

CFRPモノコックパネルの開発

立石 寧俊 杉崎 健一 兼光 知巳
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

Development of Monocoque Panel with CFRP

by Yasutoshi Tateishi, Kenichi Sugizaki and Tomomi Kanemitsu

Abstract

We have developed a 'CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics) monocoque panel' with Toray Industries Inc. The panel is intended for use as a building material for roofs, walls, floors, etc. The product is a sandwich panel structure, which can be formed in one piece and can be shaped freely into the necessary form. The process is called VaRTM(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding Method). The panel can be made at a site and can be formed into one large piece of approximately 2,000 m². In addition, the product performs well from the point of view of strength, specific stiffness, waterproofness, heat insulation, corrosion resistance, etc. We conducted a study of the applications of the panel for one directional roof. We carried out experiments on test pieces, panel elements and the actual half size version and compared with FEM analysis. Based on the above, we have got a prospect of practical use.

概 要

著者らはCFRP(炭素繊維強化プラスチック)を主体とした構造用成形品「CFRPモノコックパネル」を東レ(株)と共同開発した。これはサンドイッチ版構造であり、屋根や壁など建築構造材としての利用が考えられる。部材全体はVaRTM法により一体成形され、自由曲面の成形が可能である。本成形法では2000m²程度の大規模一体成形や工場以外の現場成形も可能である。また、軽量・高強度であること耐水性、断熱性、耐候性に優れるなど種々の特長を持っている。今回建築屋根への適用を想定して、各種構造実験により同パネルの構造特性を把握し、実用化へのめどをつけた。

§ 1. はじめに

著者らはCFRP(炭素繊維強化プラスチック)を主体とした構造用成形品「CFRPモノコックパネル」を東レ(株)と共同開発した。

CFRPモノコックパネルは、いわゆるサンドイッチ版¹⁾である。表層部を剛性の高いCFRP(炭素繊維強化プラスチック)製板とし、内部は表層板どうしを繋ぐGFRP(ガラス繊維強化プラスチック)製リブとフェノール発泡材コアで充填されている(図-1)。

版を構成するそれらの構成材料は、VaRTM法(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding Method)により一体成形される。本成形法により、曲面形状や2000m²程度の大規模一体成形や工場以外での現場成形が可能である。

CFRPモノコックパネルの特長は、上記の成形法の他に、軽量・高強度であること、耐水性、耐候性、耐食性に優れる、断熱性、遮音性に優れる、フェノール樹脂採用により火災時に有毒ガスを発生しない、軽量性ととも

に簡易ジョイント工法の開発で工期短縮が可能となることなどが挙げられる。

この度、建築屋根への適用を想定して各種構造実験を行なった。パネルを構成する構成材の材料試験の他、それらを一体成形したサンドイッチ版としての構造性能を確認する版の要素試験及び実大断面での曲げ実験を行なった。FEM解析との比較や想定される破壊モード、耐力を確認し、実用化へのめどをつけた。

§ 2. CFRPモノコックパネルの構成

2.1 CFRPモノコックパネルの構成

成形後のCFRPモノコックパネルの構成例を、図-1に示す。スキン層と呼ぶ板厚約4mmのCFRP板を最外部に配置し、それら板間どうしは、板厚2.2mmのチャンネル型のGFRP製リブ材で繋がれている。

その他空洞部をフェノールのコア材で充填し、全体でいわゆるサンドイッチ構造としている。

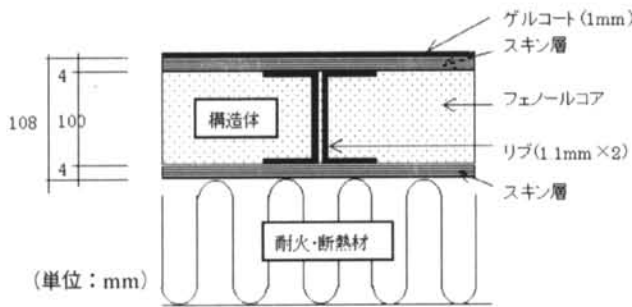


図-1 CFRPモノコックパネルの断面図例

本論文では、上記構造の一体成形されたCFRPモノコックパネルを版と呼び、版を構成するスキン層、リブ材、フェノールコア材を版構成材と呼ぶことにする。

版構成材の力学的な役割は、スキン層が主に、面内の引張、圧縮、せん断力および面外の曲げモーメントに抵抗するのに対し、リブおよびコア材は面外のせん断力に抵抗する。面外曲げ外力に十分抵抗させるためには、スキン層とリブの一体化が重要となる。

2.2 スキン層およびリブ材積層構成

スキン層およびリブ材の積層構成を、体積比で表-1に示す。スキン層は、基材をフェノール樹脂とし、補強材には炭素繊維およびガラス繊維を主応力方向(0°, 90°)に用いている。リブ材は、基材をフェノール樹脂とし、補強材にはガラス繊維を主応力方向(±45°)に配置して面外せん断力に抵抗する。

版構成材		スキン層	リブ
版構成材の成分			
材料	繊維方向		
炭素繊維 (CF)	0°	5	0
	90°	5	0
	±45°	0	0
ガラス繊維 (GF)	0°	20	17
	90°	20	0
	±45°	0	33
フェノール樹脂	—	50	50

(単位: 体積比%)

表-1 版構成材の積層構成

§ 3. CFRPモノコックパネル構成材の材料特性

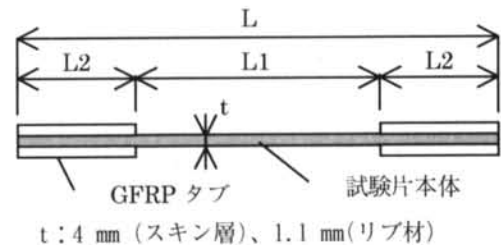
版構成材の主要部分であるスキン層とリブについて、縦弾性係数、引張および圧縮強度、せん断弾性係数、せん断強度およびスキン層の支圧強度を実験により確認した。

試験体は版の成形法と同様にVaRIM法で作成したものである。スキン層の引張試験については比較のため、一体成形されたサンドイッチ版から切り出した試験片(切り出し試験片と呼ぶ)も試験した。

3.1 スキン層およびリブの弾性係数および強度

3.1.1 試験体

試験体の形状を図-2に示す。



上記試験片の寸法(単位:mm)

試験項目*	寸法	L	L1	L2
0°/90° 引張		250	120	65
±45° 引張		78	8	35
0°/90° 圧縮		250	150	50

*1: 角度は、加力軸線に対する繊維の方向を表わす

図-2 スキン層およびリブ材料試験の試験片形状

3.1.2 試験方法

JISの炭素繊維強化プラスチックの各材料試験方法(JIS K 7073, JIS K 7076, JIS K 7079)に準じて、引張弾性係数、引張強度、圧縮弾性係数、圧縮強度、面内せん断係数、面内せん断強度を測定した。

試験片タブを油圧チャックで挟み、引張又は圧縮荷重を加えて試験した。

ひずみは、試験体の裏表に貼ったひずみゲージの平均値とし、弾性係数は、ひずみとロードセルの値から求めた。

3.1.3 試験結果

試験結果を表-2に示す。今回使用したスキン層の材料は、縦弾性係数は約30GPaであり、コンクリートの約1.5倍、引張強度は437GPaで、軟鋼(392)~硬鋼(490)の間にある。

スキン層の引張試験では、切り出し試験は、直成形試験片よりよりも、弾性係数で7%、強度で13%

程度低下した。これは、切り出したことによる炭素繊維の連続性や母材（フェノール）の乱れが原因と思われる。安全を見て、構造設計時には切り出し試験片の値を採用している。

試験項目* 1</th <th>単位</th> <th>スキン層 1*2</th> <th>スキン層 2*3</th> <th>リブ材</th>		単位	スキン層 1*2	スキン層 2*3	リブ材
0° / 90° 引張	弾性係数	GPa (kgf/mm ²)	30.6 (3124)	28.6 (2920)	20.4 (2083)
	強度	MPa (kgf/mm ²)	437 (44.6)	380 (38.7)	340 (34.7)
±45° 引張	面内せん断係数	GPa (kgf/mm ²)	4.9 (500)	—	8.9 (907)
	強度	MPa (kgf/mm ²)	47 (4.8)	—	120 (12.2)
0° / 90° 圧縮	弾性係数	GPa (kgf/mm ²)	29.5 (3004)	—	24.5 (2494)
	強度	MPa (kgf/mm ²)	374 (38.1)	—	355 (36.2)

- *1：角度は、加力軸線に対する繊維の方向を表わす
- *2：単体成形による試験片
- *3：サトイッチ版から切り出した試験片（切り出し試験）

表一 2 スキン層およびリブ材の材料特性

3.2 スキン層の支圧強度

3.2.1 試験体

試験体の形状を図一 3 に示す。

ボルトの配列が耐力に与える影響を調べるため、2本のボルトを荷重線に対し縦横 2 通りの配置とした試験体も実験した。ボルトは M16、M22 の普通ボルト (SS400) を用いた。

3.2.2 試験方法

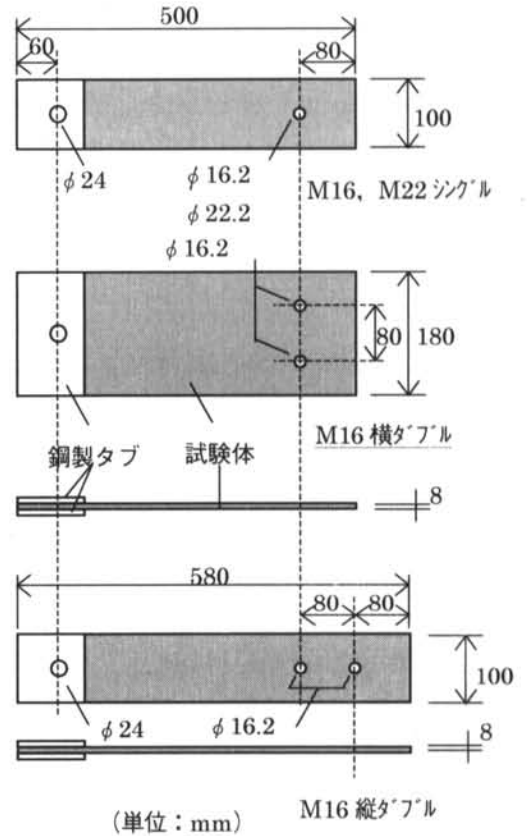
JIS の炭素繊維強化プラスチックの面圧強さ試験方法 (JIS K 7080) に準じ行なった。試験体を専用治具に設置し、引張試験機で引張荷重をかけた。

3.2.3 試験結果および考察

- 1) 支圧試験の試験結果を表一 3 に示す。支圧強度は最大荷重を用い、表に示した式で計算した。
- 2) 代表的な荷重 P と変形 δ の関係 (P- δ 曲線) を図一 4 に示す。変形 δ はクロスヘッド間の距離であり、荷重 P はロードセルの値である。

荷重と変形の関係は 4 種類いずれの試験片でも、荷重の最大値 (P_{max}) まで線形的であり、P_{max} 通過後はやや荷重を落として靱性的に推移した。これはスキン層が靱性に富むガラス繊維を多く含む (表一 1) ためと考えられる。

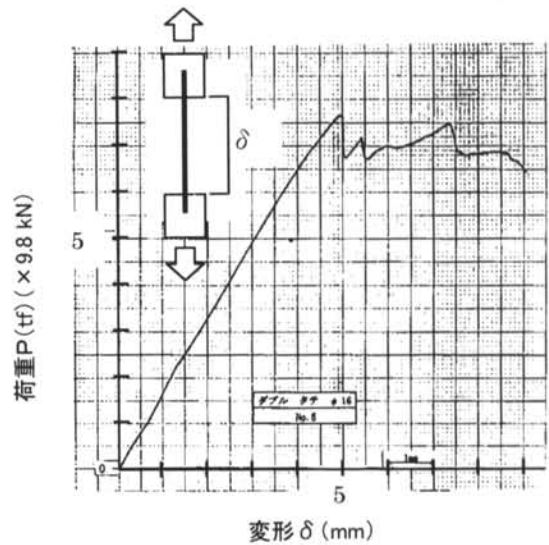
- 3) ボルト 2 本の場合の最大荷重は、縦横の配列に係わらず、ボルト 1 本の場合の約 2 倍あることが確認された。これはスキン層がガラス繊維を多く含むため、等方性性状に近い挙動になった



試験片の種類

M16 シングル	M22 シングル	M16 横タブ	M16 縦タブ
-------------	-------------	------------	------------

図一 3 スキン層支圧試験の試験片形状と種類



図一 4 スキン層支圧試験の P- δ 曲線

ためと考えられる。

§ 4. CFRP モノコックパネルの構造特性

ここでは CFRP モノコックパネルの一体成形された版としての構造性能を確認する。平面形状の版要素に対し、圧縮実験、面外の曲げおよびせん断実験、面内せん断実験を行った。

4.1 圧縮特性

4.1.1 試験体

試験体の形状を図-5に示す。リブは要素端部に荷重線に対し平行に配置され、中央部に在るものとの無いものの2種類を準備した。

4.1.2 実験方法

200tf アムスラー型試験機にて、圧縮荷重をかけた。

4.1.3 実験結果

1) スキン層の応力度-ひずみの挙動

図-6に、要素圧縮試験のスキン層応力度-ひずみ曲線を示す。グラフの中で、スキン層の応力度は荷重値をスキン層とリブの EA (E:縦弾性係数、A:断面積) の比で分けた値とし、ひずみは試験体中央

試験項目		単位	平均値
M16 シングル	最大荷重	kN (kgf)	38.7 (394)
	支圧強度*1	MPa (kgf/mm ²)	313.8 (32.0)
M22 シングル	最大荷重	kN (kgf)	51.2 (5218)
	支圧強度	MPa (kgf/mm ²)	301.1 (30.7)
M16 横ダブル	最大荷重	kN (kgf)	83.2 (8486)
	支圧強度	MPa (kgf/mm ²)	332.4 (33.9)
M16 縦ダブル	最大荷重	kN (kgf)	760.6 (7756)
	支圧強度	MPa (kgf/mm ²)	309.9 (31.6)

*1: 支圧強度の計算式

$$\text{支圧強度 } \sigma_{cr} = P_{\max} / A \cdot N$$

ここに

最大荷重 : P_{\max}

有効支圧面積 : $A = t \cdot d$

t = 各試験体の板厚

d = ボルト径 (16mm or 22mm)

ボルト本数 : N

表-3 スキン層支圧試験の試験結果

部の両面のひずみゲージの値およびその平均値を示した。

2) スキン層の座屈応力度

図-7にスキン層の座屈応力度を示す。座屈応力度は、応力度-ひずみ曲線で最初に荷重が低下する値とした。図-7より、スキン層の座屈応力度平均値は、リブピッチ 450mm の試験体では 82.4MPa (8.4 kgf/mm²)、リブピッチ 225mm の試験体で

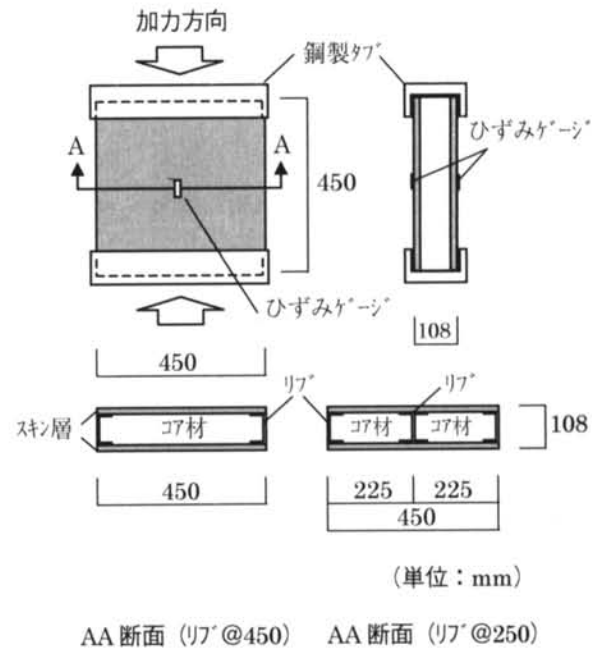


図-5 要素圧縮試験の試験体形状

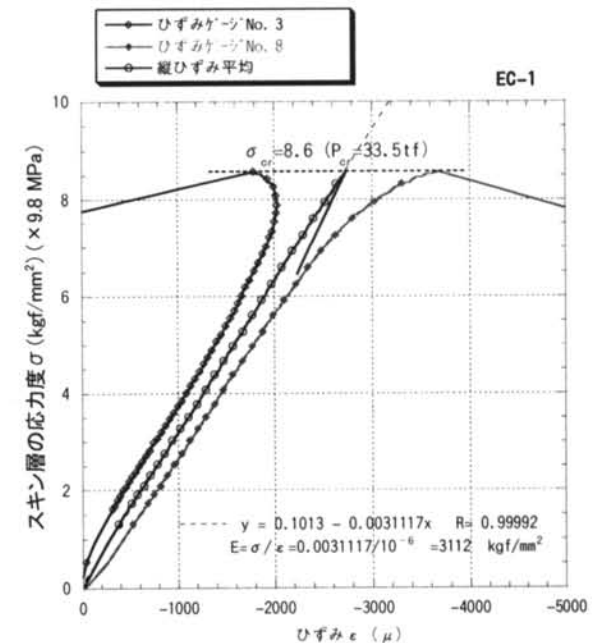


図-6 スキン層応力度-ひずみ曲線 (リブ@450)

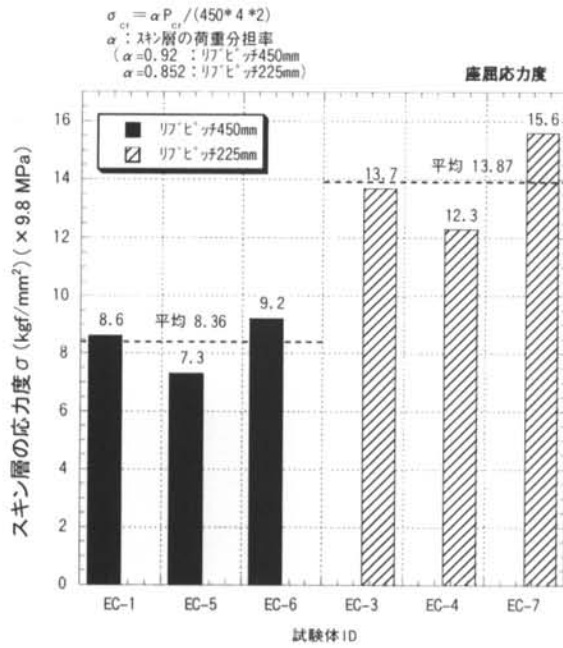


図-7 スキン層の産屈応力度

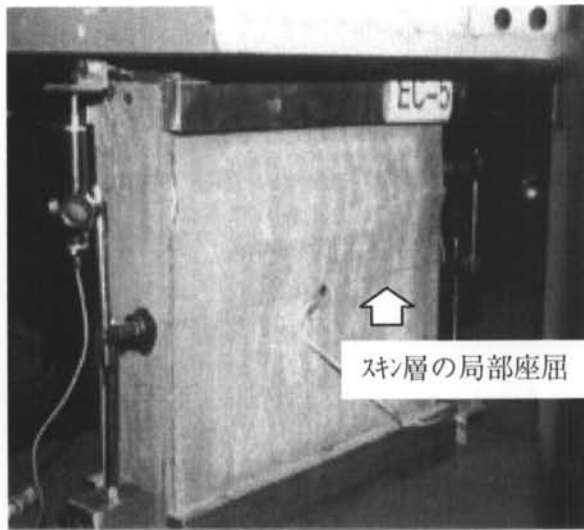


写真-1 圧縮試験体の破壊状況 (リブ@450)

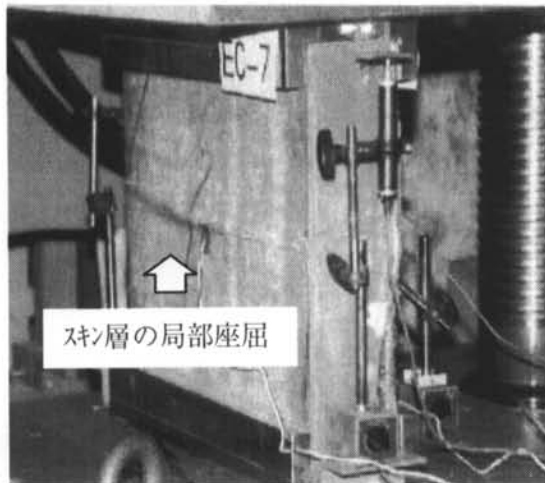


写真-2 圧縮試験体の破壊状況 (リブ@225)

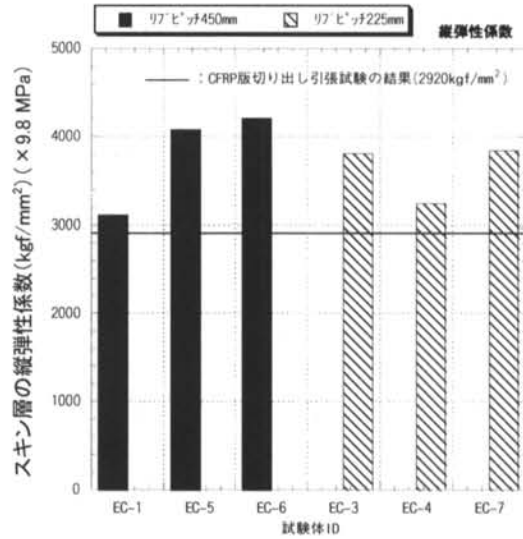


図-8 スキン層の縦弾性係数

は 136.3MPa (13.9 kgf/mm²) であり、リブピッチ 225mm の試験体は、リブピッチ 450mm より 1.7 倍ほど大きい値を示した。

3) 破壊の状況

産屈時の試験体の破壊状況を写真-1、2 に示す。主な破壊様式はスキン層の局部産屈である。

産屈波長はリブピッチ 450mm と比較して、リブピッチ 225mm の短いことが観察された。

4) スキン層の縦弾性係数

図-8 に、各試験体のスキン層の縦弾性係数を示す。スキン層の縦弾性係数の計算は、スキン層応力度-ひずみ曲線から回帰直線を描き、その勾配から求めた。縦弾性係数の値は、テストピース試験、切り出し試験の結果(表-2)と同等以上と確認された。また、リブピッチによる相違は見られなかった。

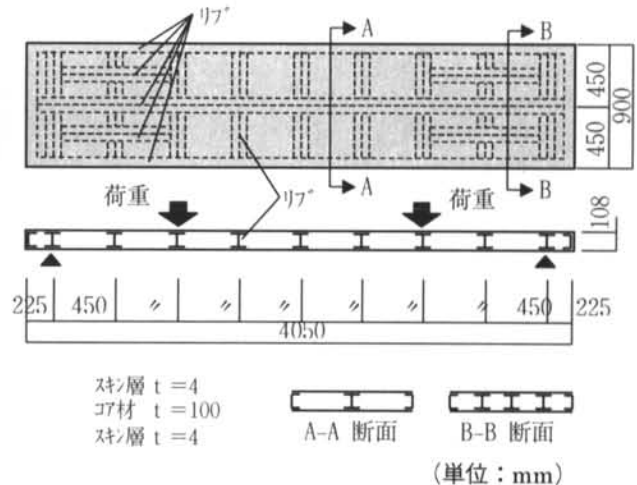


図-9 要素面外特性試験の試験体の形状

4.2 面外の曲げおよび面外せん断特性

4.2.1 試験体

試験体の形状を図-9に示す。リブは格子状に450mmピッチを基本とし、スパン方向両端では短辺方向に225mmピッチとした。

4.2.2 実験方法

写真-3に示すように4点曲げ試験を行った。支承部は単純支持とした。

4.2.3 実験結果および考察

1) 試験体の荷重-変形曲線

図-10に、試験体の荷重-変形曲線を示す。荷重Pは2本のアクチュエーターの平均荷重値、変位 δ は加力線上の鉛直変位である。破壊荷重に至るまで、線形関係を保ち、スパン中央部の圧縮側スキン層の局部座屈で崩壊した。

2) スキン層の座屈応力度

図-11に、圧縮側スキン層の最大応力度を示す。最大圧縮応力度の計算は、ひずみゲージから得られた ϵ とCFRP版切り出し試験片の引張試験から得られた縦弾性係数28.6GPa(2920kgf/mm²)から、式 $\sigma = E\epsilon$ より求めた。図-11から圧縮側スキン

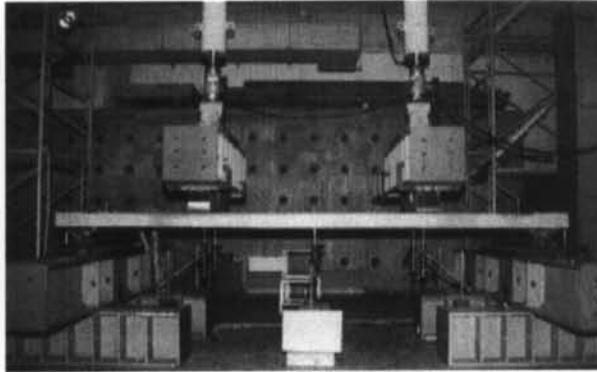


写真-3 要素面外特性試験の実施状況

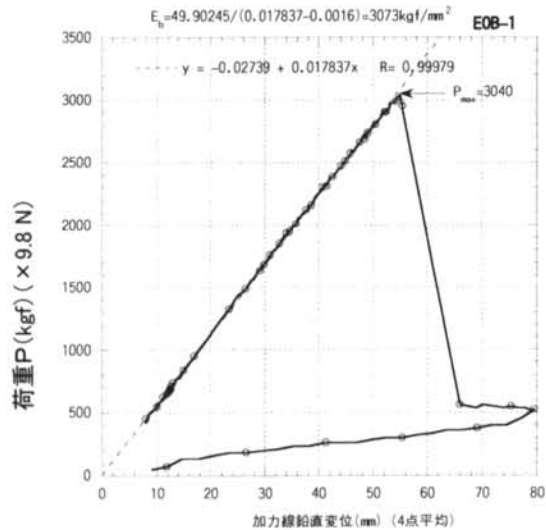


図-10 要素面外特性試験の荷重-変形曲線

層の局部座屈荷重は、要素圧縮試験で得られたリブピッチ450mmの平均座屈応力度(8.36kgf/mm²)付近で、発生していることが分かる。

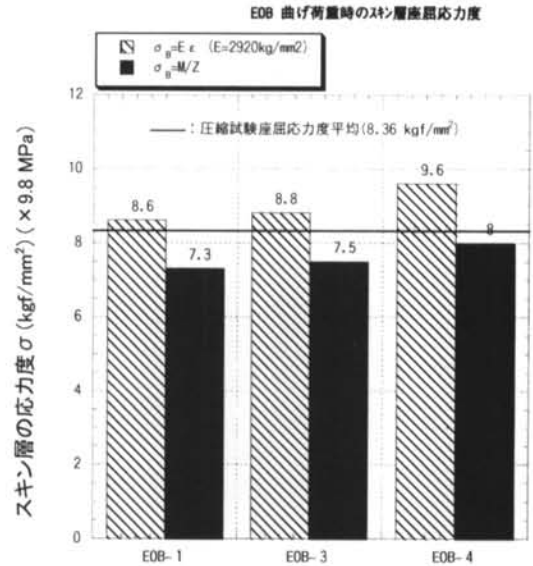


図-11 要素面外特性試験の圧縮側スキン層の最大応力度

3) 破壊の状況

試験体の破壊状況を写真-4, 5に示す。

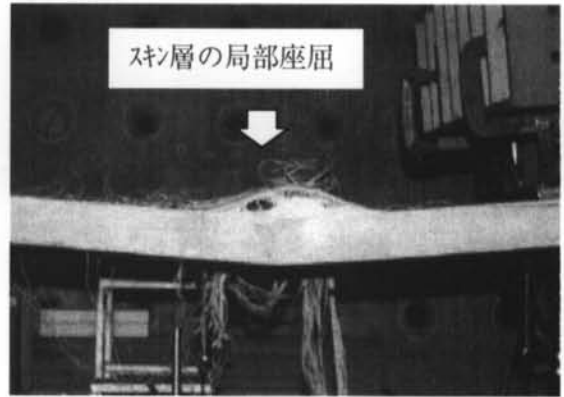


写真-4 要素面外曲げ試験体の破壊状況

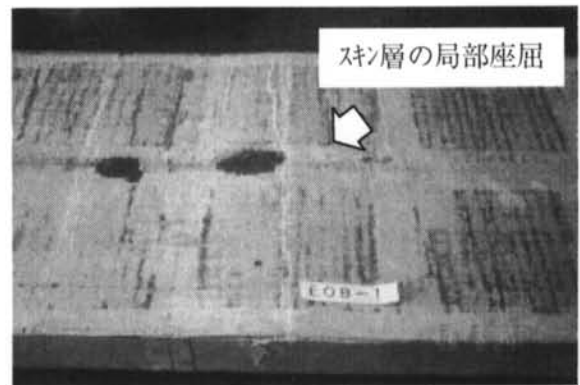


写真-5 要素面外曲げ試験体の破壊状況

主な破壊様式は圧縮側スキン層の局部座屈にある。

4) スキン層の曲げ弾性係数²⁾

スキン層の曲げ弾性係数は以下の計算から求めることができる。

[スキン層曲げ弾性係数の計算³⁾

図-12のような梁を考えた場合、B点の変位 δ_B は、曲げモーメントによるたわみ δ_M と、せん断力によるたわみ δ_S の和で表わすことができる。

$$\delta_B = \delta_M + \delta_S \quad (1)$$

ここで、それぞれの変位は、

$$\delta_B = B \text{ 点の鉛直変位 (計測値)} \quad (2)$$

$$\delta_M = P (3L - 4a) a^2 / (6 E_b I) \quad (3)$$

ここに、

P: 荷重 (計測値)

a: 距離 AB (900 mm)

L: 試験体の支点間距離 (AD) (3600 mm)

E_b : スキン層の曲げ弾性係数

I: スキン層だけを考えた時の断面2次モーメント
($1947.8 \times 10^4 \text{ mm}^4$)

$$\delta_S = (3/2) \cdot (Q/A) \cdot (1/G_r) \cdot a \quad (4)$$

ここに、

Q: せん断力 (= P) (kgf)

A: リブの合計断面積 ($1.1 \times 100 \times 8 \text{ mm}^2$)

G_r : リブのせん断弾性係数 (907 kgf/mm^2)

式(1)~式(4)を連立させて E_b について解けばよい。本試験では、次式のようにまとめられる。

$$E_b = 49.9025 / \{ (\delta_B/P) - 0.00169 \} \quad (5)$$

(単位: kgf/mm^2 , mm, kgf)

ここで δ_B/P はP- δ 曲線の初期回帰直線から得た値を用いる。

図-13に、式(5)からもとめた各試験体のスキン層曲げ弾性係数を示す。要素曲げ実験から求めたスキン層曲げ弾性係数は、表-2のスキン層の縦弾性係数と良く一致することが分かる。

5) 面外せん断剛性の計算

試験体にせん断力が発生する支承部-荷重線間(図-12 AB間)の面外せん断剛性を計算値と実験値で比較する。

[面外せん断剛性の計算値 U_d : U_d]

版のせん断剛性Uは、コア材のせん断弾性係数(0.8 kgf/mm^2)がリブのせん断弾性係数(907 kgf/mm^2)と比較して極めて小さいので、計算上コア材を無視して考えれば、

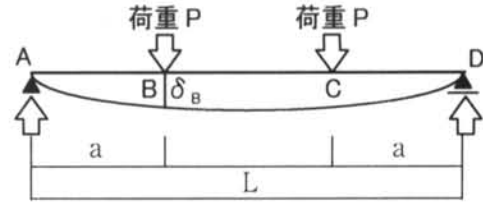
$$U_d = G_r A \quad (6)$$

$$= 798160 \text{ kgf}$$

ここに、

G_r : リブのせん断弾性係数 (907 kgf/mm^2)

A: リブの合計断面積 ($1.1 \times 100 \times 8 \text{ mm}^2$)



曲げ剛性 $E_b \cdot I$

AB間のせん断剛性 $G_r \cdot A$

図-12 面外の曲げおよびせん断試験の梁モデル

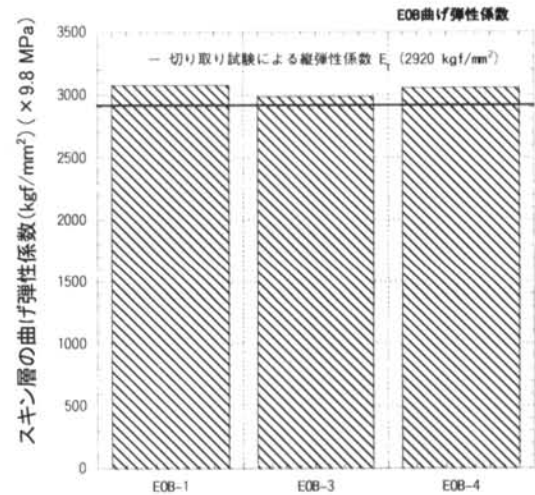


図-13 スキン層の曲げ弾性係数

[面外せん断剛性の実験値: U_c]

式(4)で $G_r A = U$ とおけば、

$$U_c = (3/2) \cdot (Q/\delta_S) \cdot a \quad (7)$$

ここで、式(1)より

$$\delta_S = \delta_B - \delta_M \quad (8)$$

式(8)を式(7)に代入し、式(3)を用いて整理すれば、

$$U_c = \frac{3}{2} \cdot \frac{a}{\delta_B/P - \frac{3L-4a}{6EI} \cdot a^2} \quad (9)$$

ここで δ_B/P はP- δ 曲線の初期回帰直線から得た値を用いる。

図-14に、各試験体の U_c/U_d を示す。実験から得た面外せん断剛性は、計算上の値より大きくなった。これは主に式(3)でリブの断面2次モーメントが無視されていることおよび式(4)、式(6)でコア材のせん断力の分担が無視されていることに起因すると考えられる。

4.3 面内せん断特性

4.3.1 試験体

試験体の形状を図-15に示す。リブは450mmピッチである。

4.3.2 実験方法

写真-6 に示すように3点曲げ試験を行う。

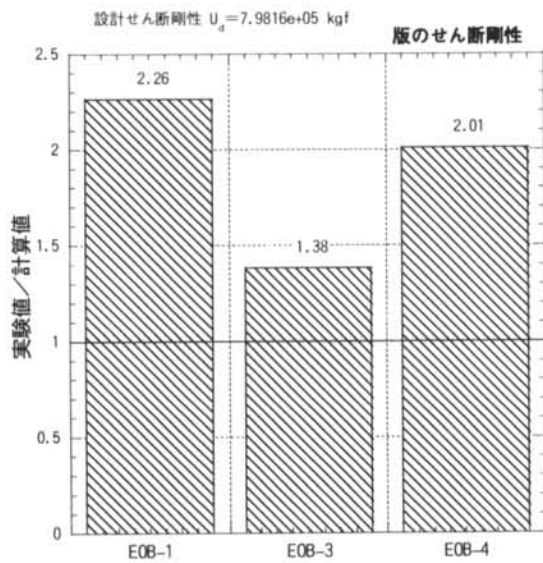


図-14 面外せん断剛性の実験値と計算値の比較

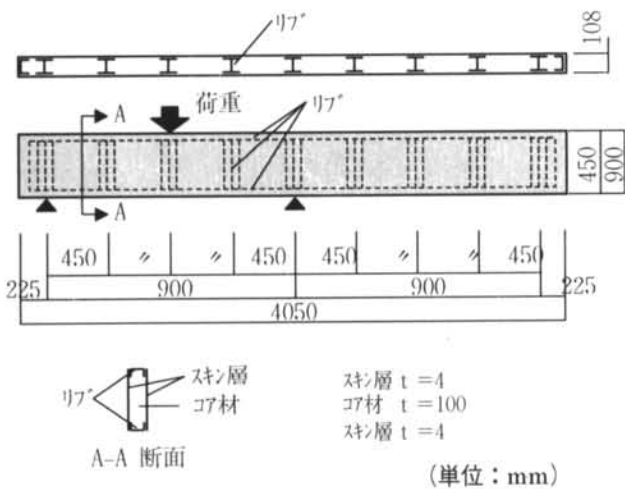


図-15 要素面内せん断試験の試験体の形状

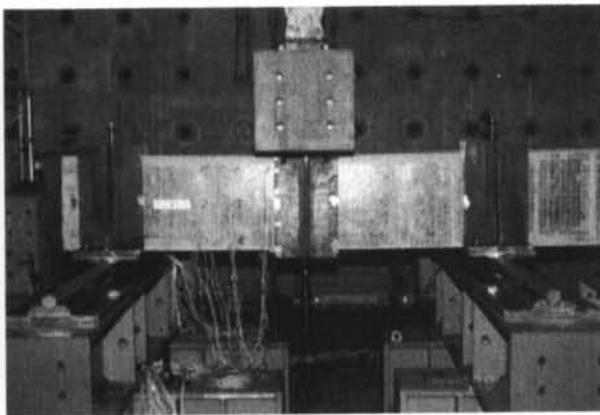


写真-6 要素面内せん断試験の実施状況

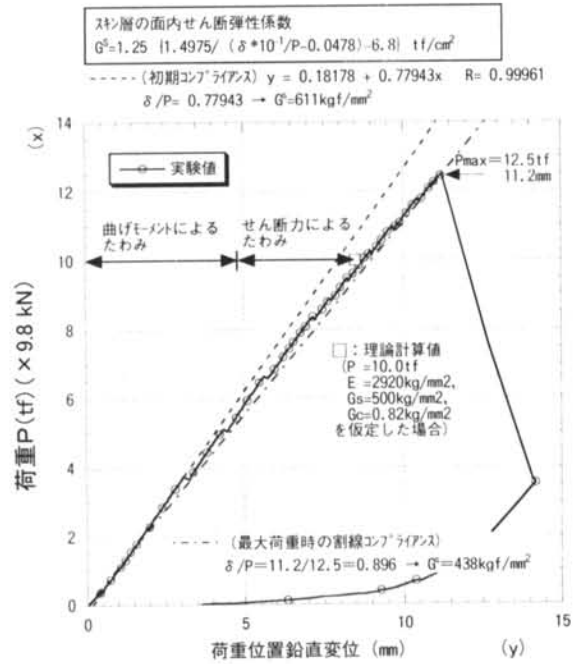


図-16 要素面内せん断試験の荷重-変形曲線

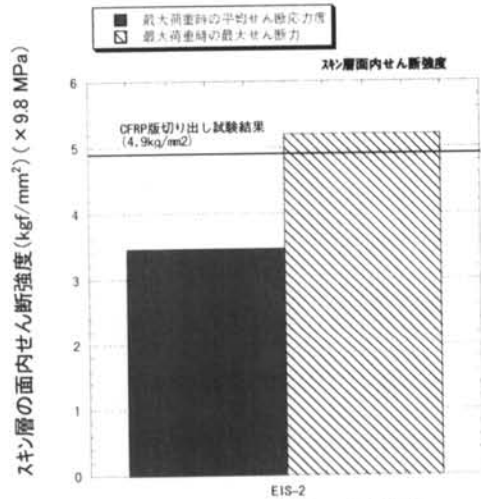


図-17 スキン層の面内せん断強度

4.3.3 実験結果

1) 試験体の荷重-変形曲線

図-16 に、試験体の荷重-変形曲線を示す。 δ は加力線上の試験体下部の鉛直変位である。スキン層の面内せん断破壊で耐力が決まった。

2) スキン層の面内せん断強度

図-17 に、面内せん断強度を示す。面内せん断強度は、スキン層が全てのせん断力を負担したとして次式³⁾より求めた。

$$\tau_{\text{mean}} = (3/2) \tau_{\text{max}} \quad (10)$$

$$= (3/2) Q_{\text{max}} / A_s \quad (11)$$

ここに、

τ_{mean} : スキン層面内せん断応力度の平均値

Q_{max} : 最大荷重

A_s : スキン層の総断面積

図-17から実験で得られた最大荷重時のスキン層の面内せん断強度は、表-2の結果と良く一致することが分かる。

3) 破壊の状況

試験体の破壊状況を写真-7に示す。

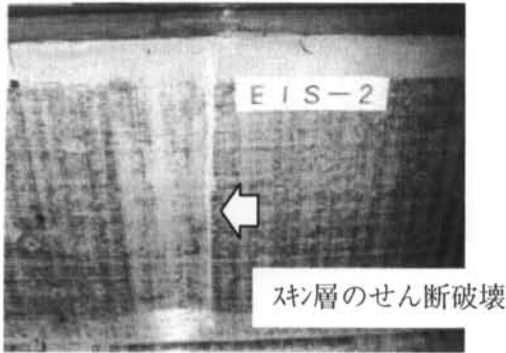


写真-7 要素面外曲げ試験体の破壊状況

主な破壊様式は、スキン層のせん断破壊である。

4) スキン層の面内せん断弾性係数

スキン層の面内せん断弾性係数は以下の計算から求めることができる。

[スキン層面内せん断弾性係数の計算³⁾]

図-18のような梁を考えた場合、B点の変位 δ_B は、曲げモーメントによるたわみ δ_M と、せん断力によるたわみ δ_S の和で表わすことができる。

$$\delta_B = \delta_M + \delta_S \quad (12)$$

ここで、それぞれの変位は、

$$\delta_B = \text{B点の鉛直変位 (計測値)} \quad (13)$$

$$\delta_M = PL^3 / (48 E_s I) \quad (14)$$

ここに、

P: 荷重 (計測値)

L: 試験体の支点間距離 (AC)

(載荷版の幅を除いて $1800 - 200 = 1600 \text{ mm}$)

E_s : スキン層の縦弾性係数 (2920 kgf/mm^2)

I: スキン層だけを考えた時の断面2次モーメント
($6116 \times 10^4 \text{ mm}^4$)

$$\delta_S = (3/2) \cdot (Q/A) \cdot (1/G_s) \cdot a \quad (15)$$

ここに、

Q: せん断力 (= $P/2$) (kgf)

A: スキン層の合計断面積 ($451 \times 8 \text{ mm}^2$)

G_s : スキン層のせん断弾性係数 (未知数)

式(12)~式(15)を連立させて G_s について解けばよい。本試験では、次式のようにまとめられる。

$$G_s = 12.5 \cdot \left(\frac{1.4975}{\delta_B/P - 0.0478} - 0.8 \right) \quad (16)$$

(単位: kgf/mm^2 , mm, kgf)

ここで δ_B/P はP- δ 曲線の初期回帰直線から得た値を用いる。

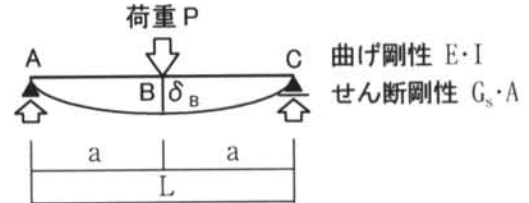


図-18 面内せん断試験の梁モデル

図-19に、式(5)からもとめた各試験体のスキン層面内せん断弾性係数を示す。同計算値は、表-2のスキン層の面内せん断弾性係数結果と良く一致することが分かる。

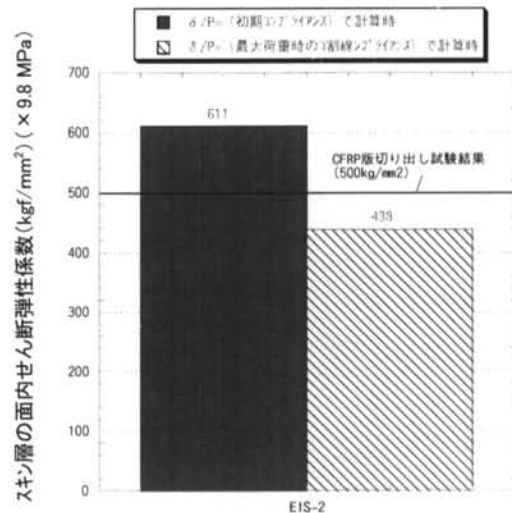


図-19 スキン層面内せん断弾性係数

§ 5. 実大断面試験体の曲げ実験

5.1 試験体

5.2 実験方法

試験体形状に合わせて製作した幅250mmのV字型鋼材で、試験体中央部を鉛直下向きに加力する。加力パターンは、荷重 $P_1 = 58.8 \text{ kN}$ (6.0tf)で一旦除荷し、再び耐力が落ちるまで加力した。写真-8に実験の状況を示す。

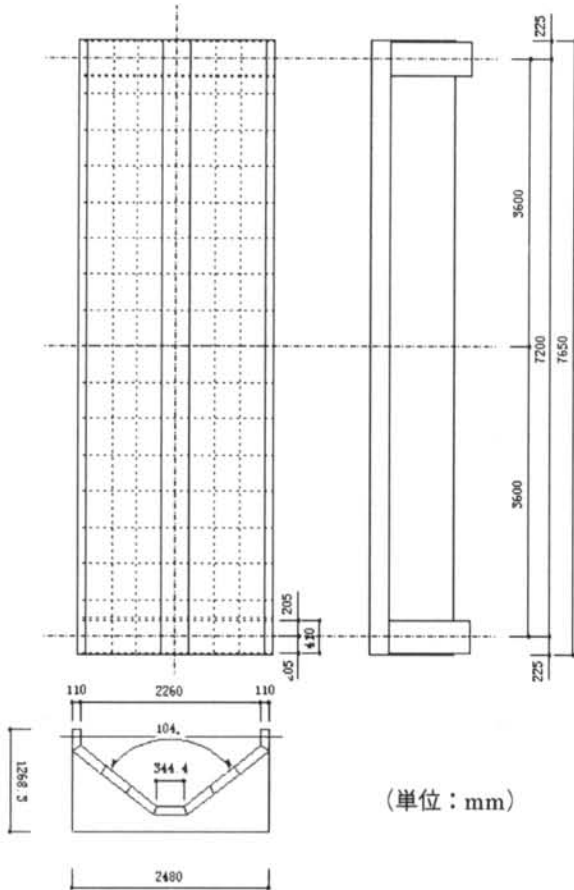


図-20 実大断面試験体の形状

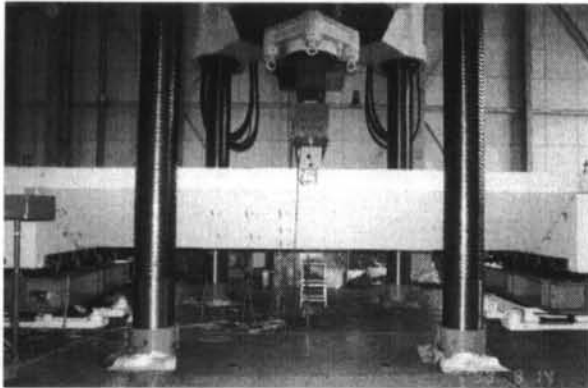


写真-8 実大断面試験の実験状況

5.3 実験結果

1) 試験体の荷重-変形曲線と耐力値

図-21に、荷重-変位曲線を示す。変位は試験体中央部の裏側の鉛直方向である。短期積載荷重までの復元力特性は線形的であり、最大耐力299.1kN(30.5tf)まで全体剛性はほぼ一定に推移した。

2) 破壊状況

試験体の破壊状況を写真-9に示す。破壊箇所は、試験体中央部のタブ付近であった。

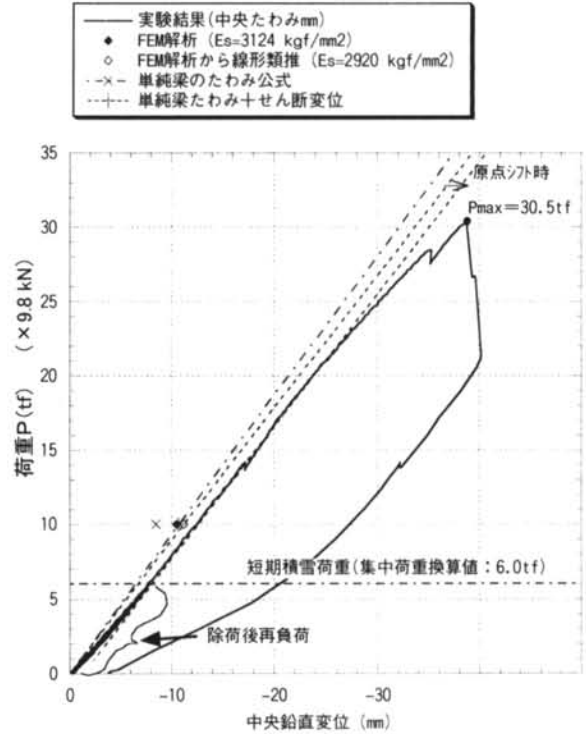


図-21 仮想実大断面試験の荷重-変位曲線



写真-9 試験体の破壊状況

3) 予想耐力と実験結果

図-21の破線は、荷重 $P=98.0\text{kN}$ (10.0tf)時のFEM解析結果を原点と直線で結んだ線である。FEM解析結果、スキン層の最大応力は、試験体中央部のタブ付近で発生し 32.7MPa (3.33kgf/mm^2)であった。

一方、4.1.3の要素圧縮試験の結果では、リブピッチ225の場合スキン層の局部座屈が発生するのは、平均応力度で 97.1MPa (9.9kgf/mm^2)であり、上記の解析結果から線形的に耐力を推定すれば、耐力は 294.2kN (30.0tf)とすることが出来る。実験による耐力は 299.1kN (30.5tf)であり、予想と一致する結果を得た。

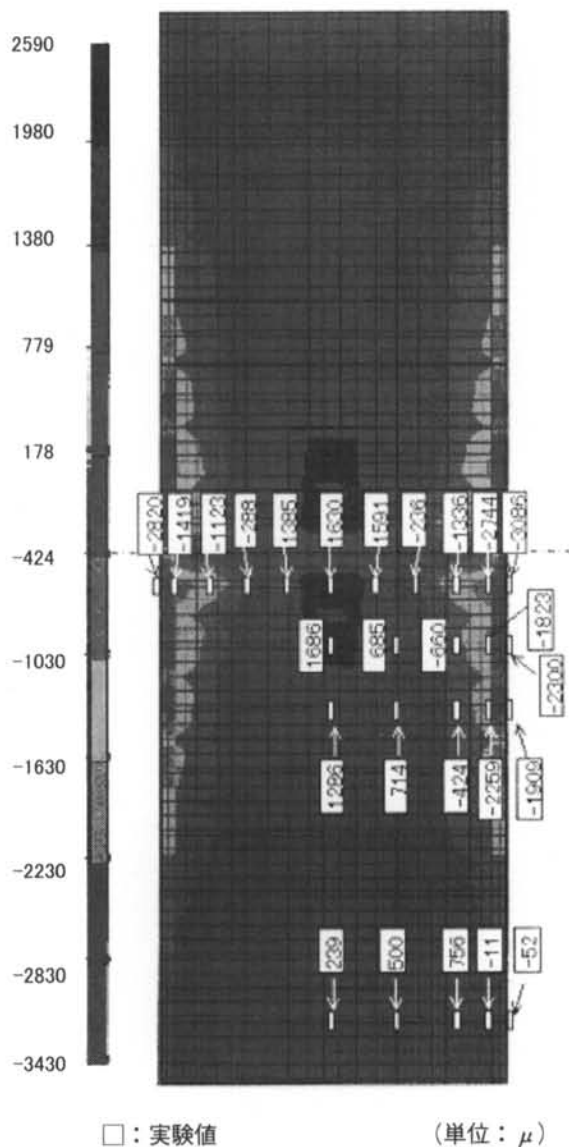


図-2.2 荷重 30.5 tf 時の FEM 解析によるスラブ上面のひずみコンター図と実験計測値

<参考文献>

- 1) 宮入裕夫：“複合材料入門”，裳華房
- 2) 山田聖志(研究代表者)：“建築構造用 FRP 形材における板要素の局部座屈破壊性状(08650668)”，平成 8 年度～平成 9 年度科学研究費補助金基礎研究(C)(2)研究成果報告書，平成 10 年 3 月
- 3) 渥美光，鈴木幸三，三ヶ田賢次：“最新機械工学シリーズ 14 材料力学 I”，森北出版
- 4) “CFRP 製立体トラスの構造安全性・耐火安全性に関する技術指導報告書”，(財)日本建築センター，平成 8 年 6 月

4) FEM 解析と実験ひずみ値の比較

荷重 299.1kN (30.5tf) 時の FEM 解析によるスラブ上面のひずみコンター図と実験計測値を図-2.2 に示す。FEM 解析は、実験結果と良く一致していることが分かる。

§ 6. まとめ

CFRP モノコックパネル構成材の単体試験と一体成形後の版要素試験の結果はほぼ一致することが確認できた。また、FEM 解析による応力度、変位及び耐力予測は、実大断面実験と良く一致することを確認した。以上の結果から、CFRP モノコックパネルの実用化へめどをつけることが出来た。

謝辞

本開発は、東レ(株)と共同で行なったものである。東レ(株)大西博氏、近藤敏行氏、伊藤俊弘氏、松浦正史氏に多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

