (12.9 ton) で突然破壊した。

図 7 に供試体 - 001A, B および C の荷重 - ひずみ曲線の代表例（いずれも供試体中央部の A6 および B6 のひずみ）を示す。これらの図を見ると、ひずみは荷重の増加にともなう三者はほぼ同じ勾配で直線的に増加するが 118 kN (12 ton) 前後で直線から離れ始めることが判る。この荷重 118 kN は供試体 - 001B の試験中に確認された波打現象の発生する荷重に丁度一致する。また、面板の圧縮降伏応力値  $\sigma_{yc} = 468.8 \text{ MPa}$  (47.8 kgf/mm<sup>2</sup>) に対応する荷重でもある。荷重が 118 kN を超えると、ひずみは急速に増加し始めることが判る。明らかに、座屈は塑性域で生じている。

試験機のクロスヘッド変位および面外変位と荷重との関係を図 8 に示す。荷重に対するクロスヘッド変位すなわち供試体の端末縮み量は各供試体殆ど同じ勾配で直線的に増加する。そして約 118 kN (12 ton) の近傍で直線から離れ始めることは図 7 の荷重 - ひずみ曲線の場合と同様である。面外変位は供試体 - 001B を例にとると、負荷と同時に供試体の曲

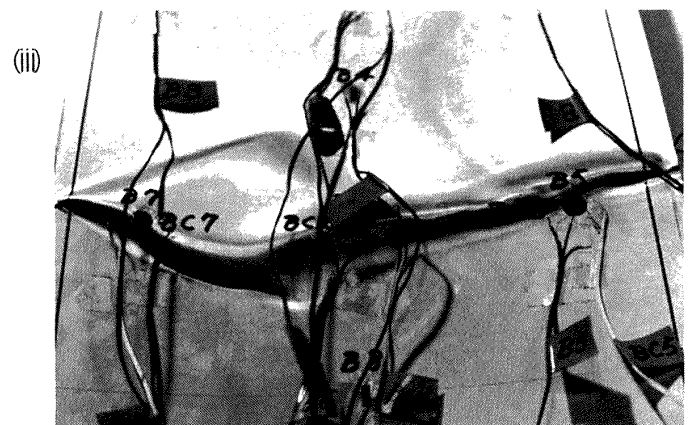
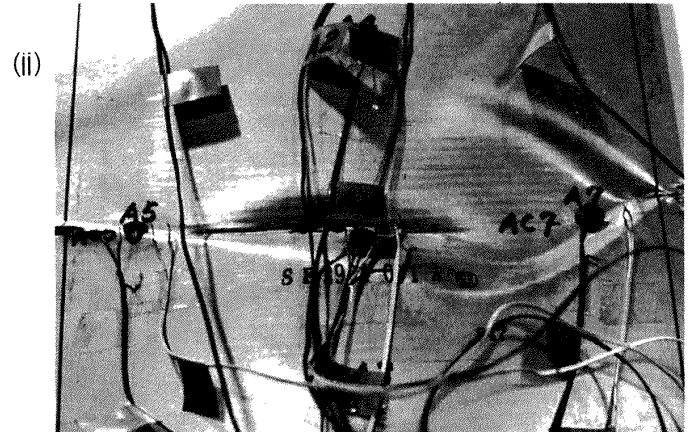
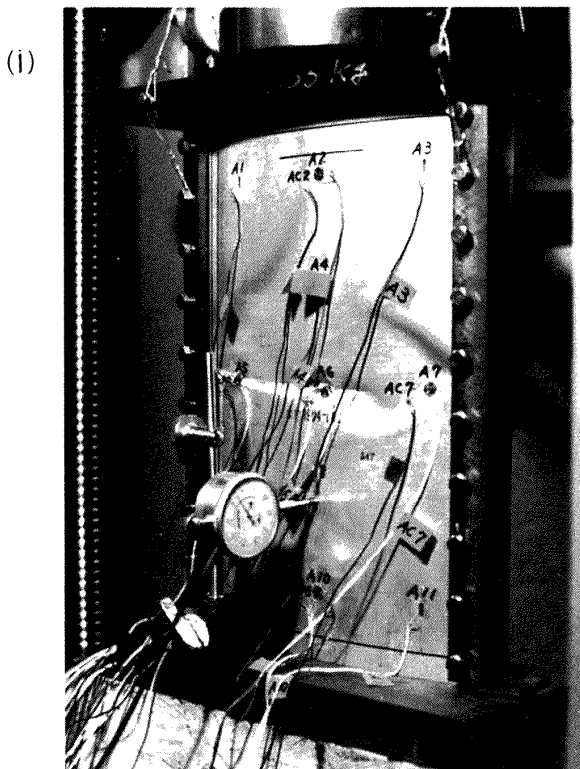


図 6 (a) 座屈後の供試体 SF 3904 - 001 A

- (i) 全体概観
- (ii) 表側破壊部詳細
- (iii) 裏側破壊部詳細

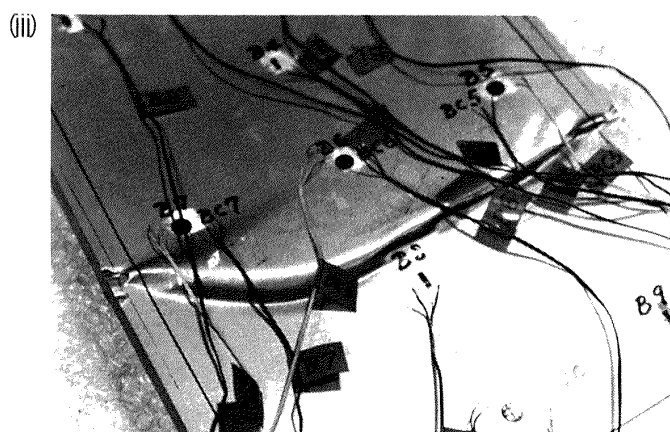
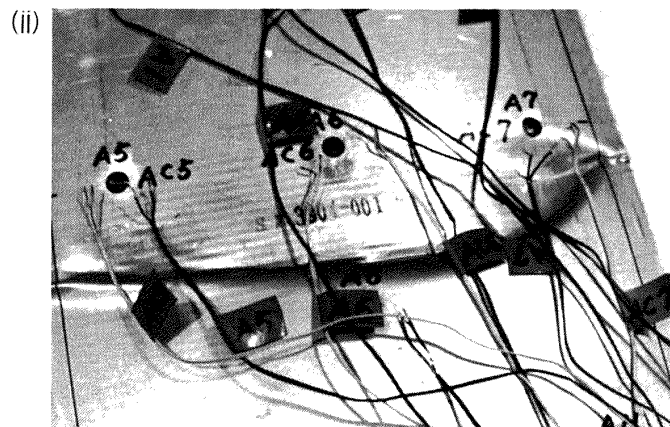
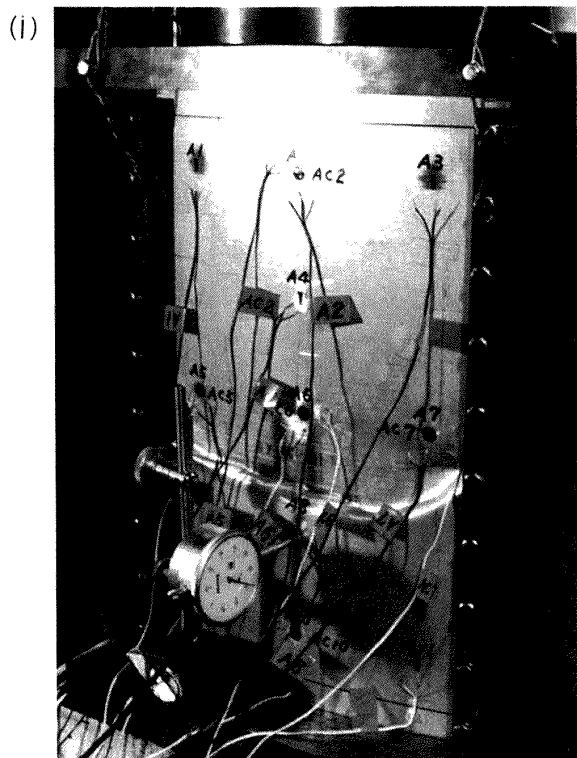


図 6 (b) 座屈後の供試体 SF 3904 - 001 B

- (i) 全体概観
- (ii) 表側破壊部詳細
- (iii) 裏側破壊部詳細

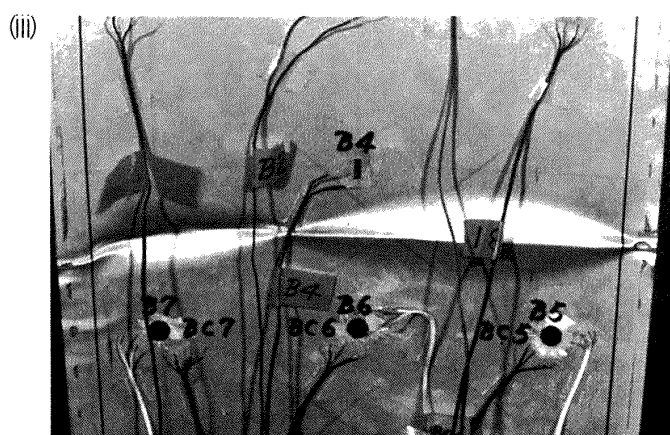
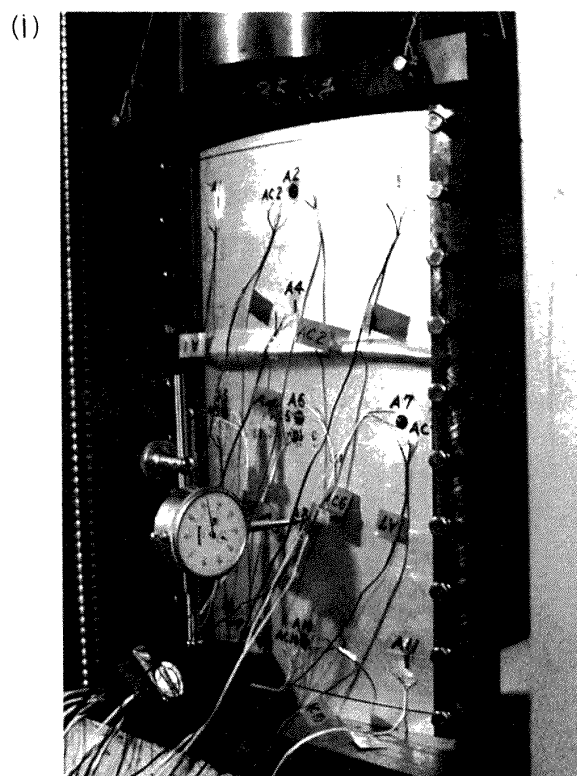


図 6 (c) 座屈後の供試体 SF 3904 - 001 C

- (i) 全体概観
- (ii) 表側破壊部詳細
- (iii) 裏側破壊部詳細

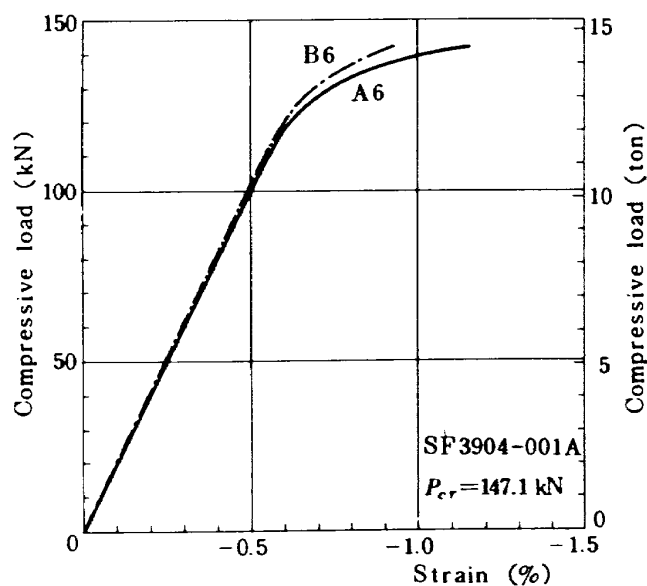


図 7 (a) 荷重-ひずみ曲線, SF 3904-001A

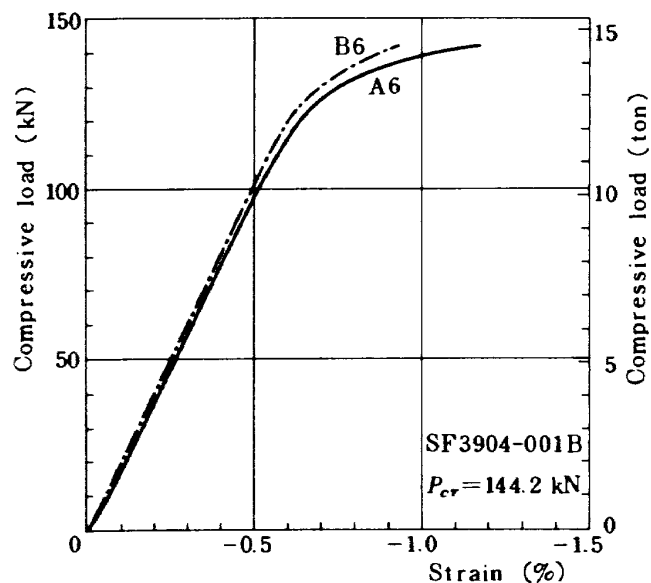


図 7 (b) 荷重-ひずみ曲線, SF 3904-001B

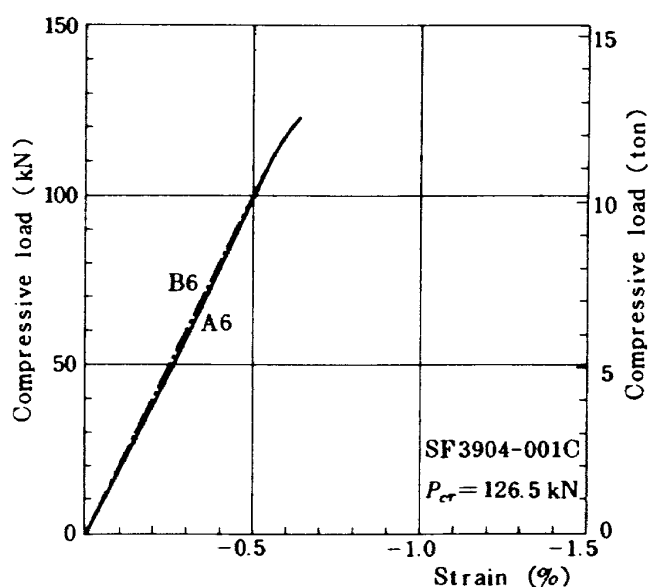
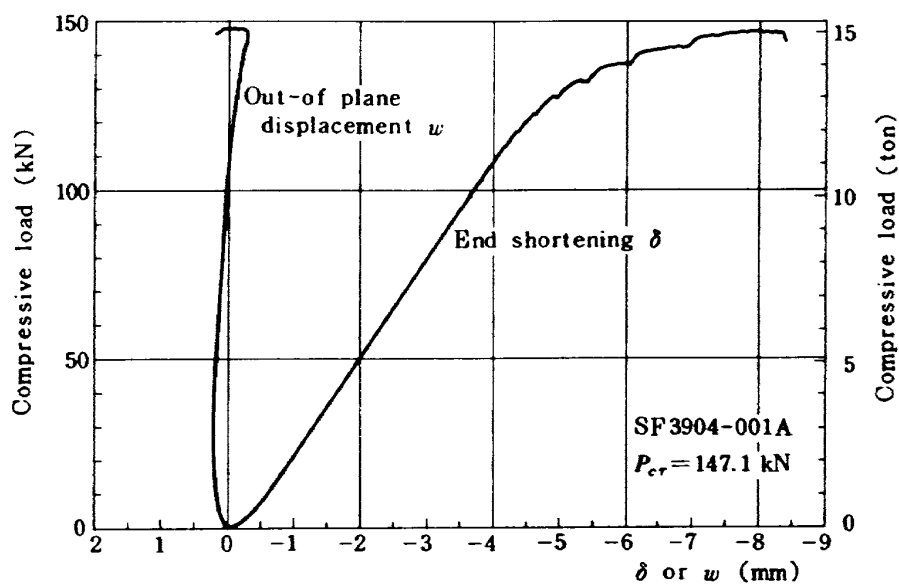


図 7 (c) 荷重-ひずみ曲線, SF 3904-001C

図 8 (a) 荷重 - ( 端末縮み  
面外変位 ) 曲線, SF 3904-001A



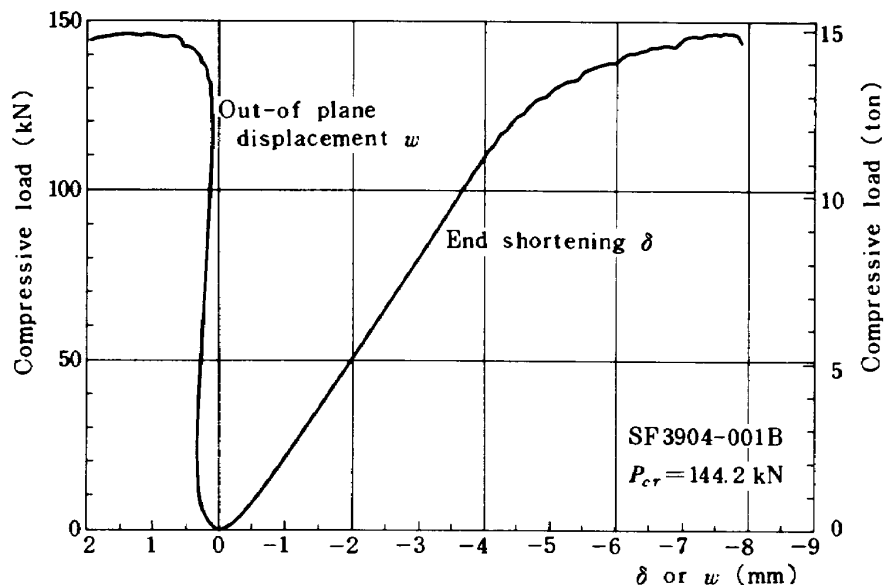


図 8(b) 荷重 - ( 端末縮み / 面外変位 ) 曲線, SF 3904 - 001 B

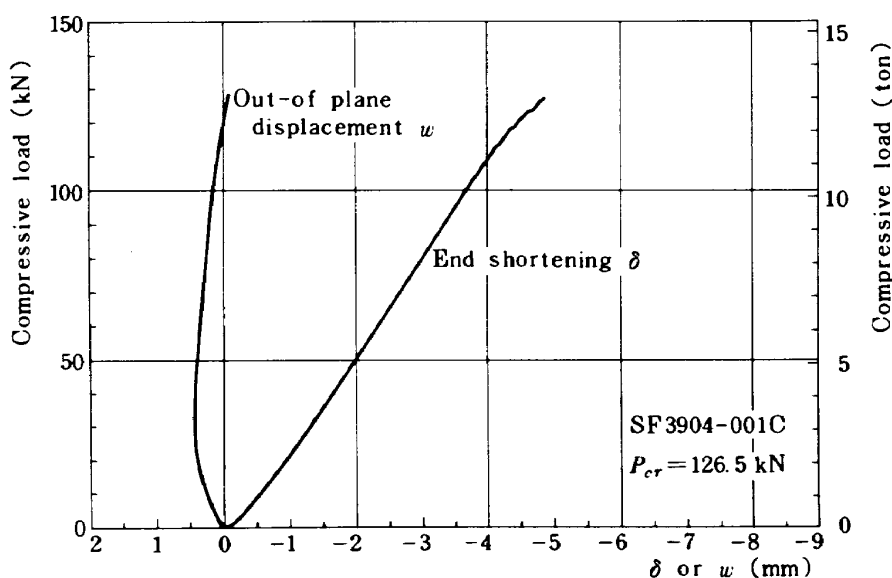


図 8(c) 荷重 - ( 端末縮み / 面外変位 ) 曲線, SF 3904 - 001 C

率中心の方向に変位し始め荷重 20 kN (2 ton) から 29 kN (3 ton) にわたって極大変位 0.34 mm を示す。以後なだらかに下降し 118 kN (12 ton) では 0.08 mm にまで減少するが、127 kN (13 ton) を超えると再び急激に増加している。この急激な増加は、-001B の破壊が面外変位の測定点に極めて近い箇所が発生したためであり、このことを除けば他の 2 体の供試体もほぼ同様の挙動を示していることが判る。

図 9 に、ひずみ分布の一例として供試体 -001B の負荷荷重 98.1 kN (10 ton) における分布を示す。周方向の分布をみると供試体の上端部 (A1-A2-A3)、中央部 (A5-A6-A7) および下端部 (A9-A10-A11)

の最大バラツキ幅は、それぞれ 520, 370 および 450  $\mu$  で、周方向に一樣に負荷することの困難さを考慮すると許容できる範囲と考えられる。

図 10 に座屈後の供試体のモアレ写真を示す。

なお、付録に取得した各供試体の負荷荷重に対するひずみの全測定データを記載する。

## 5. 座屈荷重の算定

本試験結果に示されるような塑性座屈では、座屈限界値における応力とひずみとを関係づける係数が縦弾性係数とは異なり、低い値となる。そのため弾性座屈として求めた解は過大な値を与えることにな

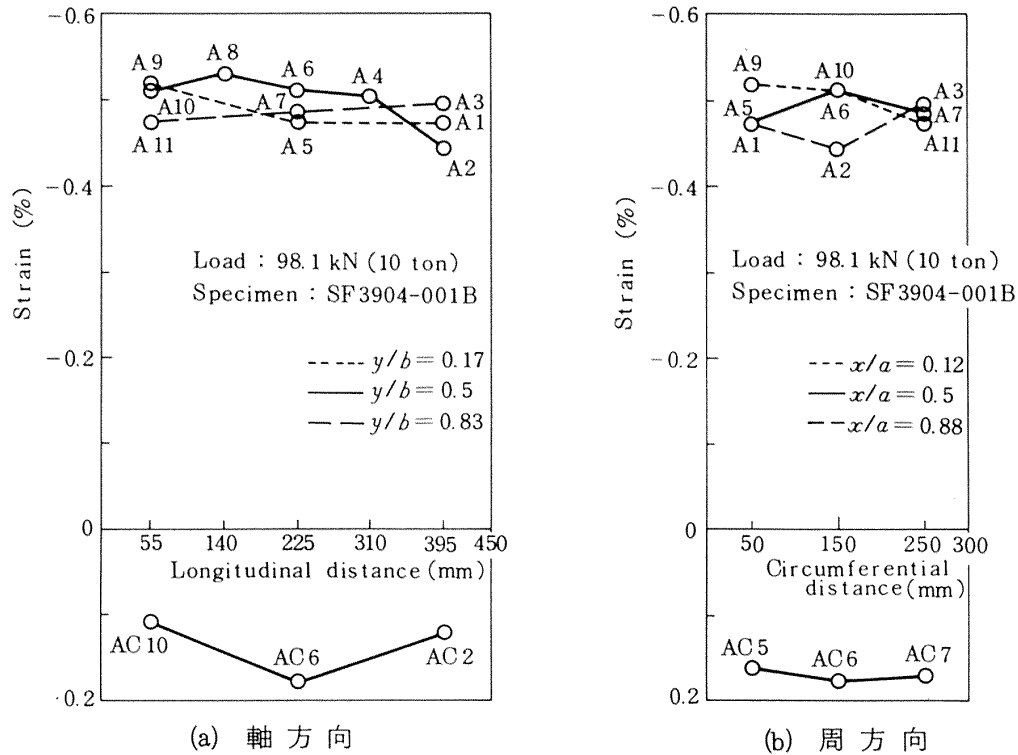
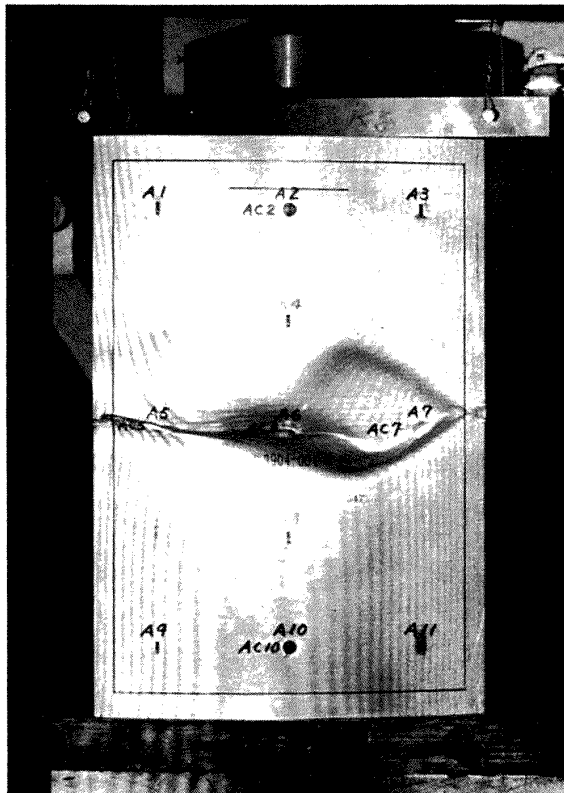
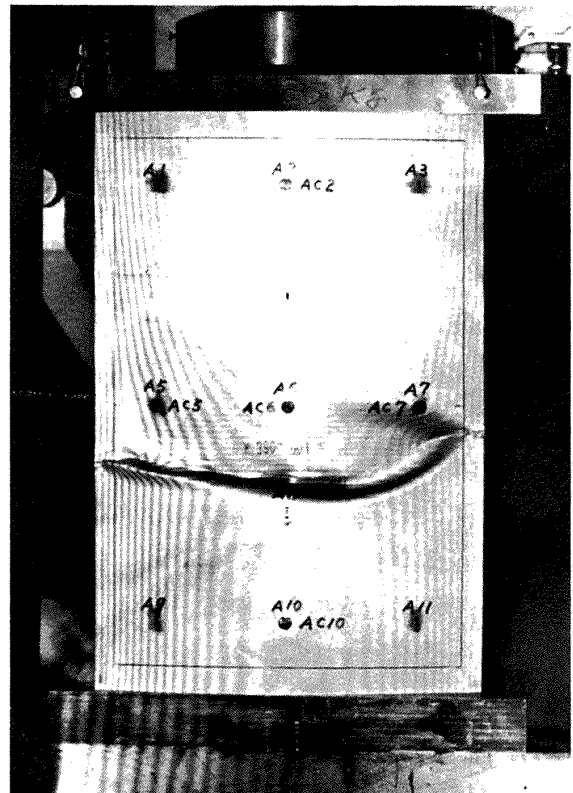


図9 ひずみ分布の一例, SF 3904-001B

図10 (a) 座屈後の供試体のモアレ写真  
SF 3904-001A図10 (b) 座屈後の供試体のモアレ写真  
SF 3904-001B

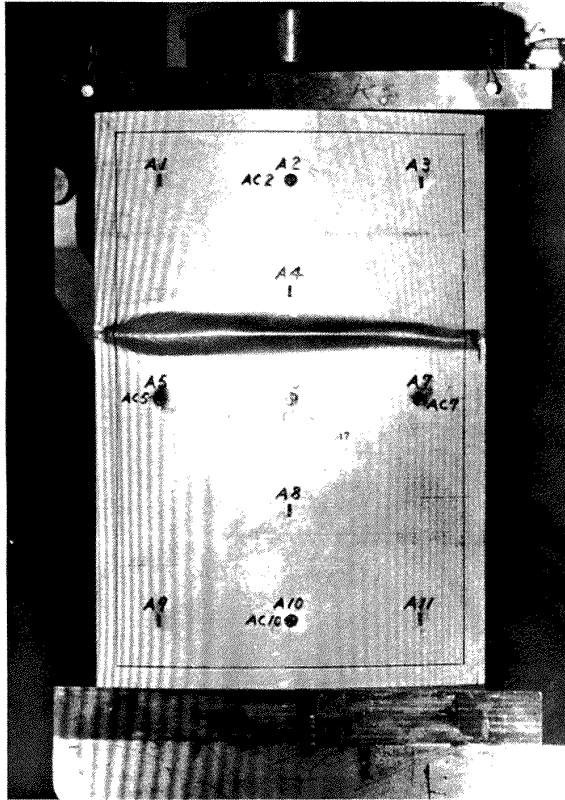


図 10 (c) 座屈後の供試体のモアレ写真  
SF 3904-001C

る。そこで塑性域では縦弾性係数の代りに、縦弾性係数に塑性減少係数 (plasticity-reduction factor)  $\eta$  を乗じた値が用いられる。

本報告では、座屈荷重の算定に以下に示す諸式を用いる。

#### (1) 全体座屈

M. Stein と J. Mayers<sup>5)</sup> は、サンドイッチ曲面板を一枚の直交異方性曲面板として取り扱い、横せん断によるたわみを考慮した基礎式を周辺単純支持の直交異方性サンドイッチ曲面板の一樣軸圧縮座屈問題に適用して、その弾性座屈限界値を求めている。本報告では全体座屈の算定式として、この Stein らの解を基本的に用いることにする。ただし、ここでは、この解析式に含まれる弾性定数の評価を容易にするために、通常の単純なサンドイッチ板の曲げ理論で良く用いられる次の仮定を設ける。

- (i) コアは面板に垂直な面内のせん断応力のみを受けもつ。
- (ii) 面板は薄くて面板自体の曲げ剛性は無視できる。

また、表裏面板は等方性で同質、等厚とし、軸圧縮

力は表裏二枚の面板によってのみ負担されるものとする、Stein と Mayers の式は、サンドイッチ曲面板を座屈させるのに必要な軸圧縮応力 (固有値) を  $\sigma_x$  と記すならば、図 1 の座標系ならびに表 1 および表 3 に示す記号を使って、面板の塑性の効果をも含めて次の形に書くことができる。

$$\sigma_x = K \frac{\pi^2 \eta B}{2(1-\nu_f^2) t_f b^2} \quad (1)$$

ここに、

$$K = \frac{(1+n^2\lambda)^2(\mu+\lambda/V_y)}{\lambda(\mu+n^2\lambda+\lambda/V_y)} + \frac{4Z^2\lambda}{\pi^4(1+n^2\lambda)^2} \quad (2)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} V_y &= \frac{\pi^2 \eta B}{(1-\nu_f^2) b^2 \Gamma_y} ; \text{ (剛性比)} \\ Z &= \frac{b^2}{Rh} \sqrt{1-\nu_f^2} ; \text{ (形状係数)} \\ \lambda &= \left(\frac{a}{mb}\right)^2, \quad \mu = \frac{1-\nu_f}{2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

そして、

$$\left. \begin{aligned} B &= \frac{E_f t_f h^2}{2} ; \text{ (梁理論での曲げ剛性)} \\ \Gamma_y &= G_{cyz} t_c ; \text{ (横せん断剛性)} \\ h &= t_c + t_f \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

梁理論で定義される曲げ剛性  $B$  は、殻理論での曲げ剛性を  $D$  と記すならば、 $D = B / (1-\nu_f^2)$  の関係にある。また、 $m$  および  $n$  はそれぞれ軸および周方向の座屈半波数であり、 $\eta$  は前述の塑性減少係数で、種々の提案がなされているが、ここでは塑性論の全ひずみ理論 (変形理論) を基に導かれ、実験値と比較的良好一致を与えると考えられる G. Gerard<sup>6)</sup> および E. Z. Stowell<sup>7)</sup> による次の二つの式を採用し、それぞれに対して限界値を算出することにする。

$$\left. \begin{aligned} \text{Gerard : } \eta &= \frac{\sqrt{E_s E_t}}{E_f} \\ \text{Stowell : } \eta &= \frac{E_s}{E_f} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \frac{E_t}{E_s}} \right) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、 $E_s$  および  $E_t$  は、面板の正割弾性係数およ

び正接弾性係数でRambergとOsgoodのパラメータを用い次式で与えられる<sup>4)</sup>。

$$\left. \begin{aligned} \frac{E_s}{E_f} &= \frac{1}{1 + \{3(\sigma_x/\sigma_1)^{N-1}/7\}} \\ \frac{E_t}{E_f} &= \frac{1}{1 + \{3N(\sigma_x/\sigma_1)^{N-1}/7\}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここに、 $\sigma_x$ は面板の軸方向応力である。したがって、式(1)は $\sigma_x$ についての高次の代数方程式となっている。座屈応力 $\sigma_{cr}$ は、式(1)を満足する $\sigma_x$ の最小値として定まる。

## (2) リンクリング

面板のリンクリング現象は弾性床上に支持された板の座屈問題に帰着でき、種々の解析がなされているが、ここでは安全側の式として次式<sup>8)</sup>を用いる。

$$\sigma_{cr} = 0.43 (\eta E_f E_c G_{cxz})^{1/3} \quad (7)$$

ここに、 $\eta$ は次式で与えられる塑性減少係数である。

$$\eta = \frac{E_s + 3 E_t}{4 E_f} \quad (8)$$

## (3) セル間座屈

種々提唱される解析解があるが、ここでは次式<sup>8)</sup>を用いる。

$$\sigma_{cr} = \frac{2.28 \eta E_f}{1 - \nu_f^2} \left( \frac{t_f}{s} \right)^2 \quad (9)$$

ここに、 $s$ はハニカムコアのセルサイズであり、 $\eta$ は次式で与えられる塑性減少係数である。

$$\eta = \frac{2 E_t}{E_f + E_t} \quad (10)$$

以上の諸式を用いて得られた座屈応力の計算値を試験の結果とともに表4に示す。

## 6. 結 言

座屈荷重の算定に用いた計算式は、試験結果に対して安全側に比較的良好な推定値を与えることが確認された。全体座屈の算定において採用した二種の塑性減少係数、すなわちGerardの式とStowellの式とでは、後者のほうが本試験結果に対して、より良好な適合度を示した。また、試験結果と座屈応力の算定値とから次のことが推論できる。

- (i) 供試体SF 3904-001 AおよびBは、負荷荷重118 kN (12 ton) の前後でセル間座屈、すなわち局部座屈を起こし、面板に波打現象を呈するが、その後も面板とコアとの接着強度はそれほど低下することなく耐荷能力を有し、147 kN (15 ton) 前後で全体座屈により破壊した。
- (ii) 供試体SF 3904-001 Cも、-001 AおよびBと同様に負荷荷重118 kN (12 ton) の近傍でセル間座屈を起こしたと思われる。しかし、

表4 試験結果と計算値

| 供 試 体         | 試 験 結 果                       |  | 座屈応力計算値 MPa<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) |                                 |                                 |
|---------------|-------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|               | 座屈荷重<br>P <sub>cr</sub> (ton) | 座屈応力<br>σ <sub>cr</sub> (kgf/mm <sup>2</sup> ) |                                       |                                 |                                 |
|               |                               |  | (σ <sub>cr</sub> ) <sub>G</sub>       | (σ <sub>cr</sub> ) <sub>W</sub> | (σ <sub>cr</sub> ) <sub>I</sub> |
| SF 3904-001 A | 147.1<br>(15.0)               | 589.4<br>(60.1)                                | *1)<br>505.0<br>(51.5)                | 559.0<br>(57.0)                 | 482.5<br>(49.2)                 |
| SF 3904-001 B | 144.2<br>(14.7)               | 577.6<br>(58.9)                                | *2)<br>556.0<br>(56.7)                |                                 |                                 |
| SF 3904-001 C | 126.5<br>(12.9)               | 507.0<br>(51.7)                                |                                       |                                 |                                 |

Subscripts

G: General instability, W: Wrinkling instability, I: Intracell buckling

\*1)  
Plasticity-reduction factor :  $\eta = \frac{\sqrt{E_s E_t}}{E_f}$

\*2)  
Plasticity-reduction factor :  $\eta = \frac{E_s}{E_f} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \frac{E_t}{E_s}} \right)$

前二者と異なり、ほぼ同時に、このセル間座屈が起因して面板とコアとの接着剥離の発生などによる接合力の低下をまねき、面板のリンクリングを誘発し瞬時に破壊した。

終りに、本試験の供試体の作製に際し、お世話頂いた川崎重工業(株)の坂井義典氏をはじめ宇宙機器設計課の関係各位に深謝の意を表します。また、モアレカメラの使用の便宜を計られた当所機体第二部機体構造研究室の藤森義典室長および写真の撮影に当たり御教示頂いた青木由雄、木部勢至朗両主任研究官に感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 中野富雄, 渡辺篤太郎, 福島幸夫, 中村富久, “H-II ロケット衛星フェアリングの設計検討,” 第28回宇宙科学技術連合講演会講演集, 昭和59年10月25日, pp. 264-265
- 2) 植村益次, “サンドイッチ構造の安定強度,” 日本機械学会誌, 第71巻, 第593号, 昭和43年6月, pp. 712-720
- 3) 航空宇宙技術研究所, 宇宙開発事業団, “共同研究成果報告書 H-II フェアリングに関する研究(中間報告),” 昭和61年8月
- 4) W. Ramberg and W.R. Osgood, “Description of Stress-Strain Curves by Three Parameters,” NACA TN 902, National Advisory Committee for Aeronautics, July 1943
- 5) M. Stein and J. Mayers, “Compressive Buckling of Simply Supported Curved Plates and Cylinders of Sandwich Construction,” NACA TN 2601, National Advisory Committee for Aeronautics, January 1952
- 6) G. Gerard and H. Becker, “Handbook of Structural Stability, part III, Buckling of Curved Plates and Shells,” NACA TN 3783, National Advisory Committee for Aeronautics, August 1957
- 7) E. Z. Stowell, “A Unified Theory of Plastic Buckling of Columns and Plates,” NACA TN 1556, National Advisory Committee for Aeronautics, April 1948
- 8) E. H. Baker, L. Kovalevsky and F. L. Rish, “Structural Analysis of Shells,” McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1972

付録 負荷圧縮荷重に対するひずみ実測値

| 荷重<br>kN<br>(ton) | 位置<br>番号 | ひ ず み 測 定 値 $\mu$ |      |       |                  |      |      |                  |      |      |
|-------------------|----------|-------------------|------|-------|------------------|------|------|------------------|------|------|
|                   |          | 供試体 SF 3904-001A  |      |       | 供試体 SF 3904-001B |      |      | 供試体 SF 3904-001C |      |      |
|                   |          | A(表)              | B(裏) | 平 均   | A(表)             | B(裏) | 平 均  | A(表)             | B(裏) | 平 均  |
| 4.90<br>(0.5)     | 1        | -208              | -224 | -216  | -225             | -227 | -226 | -234             | -186 | -210 |
|                   | 2        | -160              | -256 | -208  | -238             | -281 | -260 | -264             | -272 | -268 |
|                   | 3        | -253              | -219 | -236  | -245             | -325 | -285 | -249             | -192 | -221 |
|                   | 4        | -290              | -277 | -284  | -286             | -278 | -282 | -249             | -249 | -249 |
|                   | 5        | -214              | -195 | -205  | -231             | -196 | -214 | -239             | -232 | -236 |
|                   | 6        | -298              | -263 | -281  | -348             | -282 | -315 | -299             | -274 | -286 |
|                   | 7        | -265              | -251 | -258  | -284             | -227 | -256 | -274             | -253 | -264 |
|                   | 8        | -321              | -234 | -278  | -442             | -302 | -372 | -365             | -270 | -318 |
|                   | 9        | -375              | -96  | -236  | -261             | -54  | -158 | -372             | -110 | -241 |
|                   | 10       | -262              | -72  | -167  | -556             | -211 | -384 | -324             | -150 | -237 |
|                   | 11       | -539              | -241 | -390  | -291             | -95  | -193 | -387             | -132 | -260 |
|                   | C 2      | 42                | 32   | 37    | 85               | 95   | 90   | 111              | 105  | 108  |
|                   | C 5      | 66                | 82   | 74    | 60               | 79   | 70   | 66               | 91   | 79   |
|                   | C 6      | 94                | 114  | 104   | 97               | 138  | 118  | 82               | 120  | 101  |
|                   | C 7      | 91                | 96   | 94    | 83               | 92   | 88   | 84               | 89   | 87   |
|                   | C 10     | 1                 | -27  | -13   | 81               | 46   | 64   | 45               | 58   | 52   |
| 9.81<br>(1.0)     | 1        | -434              | -442 | -438  | -451             | -446 | -449 | -477             | -363 | -420 |
|                   | 2        | -377              | -476 | -427  | -468             | -516 | -492 | -504             | -495 | -500 |
|                   | 3        | -560              | -449 | -505  | -517             | -588 | -553 | -525             | -389 | -457 |
|                   | 4        | -547              | -523 | -535  | -543             | -531 | -537 | -480             | -473 | -477 |
|                   | 5        | -430              | -407 | -418  | -454             | -403 | -429 | -455             | -450 | -453 |
|                   | 6        | -549              | -501 | -525  | -623             | -534 | -578 | -549             | -512 | -530 |
|                   | 7        | -516              | -494 | -505  | -546             | -464 | -505 | -508             | -478 | -493 |
|                   | 8        | -572              | -462 | -517  | -747             | -559 | -653 | -636             | -484 | -560 |
|                   | 9        | -747              | -257 | -502  | -597             | -204 | -401 | -738             | -228 | -483 |
|                   | 10       | -463              | -172 | -318  | -871             | -432 | -652 | -541             | -245 | -393 |
|                   | 11       | -878              | -537 | -708  | -485             | -273 | -379 | -752             | -261 | -507 |
|                   | C 2      | 100               | 75   | 88    | 149              | 159  | 154  | 189              | 179  | 184  |
|                   | C 5      | 134               | 158  | 146   | 128              | 160  | 144  | 129              | 171  | 150  |
|                   | C 6      | 174               | 201  | 188   | 181              | 245  | 213  | 153              | 213  | 183  |
|                   | C 7      | 178               | 183  | 181   | 171              | 181  | 176  | 157              | 169  | 163  |
|                   | C 10     | 1                 | -34  | -17   | 130              | 100  | 115  | 62               | 84   | 73   |
| 14.71<br>(1.5)    | 1        | -666              | -686 | -676  | -680             | -654 | -667 | -754             | -553 | -654 |
|                   | 2        | -602              | -715 | -659  | -713             | -728 | -721 | -728             | -723 | -726 |
|                   | 3        | -838              | -676 | -757  | -797             | -830 | -814 | -794             | -604 | -699 |
|                   | 4        | -796              | -771 | -784  | -800             | -781 | -791 | -746             | -713 | -730 |
|                   | 5        | -659              | -640 | -650  | -681             | -625 | -653 | -683             | -682 | -683 |
|                   | 6        | -792              | -742 | -767  | -882             | -781 | -832 | -815             | -763 | -789 |
|                   | 7        | -757              | -732 | -745  | -796             | -702 | -749 | -755             | -715 | -735 |
|                   | 8        | -812              | -693 | -753  | -1016            | -810 | -913 | -920             | -710 | -815 |
|                   | 9        | -1082             | -448 | -765  | -903             | -401 | -652 | -1108            | -342 | -725 |
|                   | 10       | -655              | -295 | -475  | -1130            | -682 | -906 | -761             | -348 | -555 |
|                   | 11       | -1181             | -826 | -1004 | -677             | -470 | -574 | -1122            | -406 | -764 |
|                   | C 2      | 165               | 127  | 146   | 202              | 217  | 210  | 254              | 242  | 248  |
|                   | C 5      | 207               | 236  | 222   | 201              | 239  | 220  | 194              | 257  | 226  |
|                   | C 6      | 257               | 280  | 264   | 263              | 338  | 301  | 227              | 313  | 270  |
|                   | C 7      | 265               | 264  | 265   | 255              | 267  | 261  | 233              | 253  | 243  |
|                   | C 10     | 7                 | -37  | -18   | 193              | 155  | 174  | 79               | 114  | 97   |

| 荷重<br>kN<br>(ton) | 位置<br>番号 | ひ ず み 測 定 値 $\mu$ |       |       |                   |       |       |                   |       |       |
|-------------------|----------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|
|                   |          | 供試体 SF 3904-001 A |       |       | 供試体 SF 3904-001 B |       |       | 供試体 SF 3904-001 C |       |       |
|                   |          | A(表)              | B(裏)  | 平 均   | A(表)              | B(裏)  | 平 均   | A(表)              | B(裏)  | 平 均   |
| 19.61<br>( 2.0)   | 1        | - 903             | - 941 | - 922 | - 919             | - 876 | - 898 | -1033             | - 743 | - 888 |
|                   | 2        | - 826             | - 955 | - 891 | - 949             | - 947 | - 948 | - 938             | - 949 | - 944 |
|                   | 3        | -1108             | - 908 | -1008 | -1070             | -1074 | -1072 | -1044             | - 823 | - 934 |
|                   | 4        | -1045             | -1019 | -1032 | -1055             | -1031 | -1043 | - 968             | - 950 | - 959 |
|                   | 5        | - 895             | - 878 | - 887 | - 915             | - 856 | - 886 | - 908             | - 911 | - 910 |
|                   | 6        | -1036             | - 982 | -1009 | -1138             | -1027 | -1082 | -1071             | -1009 | -1040 |
|                   | 7        | - 995             | - 966 | - 981 | -1042             | - 936 | - 989 | - 996             | - 949 | - 973 |
|                   | 8        | -1051             | - 931 | - 991 | -1275             | -1059 | -1167 | -1191             | - 933 | -1062 |
|                   | 9        | -1389             | - 661 | -1025 | -1182             | - 632 | - 907 | -1458             | - 453 | - 956 |
|                   | 10       | - 856             | - 440 | - 648 | -1375             | - 927 | -1151 | - 967             | - 455 | - 711 |
|                   | 11       | -1460             | -1099 | -1280 | - 882             | - 670 | - 776 | -1443             | - 590 | -1017 |
|                   | C 2      | 231               | 186   | 209   | 253               | 270   | 262   | 317               | 297   | 307   |
|                   | C 5      | 284               | 317   | 301   | 279               | 318   | 299   | 263               | 339   | 301   |
|                   | C 6      | 338               | 360   | 349   | 347               | 426   | 387   | 302               | 409   | 356   |
| 24.52<br>( 2.5)   | C 7      | 352               | 345   | 349   | 337               | 351   | 344   | 309               | 337   | 323   |
|                   | C 10     | 20                | - 29  | - 5   | 254               | 209   | 232   | 94                | 144   | 119   |
|                   | 1        | -1142             | -1200 | -1171 | -1163             | -1124 | -1144 | -1324             | - 940 | -1132 |
|                   | 2        | -1051             | -1193 | -1122 | -1185             | -1187 | -1186 | -1145             | -1184 | -1165 |
|                   | 3        | -1373             | -1144 | -1259 | -1335             | -1325 | -1330 | -1290             | -1053 | -1172 |
|                   | 4        | -1290             | -1266 | -1278 | -1311             | -1292 | -1302 | -1213             | -1191 | -1202 |
|                   | 5        | -1131             | -1118 | -1125 | -1159             | -1097 | -1128 | -1136             | -1142 | -1139 |
|                   | 6        | -1279             | -1223 | -1251 | -1397             | -1278 | -1337 | -1331             | -1259 | -1295 |
|                   | 7        | -1230             | -1199 | -1215 | -1286             | -1178 | -1232 | -1245             | -1190 | -1218 |
|                   | 8        | -1293             | -1172 | -1233 | -1531             | -1312 | -1422 | -1460             | -1166 | -1313 |
|                   | 9        | -1676             | - 897 | -1287 | -1446             | - 881 | -1164 | -1790             | - 580 | -1185 |
|                   | 10       | -1069             | - 601 | - 835 | -1620             | -1171 | -1396 | -1162             | - 609 | - 886 |
|                   | 11       | -1725             | -1361 | -1543 | -1100             | - 881 | - 991 | -1739             | - 824 | -1282 |
|                   | C 2      | 295               | 245   | 270   | 308               | 324   | 316   | 380               | 351   | 366   |
| 29.42<br>( 3.0)   | C 5      | 365               | 396   | 381   | 360               | 399   | 380   | 331               | 424   | 378   |
|                   | C 6      | 422               | 442   | 432   | 434               | 513   | 474   | 384               | 503   | 444   |
|                   | C 7      | 436               | 427   | 432   | 423               | 436   | 430   | 390               | 420   | 405   |
|                   | C 10     | 47                | - 12  | 18    | 309               | 262   | 286   | 120               | 182   | 151   |
|                   | 1        | -1390             | -1467 | -1429 | -1393             | -1363 | -1378 | -1602             | -1137 | -1370 |
|                   | 2        | -1279             | -1437 | -1358 | -1400             | -1415 | -1408 | -1338             | -1413 | -1376 |
|                   | 3        | -1639             | -1391 | -1515 | -1577             | -1563 | -1570 | -1518             | -1279 | -1399 |
|                   | 4        | -1540             | -1518 | -1529 | -1550             | -1537 | -1544 | -1448             | -1423 | -1436 |
|                   | 5        | -1375             | -1364 | -1370 | -1389             | -1323 | -1356 | -1358             | -1367 | -1363 |
|                   | 6        | -1526             | -1467 | -1497 | -1636             | -1512 | -1574 | -1578             | -1495 | -1536 |
|                   | 7        | -1469             | -1433 | -1451 | -1516             | -1404 | -1460 | -1478             | -1417 | -1448 |
|                   | 8        | -1538             | -1421 | -1480 | -1770             | -1550 | -1660 | -1714             | -1394 | -1554 |
|                   | 9        | -1952             | -1147 | -1550 | -1688             | -1114 | -1401 | -2078             | - 740 | -1409 |
|                   | 10       | -1293             | - 772 | -1033 | -1847             | -1397 | -1622 | -1336             | - 814 | -1075 |
|                   | 11       | -1988             | -1619 | -1804 | -1311             | -1090 | -1201 | -1999             | -1051 | -1525 |
|                   | C 2      | 361               | 307   | 334   | 360               | 373   | 367   | 441               | 401   | 421   |
|                   | C 5      | 447               | 481   | 464   | 439               | 474   | 457   | 403               | 502   | 453   |
|                   | C 6      | 508               | 526   | 517   | 517               | 592   | 555   | 466               | 588   | 527   |
|                   | C 7      | 523               | 512   | 518   | 501               | 513   | 507   | 471               | 501   | 486   |
|                   | C 10     | 75                | 12    | 44    | —                 | 309   | —     | 165               | 227   | 196   |

| 荷重<br>kN<br>(ton) | 位置<br>番号 | ひずみ測定値 $\mu$      |       |       |                   |       |       |                   |       |       |
|-------------------|----------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|
|                   |          | 供試体 SF 3904-001 A |       |       | 供試体 SF 3904-001 B |       |       | 供試体 SF 3904-001 C |       |       |
|                   |          | A(表)              | B(裏)  | 平均    | A(表)              | B(裏)  | 平均    | A(表)              | B(裏)  | 平均    |
| 34.32<br>(3.5)    | 1        | -1636             | -1727 | -1682 | -1632             | -1623 | -1628 | -1875             | -1350 | -1613 |
|                   | 2        | -1506             | -1675 | -1591 | -1621             | -1660 | -1641 | -1530             | -1648 | -1589 |
|                   | 3        | -1897             | -1637 | -1767 | -1827             | -1815 | -1821 | -1747             | -1510 | -1629 |
|                   | 4        | -1783             | -1765 | -1774 | -1801             | -1795 | -1798 | -1683             | -1659 | -1671 |
|                   | 5        | -1614             | -1606 | -1610 | -1631             | -1562 | -1597 | -1591             | -1601 | -1596 |
|                   | 6        | -1768             | -1708 | -1738 | -1889             | -1757 | -1823 | -1825             | -1736 | -1781 |
|                   | 7        | -1699             | -1664 | -1682 | -1755             | -1641 | -1698 | -1710             | -1647 | -1679 |
|                   | 8        | -1778             | -1666 | -1722 | -2022             | -1799 | -1911 | -1968             | -1630 | -1799 |
|                   | 9        | -2213             | -1394 | -1804 | -1940             | -1354 | -1647 | -2348             | -942  | -1645 |
|                   | 10       | -1514             | -949  | -1232 | -2084             | -1632 | -1858 | -1501             | -1034 | -1268 |
|                   | 11       | -2241             | -1870 | -2056 | -1538             | -1312 | -1425 | -2255             | -1281 | -1768 |
|                   | C 2      | 425               | 367   | 396   | 411               | 423   | 417   | 501               | 450   | 476   |
|                   | C 5      | 529               | 562   | 546   | 522               | 548   | 535   | 481               | 583   | 532   |
|                   | C 6      | 591               | 608   | 600   | 605               | 671   | 638   | 552               | 672   | 612   |
|                   | C 7      | 607               | 593   | 600   | 587               | 594   | 591   | 551               | 576   | 564   |
|                   | C 10     | 102               | 37    | 70    | 407               | 354   | 381   | 211               | 271   | 241   |
| 39.23<br>(4.0)    | 1        | -1877             | -1985 | -1931 | -1867             | -1882 | -1875 | -2156             | -1583 | -1870 |
|                   | 2        | -1729             | -1913 | -1821 | -1836             | -1903 | -1870 | -1729             | -1896 | -1813 |
|                   | 3        | -2148             | -1884 | -2016 | -2068             | -2063 | -2066 | -1981             | -1759 | -1870 |
|                   | 4        | -2028             | -2013 | -2021 | -2052             | -2054 | -2053 | -1928             | -1909 | -1919 |
|                   | 5        | -1856             | -1846 | -1851 | -1875             | -1798 | -1837 | -1837             | -1846 | -1842 |
|                   | 6        | -2009             | -1948 | -1979 | -2133             | -2004 | -2068 | -2084             | -1988 | -2036 |
|                   | 7        | -1932             | -1893 | -1913 | -1997             | -1880 | -1939 | -1951             | -1887 | -1919 |
|                   | 8        | -2020             | -1912 | -1966 | -2273             | -2048 | -2161 | -2231             | -1876 | -2054 |
|                   | 9        | -2467             | -1640 | -2054 | -2186             | -1594 | -1890 | -2617             | -1170 | -1894 |
|                   | 10       | -1734             | -1132 | -1433 | -2317             | -1868 | -2093 | -1670             | -1266 | -1468 |
|                   | 11       | -2492             | -2117 | -2305 | -1768             | -1540 | -1654 | -2522             | -1521 | -2022 |
|                   | C 2      | 487               | 426   | 457   | 464               | 479   | 472   | 566               | 503   | 535   |
|                   | C 5      | 611               | 643   | 627   | 606               | 626   | 616   | 565               | 664   | 615   |
|                   | C 6      | 675               | 690   | 683   | 683               | 753   | 718   | 643               | 758   | 701   |
|                   | C 7      | 691               | 675   | 683   | 665               | 672   | 669   | 634               | 657   | 646   |
|                   | C 10     | 134               | 65    | 100   | 454               | 406   | 430   | 261               | 319   | 290   |
| 44.13<br>(4.5)    | 1        | -2122             | -2247 | -2185 | -2089             | -2129 | -2109 | -2427             | -1815 | -2121 |
|                   | 2        | -1956             | -2154 | -2055 | -2041             | -2137 | -2089 | -1924             | -2141 | -2033 |
|                   | 3        | -2400             | -2135 | -2268 | -2293             | -2300 | -2297 | -2216             | -2006 | -2111 |
|                   | 4        | -2275             | -2265 | -2270 | -2280             | -2295 | -2288 | -2169             | -2156 | -2163 |
|                   | 5        | -2097             | -2090 | -2094 | -2097             | -2020 | -2059 | -2081             | -2089 | -2085 |
|                   | 6        | -2252             | -2190 | -2221 | -2368             | -2229 | -2299 | -2336             | -2235 | -2286 |
|                   | 7        | -2168             | -2126 | -2147 | -2220             | -2102 | -2161 | -2186             | -2126 | -2156 |
|                   | 8        | -2268             | -2164 | -2216 | -2507             | -2280 | -2394 | -2488             | -2060 | -2274 |
|                   | 9        | -2722             | -1888 | -2305 | -2424             | -1821 | -2123 | -2877             | -1400 | -2139 |
|                   | 10       | -1958             | -1324 | -1641 | -2540             | -2088 | -2314 | -1832             | -1495 | -1664 |
|                   | 11       | -2743             | -2368 | -2556 | -1994             | -1750 | -1872 | -2782             | -1760 | -2271 |
|                   | C 2      | 552               | 485   | 519   | 527               | 530   | 529   | 625               | 553   | 589   |
|                   | C 5      | 695               | 724   | 710   | 682               | 705   | 694   | 647               | 746   | 697   |
|                   | C 6      | 761               | 774   | 768   | 773               | 835   | 804   | 732               | 845   | 789   |
|                   | C 7      | 776               | 756   | 766   | 750               | 755   | 753   | 717               | 736   | 727   |
|                   | C 10     | 167               | 95    | 131   | 510               | 451   | 481   | 304               | 363   | 334   |



| 荷重<br>kN<br>(ton) | 位置<br>番号 | ひずみ測定値 $\mu$      |       |       |                   |       |       |                   |       |       |
|-------------------|----------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|
|                   |          | 供試体 SF 3904-001 A |       |       | 供試体 SF 3904-001 B |       |       | 供試体 SF 3904-001 C |       |       |
|                   |          | A(表)              | B(裏)  | 平均    | A(表)              | B(裏)  | 平均    | A(表)              | B(裏)  | 平均    |
| 49.03<br>(5.0)    | 1        | -2366             | -2506 | -2436 | -2338             | -2410 | -2374 | -2693             | -2045 | -2369 |
|                   | 2        | -2184             | -2394 | -2289 | -2268             | -2396 | -2332 | -2119             | -2384 | -2252 |
|                   | 3        | -2648             | -2387 | -2518 | -2544             | -2566 | -2555 | -2449             | -2256 | -2353 |
|                   | 4        | -2520             | -2515 | -2518 | -2537             | -2565 | -2551 | -2411             | -2404 | -2408 |
|                   | 5        | -2337             | -2332 | -2335 | -2348             | -2266 | -2307 | -2326             | -2330 | -2328 |
|                   | 6        | -2494             | -2431 | -2463 | -2627             | -2481 | -2554 | -2585             | -2482 | -2533 |
|                   | 7        | -2400             | -2357 | -2379 | -2465             | -2347 | -2406 | -2418             | -2368 | -2393 |
|                   | 8        | -2513             | -2415 | -2464 | -2765             | -2537 | -2651 | -2746             | -2287 | -2517 |
|                   | 9        | -2969             | -2131 | -2550 | -2682             | -2068 | -2375 | -3132             | -1636 | -2384 |
|                   | 10       | -2182             | -1523 | -1853 | -2783             | -2329 | -2556 | -1991             | —     | —     |
|                   | 11       | -2993             | -2613 | -2803 | -2241             | -1985 | -2113 | -3040             | -1999 | -2520 |
|                   | C 2      | 617               | 547   | 582   | 586               | 586   | 586   | 686               | 607   | 647   |
|                   | C 5      | 777               | 805   | 791   | 770               | 787   | 779   | 733               | 827   | 780   |
| 53.94<br>(5.5)    | C 6      | 846               | 857   | 852   | 864               | 920   | 892   | 822               | 932   | 877   |
|                   | C 7      | 861               | 839   | 850   | 835               | 841   | 838   | 797               | 819   | 808   |
|                   | C 10     | 207               | 129   | 168   | 563               | 500   | 532   | 354               | 409   | 382   |
|                   | 1        | -2614             | -2766 | -2690 | -2588             | -2692 | -2640 | -2954             | -2285 | -2620 |
|                   | 2        | -2414             | -2639 | -2527 | -2493             | -2659 | -2576 | -2311             | -2625 | -2468 |
|                   | 3        | -2897             | -2643 | -2770 | -2794             | -2837 | -2816 | -2680             | -2513 | -2597 |
|                   | 4        | -2770             | -2770 | -2770 | -2796             | -2839 | -2818 | -2651             | -2652 | -2652 |
|                   | 5        | -2579             | -2574 | -2577 | -2601             | -2518 | -2560 | -2578             | -2569 | -2574 |
|                   | 6        | -2741             | -2675 | -2708 | -2887             | -2735 | -2811 | -2831             | -2727 | -2779 |
|                   | 7        | -2636             | -2591 | -2614 | -2717             | -2596 | -2657 | -2647             | -2608 | -2628 |
|                   | 8        | -2764             | -2670 | -2717 | -3030             | -2799 | -2915 | -2999             | -2514 | -2757 |
|                   | 9        | -3219             | -2379 | -2799 | -2942             | -2319 | -2631 | -3385             | -1873 | -2629 |
|                   | 10       | -2409             | -1733 | -2071 | -3031             | -2575 | -2803 | -2150             | —     | —     |
|                   | 11       | -3244             | -2865 | -3055 | -2495             | -2227 | -2361 | -3296             | -2234 | -2765 |
| 58.84<br>(6.0)    | C 2      | 684               | 609   | 647   | 647               | 643   | 645   | 746               | 659   | 703   |
|                   | C 5      | 863               | 888   | 876   | 858               | 871   | 865   | 819               | 909   | 864   |
|                   | C 6      | 936               | 943   | 940   | 958               | 1008  | 983   | 912               | 1017  | 965   |
|                   | C 7      | 947               | 923   | 935   | 925               | 927   | 926   | 878               | 902   | 890   |
|                   | C 10     | 248               | 166   | 207   | 616               | 551   | 584   | 402               | 453   | 428   |
|                   | 1        | -2862             | -3027 | -2945 | -2818             | -2956 | -2887 | -3207             | -2529 | -2868 |
|                   | 2        | -2643             | -2884 | -2764 | -2704             | -2903 | -2804 | -2501             | -2867 | -2684 |
|                   | 3        | -3143             | -2901 | -3022 | -3026             | -3091 | -3059 | -2906             | -2770 | -2838 |
|                   | 4        | -3017             | -3023 | -3020 | -3036             | -3093 | -3065 | -2888             | -2901 | -2895 |
|                   | 5        | -2816             | -2814 | -2815 | -2833             | -2747 | -2790 | -2810             | -2806 | -2808 |
|                   | 6        | -2986             | -2917 | -2952 | -3129             | -2970 | -3049 | -3075             | -2971 | -3023 |
|                   | 7        | -2869             | -2822 | -2846 | -2947             | -2827 | -2887 | -2868             | -2851 | -2860 |
|                   | 8        | -3011             | -2924 | -2968 | -3274             | -3043 | -3159 | -3251             | -2734 | -2993 |
|                   | 9        | -3466             | -2624 | -3045 | -3186             | -2553 | -2870 | -3634             | -2110 | -2872 |
|                   | 10       | -2636             | -1946 | -2291 | -3261             | -2805 | -3033 | -2307             | —     | —     |
|                   | 11       | -3491             | -3110 | -3301 | -2733             | -2453 | -2593 | -3552             | -2470 | -3011 |
|                   | C 2      | 752               | 671   | 712   | 705               | 698   | 702   | 807               | 712   | 760   |
|                   | C 5      | 948               | 971   | 960   | 940               | 949   | 945   | 905               | 990   | 948   |
|                   | C 6      | 1025              | 1027  | 1026  | 1046              | 1088  | 1067  | 1003              | 1104  | 1054  |
|                   | C 7      | 1036              | 1009  | 1023  | 1008              | 1008  | 1008  | 955               | 986   | 971   |
|                   | C 10     | 295               | 206   | 251   | 666               | 597   | 632   | 448               | 498   | 473   |

| 荷重<br>kN<br>(ton) | 位置<br>番号 | ひずみ測定値 $\mu$    |       |       |                 |       |       |                 |       |       |
|-------------------|----------|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
|                   |          | 供試体 SF3904-001A |       |       | 供試体 SF3904-001B |       |       | 供試体 SF3904-001C |       |       |
|                   |          | A(表)            | B(裏)  | 平均    | A(表)            | B(裏)  | 平均    | A(表)            | B(裏)  | 平均    |
| 63.74<br>(6.5)    | 1        | -3115           | -3289 | -3202 | -3056           | -3225 | -3141 | -3461           | -2779 | -3120 |
|                   | 2        | -2873           | -3133 | -3003 | -2920           | -3155 | -3038 | -2691           | -3109 | -2900 |
|                   | 3        | -3391           | -3159 | -3275 | -3264           | -3350 | -3307 | -3137           | -3026 | -3082 |
|                   | 4        | -3270           | -3282 | -3276 | -3286           | -3359 | -3323 | -3124           | -3149 | -3137 |
|                   | 5        | -3059           | -3059 | -3059 | -3074           | -2985 | -3030 | -3054           | -3043 | -3049 |
|                   | 6        | -3233           | -3162 | -3198 | -3377           | -3213 | -3295 | -3316           | -3214 | -3265 |
|                   | 7        | -3110           | -3060 | -3085 | -3188           | -3068 | -3128 | -3083           | -3100 | -3092 |
|                   | 8        | -3268           | -3184 | -3226 | -3528           | -3293 | -3411 | -3503           | -2948 | -3226 |
|                   | 9        | -3714           | -2875 | -3295 | -3434           | -2796 | -3115 | -3886           | -2348 | -3117 |
|                   | 10       | -2865           | -2172 | -2519 | -3493           | -3040 | -3267 | -2466           | —     | —     |
|                   | 11       | -3742           | -3362 | -3552 | -2977           | -2693 | -2835 | -3810           | -2704 | -3257 |
|                   | C 2      | 819             | 731   | 775   | 765             | 754   | 760   | 867             | 766   | 817   |
|                   | C 5      | 1032            | 1054  | 1043  | 1025            | 1030  | 1028  | 992             | 1074  | 1033  |
| 68.65<br>(7.0)    | C 6      | 1116            | 1113  | 1115  | 1136            | 1173  | 1155  | 1093            | 1194  | 1144  |
|                   | C 7      | 1124            | 1092  | 1108  | 1094            | 1091  | 1093  | 1031            | 1072  | 1052  |
|                   | C 10     | 343             | 246   | 295   | 718             | 645   | 682   | 497             | 543   | 520   |
|                   | 1        | -3369           | -3548 | -3459 | -3291           | -3489 | -3390 | -3714           | -3035 | -3375 |
|                   | 2        | -3103           | -3379 | -3241 | -3134           | -3400 | -3267 | -2884           | -3351 | -3118 |
|                   | 3        | -3634           | -3416 | -3525 | -3500           | -3606 | -3553 | -3377           | -3274 | -3326 |
|                   | 4        | -3520           | -3537 | -3529 | -3530           | -3619 | -3575 | -3359           | -3404 | -3382 |
|                   | 5        | -3299           | -3300 | -3300 | -3311           | -3218 | -3265 | -3300           | -3285 | -3293 |
|                   | 6        | -3480           | -3405 | -3443 | -3619           | -3450 | -3535 | -3554           | -3464 | -3509 |
|                   | 7        | -3346           | -3293 | -3320 | -3422           | -3303 | -3363 | -3292           | -3361 | -3327 |
|                   | 8        | -3518           | -3442 | -3480 | -3774           | -3540 | -3657 | -3768           | -3166 | -3467 |
|                   | 9        | -3962           | -3121 | -3542 | -3679           | -3036 | -3358 | -4140           | -2588 | -3364 |
|                   | 10       | -3096           | -2394 | -2745 | -3721           | -3271 | -3496 | -2626           | —     | —     |
|                   | 11       | -3988           | -3608 | -3798 | -3220           | -2931 | -3076 | -4074           | -2936 | -3505 |
| 73.55<br>(7.5)    | C 2      | 886             | 792   | 839   | 825             | 810   | 818   | 926             | 819   | 873   |
|                   | C 5      | 1117            | 1136  | 1127  | 1109            | 1110  | 1110  | 1081            | 1159  | 1120  |
|                   | C 6      | 1207            | 1199  | 1203  | 1226            | 1255  | 1241  | 1183            | 1288  | 1236  |
|                   | C 7      | 1212            | 1177  | 1195  | 1179            | 1174  | 1177  | 1106            | 1163  | 1135  |
|                   | C 10     | 395             | 291   | 343   | 770             | 692   | 731   | 543             | 586   | 565   |
|                   | 1        | -3626           | -3805 | -3716 | -3527           | -3753 | -3640 | -3959           | -3284 | -3622 |
|                   | 2        | -3337           | -3619 | -3478 | -3350           | -3648 | -3499 | -3070           | -3585 | -3328 |
|                   | 3        | -3880           | -3671 | -3776 | -3739           | -3863 | -3801 | -3606           | -3518 | -3562 |
|                   | 4        | -3770           | -3793 | -3782 | -3775           | -3880 | -3828 | -3590           | -3649 | -3620 |
|                   | 5        | -3540           | -3542 | -3541 | -3546           | -3449 | -3498 | -3537           | -3518 | -3528 |
|                   | 6        | -3727           | -3646 | -3687 | -3864           | -3687 | -3776 | -3785           | -3705 | -3745 |
|                   | 7        | -3584           | -3526 | -3555 | -3655           | -3537 | -3596 | -3498           | -3611 | -3555 |
|                   | 8        | -3772           | -3700 | -3736 | -4021           | -3786 | -3904 | -4007           | -3377 | -3692 |
|                   | 9        | -4208           | -3369 | -3789 | -3924           | -3275 | -3600 | -4385           | -2820 | -3603 |
|                   | 10       | -3323           | -2621 | -2972 | -3949           | -3502 | -3726 | -2781           | —     | —     |
|                   | 11       | -4231           | -3853 | -4042 | -3464           | -3170 | -3317 | -4331           | -3164 | -3748 |
|                   | C 2      | 955             | 854   | 905   | 885             | 867   | 876   | 985             | 872   | 929   |
|                   | C 5      | 1203            | 1221  | 1212  | 1195            | 1191  | 1193  | 1167            | 1242  | 1205  |
|                   | C 6      | 1298            | 1286  | 1292  | 1318            | 1342  | 1330  | 1271            | 1379  | 1325  |
|                   | C 7      | 1301            | 1263  | 1282  | 1266            | 1259  | 1263  | 1180            | 1247  | 1214  |
|                   | C 10     | 448             | 336   | 392   | 822             | 740   | 781   | 590             | 629   | 610   |

| 荷重<br>kN<br>(ton) | 位置<br>番号 | ひ ず み 測 定 値 $\mu$ |       |       |                  |       |       |                  |       |       |
|-------------------|----------|-------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|
|                   |          | 供試体 SF3904-001 A  |       |       | 供試体 SF3904-001 B |       |       | 供試体 SF3904-001 C |       |       |
|                   |          | A(表)              | B(裏)  | 平 均   | A(表)             | B(裏)  | 平 均   | A(表)             | B(裏)  | 平 均   |
| 78.45<br>( 8.0)   | 1        | -3876             | -4060 | -3968 | -3766            | -4019 | -3893 | -4208            | -3544 | -3876 |
|                   | 2        | -3561             | -3866 | -3714 | -3568            | -3899 | -3734 | -3258            | -3827 | -3543 |
|                   | 3        | -4118             | -3927 | -4023 | -3981            | -4126 | -4054 | -3840            | -3767 | -3804 |
|                   | 4        | -4016             | -4048 | -4032 | -4026            | -4149 | -4088 | -3826            | -3901 | -3864 |
|                   | 5        | -3776             | -3782 | -3779 | -3783            | -3685 | -3734 | -3781            | -3757 | -3769 |
|                   | 6        | -3971             | -3887 | -3929 | -4111            | -3930 | -4020 | -4022            | -3952 | -3987 |
|                   | 7        | -3817             | -3759 | -3788 | -3897            | -3778 | -3838 | -3711            | -3867 | -3789 |
|                   | 8        | -4022             | —     | —     | -4273            | -4037 | -4155 | -4261            | -3592 | -3927 |
|                   | 9        | -4451             | -3618 | -4035 | -4173            | -3519 | -3846 | -4636            | -3060 | -3848 |
|                   | 10       | -3553             | -2847 | -3200 | -4179            | -3739 | -3959 | -2939            | —     | —     |
|                   | 11       | -4473             | -4099 | -4286 | -3713            | -3421 | -3567 | -4595            | -3399 | -3997 |
|                   | C 2      | 1020              | 911   | 966   | 946              | 925   | 936   | 1046             | 925   | 986   |
|                   | C 5      | 1286              | 1301  | 1294  | 1280             | 1272  | 1276  | 1256             | 1327  | 1292  |
| 83.36<br>( 8.5)   | C 6      | 1387              | 1370  | 1379  | 1408             | 1426  | 1417  | 1363             | 1470  | 1417  |
|                   | C 7      | 1390              | 1344  | 1367  | 1354             | 1342  | 1348  | 1257             | 1335  | 1296  |
|                   | C 10     | 500               | 380   | 440   | 873              | 788   | 831   | 638              | 675   | 657   |
|                   | 1        | -4134             | -4316 | -4225 | -4013            | -4296 | -4155 | -4464            | -3825 | -4145 |
|                   | 2        | -3792             | -4114 | -3953 | -3793            | -4156 | -3975 | -3452            | -4081 | -3767 |
|                   | 3        | -4358             | -4183 | -4271 | -4234            | -4400 | -4317 | -4081            | -4030 | -4056 |
|                   | 4        | -4270             | -4309 | -4289 | -4285            | -4427 | -4356 | -4074            | -4164 | -4119 |
|                   | 5        | -4021             | -4027 | -4024 | -4029            | -3926 | -3978 | -4032            | -4005 | -4019 |
|                   | 6        | -4218             | -4134 | -4176 | -4368            | -4180 | -4274 | -4272            | -4207 | -4239 |
|                   | 7        | -4060             | -3997 | -4029 | -4145            | -4027 | -4086 | -3939            | -4127 | -4033 |
|                   | 8        | -4280             | -4222 | -4251 | -4535            | -4294 | -4415 | -4526            | -3815 | -4171 |
|                   | 9        | -4698             | -3870 | -4284 | -4428            | -3770 | -4099 | -4895            | -3309 | -4102 |
|                   | 10       | -3784             | -3082 | -3433 | -4419            | -3983 | -4201 | -3103            | —     | —     |
|                   | 11       | -4714             | -4350 | -4532 | -3975            | -3679 | -3827 | -4869            | -3649 | -4259 |
| 88.26<br>( 9.0)   | C 2      | 1086              | 970   | 1028  | 1010             | 988   | 999   | 1110             | 983   | 1047  |
|                   | C 5      | 1372              | 1383  | 1378  | 1369             | 1356  | 1363  | 1349             | 1417  | 1383  |
|                   | C 6      | 1469              | 1454  | 1462  | 1503             | 1515  | 1509  | 1460             | 1564  | 1512  |
|                   | C 7      | 1477              | 1427  | 1452  | 1446             | 1430  | 1438  | 1342             | 1424  | 1383  |
|                   | C 10     | 553               | 424   | 489   | 927              | 838   | 883   | 688              | 722   | 705   |
|                   | 1        | -4392             | -4576 | -4484 | -4243            | -4555 | -4399 | -4710            | -4100 | -4405 |
|                   | 2        | -4023             | -4365 | -4194 | -4002            | -4396 | -4199 | -3639            | -4327 | -3983 |
|                   | 3        | -4600             | -4444 | -4522 | -4467            | -4654 | -4561 | -4311            | -4286 | -4299 |
|                   | 4        | -4523             | -4570 | -4547 | -4524            | -4684 | -4604 | -4314            | -4418 | -4366 |
|                   | 5        | -4266             | -4266 | -4266 | -4260            | -4151 | -4206 | -4270            | -4250 | -4260 |
|                   | 6        | -4470             | -4380 | -4425 | -4605            | -4410 | -4508 | -4512            | -4454 | -4483 |
|                   | 7        | -4301             | -4234 | -4268 | -4373            | -4256 | -4315 | -4159            | -4377 | -4268 |
|                   | 8        | -4536             | -4486 | -4511 | -4776            | -4533 | -4655 | -4782            | -3040 | -3911 |
|                   | 9        | -4949             | -4124 | -4537 | -4666            | -4006 | -4336 | -5148            | -3553 | -4351 |
|                   | 10       | -4019             | -3317 | -3668 | -4642            | -4209 | -4426 | -3260            | —     | —     |
|                   | 11       | -4960             | -4601 | -4781 | -4217            | -3920 | -4069 | -5130            | -3893 | -4512 |
|                   | C 2      | 1155              | 1028  | 1092  | 1069             | 1042  | 1056  | 1173             | 1039  | 1106  |
|                   | C 5      | 1460              | 1467  | 1464  | 1451             | 1435  | 1443  | 1436             | 1508  | 1472  |
|                   | C 6      | 1573              | 1542  | 1558  | 1592             | 1596  | 1594  | 1554             | 1655  | 1605  |
|                   | C 7      | 1569              | 1514  | 1542  | 1530             | 1512  | 1521  | 1424             | 1509  | 1467  |
|                   | C 10     | 609               | 471   | 540   | 976              | 883   | 930   | 738              | 769   | 754   |

| 荷重<br>kN<br>(ton) | 位置<br>番号 | ひずみ測定値 $\mu$    |       |       |                 |       |       |                 |       |       |
|-------------------|----------|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
|                   |          | 供試体 SF3904-001A |       |       | 供試体 SF3904-001B |       |       | 供試体 SF3904-001C |       |       |
|                   |          | A(表)            | B(裏)  | 平均    | A(表)            | B(裏)  | 平均    | A(表)            | B(裏)  | 平均    |
| 93.16<br>(9.5)    | 1        | -4646           | -4832 | -4739 | -4487           | -4828 | -4658 | -4955           | -4381 | -4668 |
|                   | 2        | -4252           | -4616 | -4434 | -4224           | -4650 | -4437 | -3825           | -4571 | -4198 |
|                   | 3        | -4839           | -4702 | -4771 | -4713           | -4924 | -4819 | -4540           | -4546 | -4543 |
|                   | 4        | -4774           | -4831 | -4803 | -4778           | -4957 | -4868 | -4551           | -4670 | -4611 |
|                   | 5        | -4510           | -4518 | -4514 | -4501           | -4390 | -4446 | -4507           | -4494 | -4501 |
|                   | 6        | -4718           | -4625 | -4672 | -4856           | -4651 | -4754 | -4751           | -4699 | -4725 |
|                   | 7        | -4542           | -4470 | -4506 | -4617           | -4498 | -4558 | -4380           | -4627 | -4504 |
|                   | 8        | -4790           | -4749 | -4770 | -5034           | -4787 | -4911 | -5037           | -3156 | -4097 |
|                   | 9        | -5197           | -4381 | -4789 | -4921           | -4257 | -4589 | -5399           | -3800 | -4600 |
|                   | 10       | -4252           | -3553 | -3903 | -4877           | -4452 | -4665 | -3420           | —     | —     |
|                   | 11       | -5199           | -4852 | -5026 | -4475           | -4177 | -4326 | -5392           | -4138 | -4765 |
|                   | C 2      | 1222            | 1087  | 1155  | 1133            | 1096  | 1115  | 1234            | 1093  | 1164  |
|                   | C 5      | 1546            | 1551  | 1549  | 1538            | 1518  | 1528  | 1524            | 1596  | 1560  |
| 98.07<br>(10.0)   | C 6      | 1666            | 1628  | 1647  | 1685            | 1683  | 1684  | 1648            | 1745  | 1697  |
|                   | C 7      | 1658            | 1597  | 1628  | 1620            | 1597  | 1609  | 1506            | 1592  | 1549  |
|                   | C 10     | 667             | 518   | 593   | 1029            | 933   | 981   | 788             | 814   | 801   |
|                   | 1        | -4903           | -5092 | -4998 | -4728           | -5100 | -4914 | -5206           | -4668 | -4937 |
|                   | 2        | -4484           | -4870 | -4677 | -4440           | -4901 | -4671 | -4014           | -4819 | -4417 |
|                   | 3        | -5080           | -4963 | -5022 | -4957           | -5189 | -5073 | -4772           | -4810 | -4791 |
|                   | 4        | -5029           | -5097 | -5063 | -5026           | -5228 | -5127 | -4793           | -4930 | -4862 |
|                   | 5        | -4755           | -4767 | -4761 | -4738           | -4624 | -4681 | -4751           | -4738 | -4745 |
|                   | 6        | -4969           | -4874 | -4922 | -5103           | -4895 | -4999 | -4994           | -4949 | -4971 |
|                   | 7        | -4787           | -4710 | -4749 | -4852           | -4736 | -4794 | -4607           | -4879 | -4743 |
|                   | 8        | -5049           | -5019 | -5034 | -5287           | -5037 | -5162 | -5294           | -3124 | -4209 |
|                   | 9        | -5451           | -4644 | -5048 | -5174           | -4507 | -4841 | -5659           | -4059 | -4859 |
|                   | 10       | -4491           | -3794 | -4143 | -5108           | -4689 | -4899 | -3583           | —     | —     |
|                   | 11       | -5443           | -5111 | -5277 | -4728           | -4430 | -4579 | -5663           | -4394 | -5029 |
| 102.97<br>(10.5)  | C 2      | 1290            | 1146  | 1218  | 1196            | 1151  | 1174  | 1297            | 1149  | 1223  |
|                   | C 5      | 1633            | 1635  | 1634  | 1627            | 1602  | 1615  | 1616            | 1684  | 1650  |
|                   | C 6      | 1761            | 1717  | 1739  | 1778            | 1770  | 1774  | 1748            | 1834  | 1791  |
|                   | C 7      | 1749            | 1683  | 1716  | 1708            | 1682  | 1695  | 1593            | 1676  | 1635  |
|                   | C 10     | 728             | 565   | 647   | 1082            | 981   | 1032  | 839             | 864   | 852   |
|                   | 1        | -5169           | -5347 | -5258 | -4983           | -5393 | -5188 | -5468           | -4973 | -5221 |
|                   | 2        | -4722           | -5120 | -4921 | -4664           | -5164 | -4914 | -4208           | -5076 | -4642 |
|                   | 3        | -5323           | -5220 | -5272 | -5216           | -5474 | -5345 | -5013           | -5090 | -5052 |
|                   | 4        | -5282           | -5359 | -5321 | -5288           | -5515 | -5402 | -5042           | -5198 | -5120 |
|                   | 5        | -4999           | -5012 | -5006 | -4991           | -4868 | -4930 | -5004           | -4993 | -4999 |
|                   | 6        | -5220           | -5120 | -5170 | -5363           | -5148 | -5256 | -5245           | -5208 | -5226 |
|                   | 7        | -5033           | -4948 | -4991 | -5106           | -4987 | -5047 | -4846           | -5136 | -4991 |
|                   | 8        | -5306           | -5290 | -5298 | -5561           | -5307 | -5434 | -5561           | -3150 | -4356 |
|                   | 9        | -5707           | -4910 | -5309 | -5441           | -4773 | -5107 | -5941           | -4340 | -5141 |
|                   | 10       | -4731           | -4037 | -4384 | -5352           | -4946 | -5149 | -3756           | —     | —     |
|                   | 11       | -5684           | -5374 | -5529 | -5000           | -4705 | -4853 | -5958           | -4667 | -5313 |
|                   | C 2      | 1356            | 1204  | 1280  | 1261            | 1209  | 1235  | 1363            | 1206  | 1285  |
|                   | C 5      | 1719            | 1717  | 1718  | 1718            | 1687  | 1703  | 1715            | 1776  | 1746  |
|                   | C 6      | 1854            | 1803  | 1829  | 1875            | 1861  | 1868  | 1852            | 1929  | 1891  |
|                   | C 7      | 1839            | 1767  | 1803  | 1802            | 1773  | 1788  | 1690            | 1759  | 1725  |
|                   | C 10     | 789             | 611   | 700   | 1136            | 1034  | 1085  | 892             | 916   | 904   |

| 荷重<br>kN<br>(ton)  | 位置<br>番号 | ひ ず み 測 定 値 $\mu$ |       |       |                  |       |       |                  |       |       |
|--------------------|----------|-------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|
|                    |          | 供試体 SF3904-001 A  |       |       | 供試体 SF3904-001 B |       |       | 供試体 SF3904-001 C |       |       |
|                    |          | A(表)              | B(裏)  | 平 均   | A(表)             | B(裏)  | 平 均   | A(表)             | B(裏)  | 平 均   |
| 107. 87<br>(11. 0) | 1        | -5426             | -5610 | -5518 | -5235            | -5693 | -5464 | -5733            | -5285 | -5509 |
|                    | 2        | -4950             | -5371 | -5161 | -4881            | -5427 | -5154 | -4400            | -5329 | -4865 |
|                    | 3        | -5564             | -5481 | -5523 | -5476            | -5764 | -5620 | -5254            | -5372 | -5313 |
|                    | 4        | -5535             | -5620 | -5577 | -5546            | -5805 | -5676 | -5286            | -5469 | -5378 |
|                    | 5        | -5240             | -5254 | -5247 | -5241            | -5111 | -5176 | -5254            | -5247 | -5251 |
|                    | 6        | -5469             | -5360 | -5415 | -5622            | -5397 | -5510 | -5492            | -5466 | -5479 |
|                    | 7        | -5275             | -5181 | -5228 | -5358            | -5232 | -5295 | -5084            | -5391 | -5238 |
|                    | 8        | -5561             | -5563 | -5562 | -5840            | -5574 | -5707 | -5831            | -3205 | -4518 |
|                    | 9        | -5966             | -5175 | -5571 | -5708            | -5040 | -5374 | -6232            | -4624 | -5428 |
|                    | 10       | -4970             | -4277 | -4624 | -5590            | -5199 | -5395 | -3929            | —     | —     |
|                    | 11       | -5932             | -5645 | -5789 | -5272            | -4980 | -5126 | -6269            | -4942 | -5606 |
|                    | C 2      | 1426              | 1260  | 1343  | 1324             | 1264  | 1294  | 1427             | 1258  | 1343  |
|                    | C 5      | 1806              | 1797  | 1802  | 1807             | 1774  | 1791  | 1812             | 1865  | 1839  |
| 112. 78<br>(11. 5) | C 6      | 1947              | 1890  | 1919  | 1966             | 1952  | 1959  | 1956             | 2020  | 1988  |
|                    | C 7      | 1929              | 1852  | 1891  | 1892             | 1861  | 1877  | 1788             | 1840  | 1814  |
|                    | C 10     | 853               | 659   | 756   | 1185             | 1085  | 1135  | 943              | 967   | 955   |
|                    | 1        | -5722             | -5922 | -5822 | -5528            | -6060 | -5794 | -6024            | -5634 | -5829 |
|                    | 2        | -5206             | -5651 | -5429 | -5121            | -5732 | -5427 | -4606            | -5597 | -5102 |
|                    | 3        | -5834             | -5782 | -5808 | -5779            | -6118 | -5949 | -5514            | -5684 | -5599 |
|                    | 4        | -5827             | -5920 | -5873 | -5847            | -6155 | -6001 | -5551            | -5770 | -5661 |
|                    | 5        | -5514             | -5526 | -5520 | -5530            | -5391 | -5461 | -5523            | -5522 | -5523 |
|                    | 6        | -5758             | -5636 | -5697 | -5930            | -5684 | -5807 | -5759            | -5751 | -5755 |
|                    | 7        | -5552             | -5447 | -5500 | -5664            | -5514 | -5589 | -5342            | -5674 | -5508 |
|                    | 8        | -5862             | -5890 | -5876 | -6185            | -5898 | -6042 | -6135            | -3296 | -4716 |
|                    | 9        | -6268             | -5492 | -5880 | -6019            | -5359 | -5689 | -6559            | -4936 | -5748 |
|                    | 10       | -5236             | -4546 | -4891 | -5859            | -5495 | -5677 | -4115            | —     | —     |
|                    | 11       | -6221             | -5970 | -6096 | -5587            | -5308 | -5448 | -6629            | -5245 | -5937 |
| 117. 68<br>(12. 0) | C 2      | 1502              | 1314  | 1408  | 1397             | 1324  | 1361  | 1499             | 1312  | 1406  |
|                    | C 5      | 1900              | 1887  | 1894  | 1908             | 1874  | 1891  | 1919             | 1962  | 1941  |
|                    | C 6      | 2048              | 1989  | 2019  | 2070             | 2057  | 2064  | 2076             | 2121  | 2099  |
|                    | C 7      | 2027              | 1946  | 1987  | 1998             | 1962  | 1980  | 1898             | 1927  | 1913  |
|                    | C 10     | 920               | 707   | 814   | 1240             | 1144  | 1192  | 996              | 1023  | 1010  |
|                    | 1        | -6046             | -6273 | -6160 | -5823            | -6450 | -6137 | -6343            | -6033 | -6188 |
|                    | 2        | -5475             | -5944 | -5710 | -5342            | -6035 | -5689 | -4831            | -5891 | -5361 |
|                    | 3        | -6125             | -6116 | -6121 | -6086            | -6494 | -6290 | -5789            | -6033 | -5911 |
|                    | 4        | -6150             | -6246 | -6198 | -6154            | -6505 | -6330 | -5846            | -6112 | -5979 |
|                    | 5        | -5807             | -5809 | -5808 | -5814            | -5647 | -5731 | -5823            | -5825 | -5824 |
|                    | 6        | -6074             | -5922 | -5998 | -6246            | -5955 | -6100 | -6062            | -6064 | -6063 |
|                    | 7        | -5853             | -5728 | -5791 | -5962            | -5773 | -5868 | -5628            | -5991 | -5810 |
|                    | 8        | -6194             | -6259 | -6227 | -6537            | -6215 | -6376 | -6486            | -3420 | -4953 |
|                    | 9        | -6589             | -5829 | -6209 | -6321            | -5667 | -5994 | -6909            | -5264 | -6087 |
|                    | 10       | -5507             | -4814 | -5161 | -6108            | -5771 | -5940 | -4313            | —     | —     |
|                    | 11       | -6541             | -6339 | -6440 | -5898            | -5628 | -5763 | -7023            | -5572 | -6298 |
|                    | C 2      | 1585              | 1366  | 1476  | 1467             | 1380  | 1424  | 1570             | 1360  | 1465  |
|                    | C 5      | 2000              | 1980  | 1990  | 2002             | 1970  | 1986  | 2031             | 2063  | 2047  |
|                    | C 6      | 2158              | 2095  | 2127  | 2165             | 2161  | 2163  | 2206             | 2229  | 2218  |
|                    | C 7      | 2130              | 2047  | 2089  | 2097             | 2061  | 2079  | 2015             | 2018  | 2017  |
|                    | C 10     | 987               | 755   | 871   | 1293             | 1203  | 1248  | 1044             | 1076  | 1060  |

| 荷重<br>kN<br>(ton) | 位置<br>番号 | ひずみ測定値 $\mu$     |       |       |                  |       |       |                  |       |       |
|-------------------|----------|------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|
|                   |          | 供試体 SF3904-001 A |       |       | 供試体 SF3904-001 B |       |       | 供試体 SF3904-001 C |       |       |
|                   |          | A(表)             | B(裏)  | 平均    | A(表)             | B(裏)  | 平均    | A(表)             | B(裏)  | 平均    |
| 122.58<br>(12.5)  | 1        | -6482            | -6753 | -6618 | -6204            | -6955 | -6580 | -6756            | -6588 | -6672 |
|                   | 2        | -5814            | -6306 | -6060 | -5604            | -6411 | -6008 | -5118            | -6267 | -5693 |
|                   | 3        | -6500            | -6564 | -6532 | -6467            | -6983 | -6725 | -6131            | -6487 | -6309 |
|                   | 4        | -6591            | -6681 | -6636 | -6547            | -6965 | -6756 | -6240            | -6585 | -6413 |
|                   | 5        | -6202            | -6168 | -6185 | -6176            | -5967 | -6072 | -6222            | -6217 | -6220 |
|                   | 6        | -6501            | -6293 | -6397 | -6653            | -6295 | -6474 | -6463            | -6477 | -6470 |
|                   | 7        | -6257            | -6090 | -6174 | -6347            | -6095 | -6221 | -5999            | -6423 | -6211 |
|                   | 8        | -6646            | -6774 | -6710 | -7008            | -6630 | -6819 | -6967            | -3560 | -5264 |
|                   | 9        | -6999            | -6272 | -6636 | -6689            | -6075 | -6382 | -7347            | -5660 | -6504 |
|                   | 10       | -5834            | -5129 | -5482 | -6396            | -6125 | -6261 | -4547            | —     | —     |
|                   | 11       | -6958            | -6841 | -6900 | -6284            | -6065 | -6175 | -7537            | -5993 | -6765 |
|                   | C 2      | 1689             | 1422  | 1556  | 1556             | 1446  | 1501  | 1660             | 1417  | 1539  |
|                   | C 5      | 2124             | 2099  | 2112  | 2124             | 2094  | 2109  | 2179             | 2195  | 2187  |
| 127.49<br>(13.0)  | C 6      | 2290             | 2230  | 2260  | 2282             | 2303  | 2293  | 2377             | 2366  | 2372  |
|                   | C 7      | 2258             | 2177  | 2218  | 2218             | 2189  | 2204  | 2172             | 2135  | 2154  |
|                   | C 10     | 1060             | 811   | 936   | 1362             | 1275  | 1319  | 1098             | 1138  | 1118  |
|                   | 1        | -7057            | -7387 | -7222 | -6756            | -7696 | -7226 |                  |       |       |
|                   | 2        | -6230            | -6742 | -6486 | -5948            | -6936 | -6442 |                  |       |       |
|                   | 3        | -6967            | -7150 | -7059 | -7009            | -7703 | -7356 |                  |       |       |
|                   | 4        | -7186            | -7252 | -7219 | -7123            | -7644 | -7384 |                  |       |       |
|                   | 5        | —                | -6605 | —     | -6696            | -6415 | -6556 |                  |       |       |
|                   | 6        | -7074            | -6749 | -6912 | -7254            | -6793 | -7024 |                  |       |       |
|                   | 7        | -6787            | -6529 | -6658 | -6901            | -6570 | -6736 |                  |       |       |
|                   | 8        | -7234            | -7466 | -7350 | -7710            | -7276 | -7493 |                  |       |       |
|                   | 9        | -7499            | -6838 | -7169 | -7197            | -6685 | -6941 |                  |       |       |
|                   | 10       | -6212            | -5478 | -5845 | -6762            | -6598 | -6680 |                  |       |       |
|                   | 11       | -7449            | -7490 | -7470 | -6830            | -6703 | -6767 |                  |       |       |
| 132.39<br>(13.5)  | C 2      | 1816             | 1482  | 1649  | 1672             | 1522  | 1597  |                  |       |       |
|                   | C 5      | 2277             | 2246  | 2262  | 2278             | 2267  | 2273  |                  |       |       |
|                   | C 6      | 2444             | 2398  | 2421  | 2430             | 2508  | 2469  |                  |       |       |
|                   | C 7      | 2414             | 2335  | 2375  | 2377             | 2367  | 2372  |                  |       |       |
|                   | C 10     | 1134             | 870   | 1002  | 1453             | 1371  | 1412  |                  |       |       |
|                   | 1        | -7881            | -8304 | -8093 | -7482            | -8649 | -8066 |                  |       |       |
|                   | 2        | -6790            | -7303 | -7047 | -6365            | -7600 | -6983 |                  |       |       |
|                   | 3        | -7604            | -7980 | -7792 | -7714            | -8649 | -8182 |                  |       |       |
|                   | 4        | -8037            | -8071 | -8054 | -7893            | -8593 | -8243 |                  |       |       |
|                   | 5        | -7468            | -7202 | -7335 | -7386            | -6985 | -7186 |                  |       |       |
|                   | 6        | -7911            | -7353 | -7632 | -8086            | -7415 | -7751 |                  |       |       |
|                   | 7        | -7536            | -7092 | -7314 | -7615            | -7149 | -7382 |                  |       |       |
|                   | 8        | -8052            | -8467 | -8260 | -8665            | -8106 | -8386 |                  |       |       |
|                   | 9        | -8165            | -7631 | -7898 | -7849            | -7491 | -7670 |                  |       |       |
|                   | 10       | -6687            | -5947 | -6317 | -7186            | -7173 | -7180 |                  |       |       |
|                   | 11       | -8135            | -8442 | -8289 | -7517            | -7576 | -7547 |                  |       |       |
|                   | C 2      | 2017             | 1567  | 1792  | 1811             | 1613  | 1712  |                  |       |       |
|                   | C 5      | 2493             | 2498  | 2496  | 2470             | 2492  | 2481  |                  |       |       |
|                   | C 6      | 2666             | 2674  | 2670  | 2607             | 2785  | 2696  |                  |       |       |
|                   | C 7      | 2640             | 2591  | 2616  | 2587             | 2605  | 2596  |                  |       |       |
|                   | C 10     | 1246             | 955   | 1101  | 1566             | 1489  | 1528  |                  |       |       |

| 荷重<br>kN<br>(ton) | 位置<br>番号 | ひずみ測定値 $\mu$     |        |        |                  |        |        |                  |      |    |
|-------------------|----------|------------------|--------|--------|------------------|--------|--------|------------------|------|----|
|                   |          | 供試体 SF3904-001 A |        |        | 供試体 SF3904-001 B |        |        | 供試体 SF3904-001 C |      |    |
|                   |          | A(表)             | B(裏)   | 平均     | A(表)             | B(裏)   | 平均     | A(表)             | B(裏) | 平均 |
| 137.29<br>(14.0)  | 1        | -9083            | -9649  | -9366  | -8548            | -10014 | -9281  |                  |      |    |
|                   | 2        | -7585            | -8085  | -7835  | -6915            | -8513  | -7714  |                  |      |    |
|                   | 3        | -8546            | -9223  | -8885  | -8742            | -10007 | -9375  |                  |      |    |
|                   | 4        | -9285            | -9369  | -9327  | -7787            | -10012 | -8900  |                  |      |    |
|                   | 5        | -8559            | -8100  | -8330  | -8388            | -7728  | -8058  |                  |      |    |
|                   | 6        | -9246            | -8262  | -8754  | -9364            | -8255  | -8809  |                  |      |    |
|                   | 7        | -8266            | -7941  | -8104  | -8635            | -7925  | -8280  |                  |      |    |
|                   | 8        | -9264            | -10015 | -9640  | -10027           | -9237  | -9632  |                  |      |    |
|                   | 9        | -9125            | -8782  | -8954  | -8767            | -8685  | -8726  |                  |      |    |
|                   | 10       | -7337            | -6556  | -6947  | -7695            | -7958  | -7827  |                  |      |    |
|                   | 11       | -9066            | -9740  | -9403  | -8454            | -8877  | -8666  |                  |      |    |
|                   | C 2      | 2289             | 1671   | 1980   | 2009             | 1741   | 1875   |                  |      |    |
| 142.20<br>(14.5)  | C 5      | 2776             | 2836   | 2806   | 2722             | 2819   | 2771   |                  |      |    |
|                   | C 6      | 2947             | 3058   | 3003   | 2823             | 3214   | 3019   |                  |      |    |
|                   | C 7      | 2909             | 2933   | 2921   | 2843             | 2954   | 2899   |                  |      |    |
|                   | C 10     | 1391             | 1063   | 1227   | 1728             | 1656   | 1692   |                  |      |    |
|                   | 1        | -10939           | -11727 | -11333 | -10209           | -12354 | -11282 |                  |      |    |
|                   | 2        | -8751            | -9260  | -9006  | -7449            | -9871  | -8660  |                  |      |    |
|                   | 3        | -10076           | -11207 | -10642 | -10321           | -12312 | -11317 |                  |      |    |
|                   | 4        | -11032           | -11387 | -11209 | —                | -12480 | —      |                  |      |    |
|                   | 5        | -10298           | -9149  | -9724  | -10059           | -8671  | -9365  |                  |      |    |
|                   | 6        | -11630           | -9325  | -10478 | -11834           | -9373  | -10603 |                  |      |    |
|                   | 7        | —                | -8960  | —      | -10333           | -8947  | -9640  |                  |      |    |
|                   | 8        | -10927           | -12327 | -11627 | -12189           | -10954 | -11572 |                  |      |    |
|                   | 9        | -10575           | -10396 | -10486 | -10157           | -10584 | -10371 |                  |      |    |
| 147.10<br>(15.0)  | 10       | -8264            | -7461  | -7863  | -8232            | -9244  | -8738  |                  |      |    |
|                   | 11       | -10479           | -11677 | -11078 | -9962            | -10884 | -10423 |                  |      |    |
|                   | C 2      | 2716             | 1828   | 2272   | 2227             | 1781   | 2004   |                  |      |    |
|                   | C 5      | 3118             | 3344   | 3231   | 3046             | 3261   | 3154   |                  |      |    |
|                   | C 6      | 3253             | 3671   | 3462   | 3017             | 3907   | 3462   |                  |      |    |
|                   | C 7      | 1438             | 3441   | 2440   | 3175             | 3587   | 3381   |                  |      |    |
|                   | C 10     | 1630             | 1217   | 1424   | 1929             | 1743   | 1836   |                  |      |    |
|                   | 1        | -13305           | -14475 | -13890 |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | 2        | -9788            | -10512 | -10150 |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | 3        | -12083           | -13852 | -12968 |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | 4        | -10426           | -14331 | -12379 |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | 5        | -12930           | -9867  | -11399 |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | 6        | —                | -10106 | —      |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | 7        | —                | -9723  | —      |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | 8        | -12419           | -15753 | -14086 |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | 9        | -8531            | -12511 | -10521 |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | 10       | -9004            | -8493  | -8749  |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | 11       | -12041           | -14177 | -13109 |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | C 2      | 3268             | 2089   | 2679   |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | C 5      | 3160             | 4028   | 3594   |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | C 6      | —                | 4736   | —      |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | C 7      | —                | 3967   | —      |                  |        |        |                  |      |    |
|                   | C 10     | 1913             | 1419   | 1666   |                  |        |        |                  |      |    |

---

## 航空宇宙技術研究所資料563号

昭和62年1月発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺東町7-44-1  
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表) ㊎182

印刷所 株式会社 共 進  
東京都杉並区久我山5-6-17

---



