

発泡硬化性樹脂を充填した金属張力膜パネルに関する研究

－ 小規模試験体による実験的検討 －

岡 日出夫 *
宮崎 賢一 **

梗 概

空間骨組構造の屋根仕上げシステムとして、初期張力が導入された金属製薄板と発泡硬化性樹脂から構成される、金属張力膜パネル部材の提案を行う。本システムの特徴は、発泡硬化性樹脂を充填する際に作用する樹脂の膨張圧力を意図的に利用して表面の金属膜にむくりと初期張力を導入し、両者を一体化している点にある。本論ではパネル部材の実現性、及び、基本特性を確認するために行った小規模試験体の発泡ウレタン樹脂充填実験と、加力実験の結果について報告する。

1. 緒 言

1.1 研究の概要

主に鉄骨系の空間骨組構造における屋根仕上げ材の構成として、屋外表面側はステンレスやチタン等の金属製のシート材で葺き、屋内側は断熱性能や音響性能を確保するために木毛セメント板等の各種ボード類を何枚か重ねて構成されることが多い。通常これらの屋根葺き材やボード類自身に大きな面外剛性はないため、図1に示すように母屋材や小梁といった、いわゆる二次鉄骨部材を比較的狭いピッチで配置して、パネル材としての面外剛性を確保しているのが一般的である。

こうした屋根仕上げシステムの場合、特に大規模なドーム構造では顕著になるが、二次鉄骨を含めた仕上げ材の重量は、屋根全体重量の1/3～1/2程度も占めることとなり、非常に重い屋根構造となっている。また、3次元的な曲面屋根では、構造材と仕上げ材との納まりや取付けディテールも複雑となり、品質管理上の問題点も多い。

著者らは文献1)において、上記二次鉄骨部材を削減し屋根重量の低減を図ることを主目的として、金属製の薄板と発泡硬化性樹脂から構成される、一種の金属張力膜パネル部材の提案を行っている。

本論では、同パネル部材の実現可能性、及び、基本特性を確認するために行ったいくつかの実験的検討の結果について報告を行う。

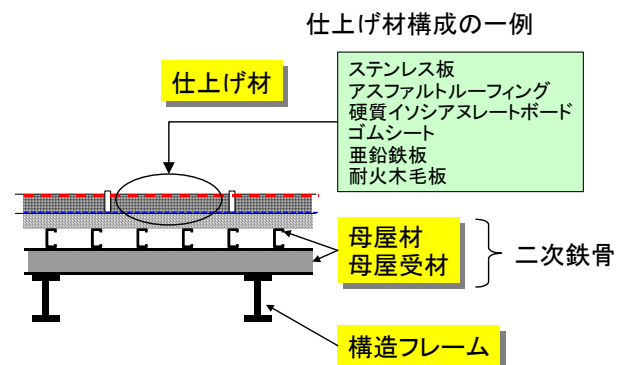


図1 一般的な屋根仕上げの構成概念図

1.2 パネル部材の構成と原理

本研究で検討対象とするパネル部材は、対向して配置した上下2枚の金属製薄板の間に発泡硬化性の樹脂を充填したものであり、樹脂を充填する際に作用する膨張圧力を意図的に利用して表面の金属膜にむくりと初期張力を導入し、両者を一体化している点に特徴がある。本システムの概念図を図2に示す。

金属製薄板を張力膜に使用したシステムとしては、空気膜構造に事例^{2), 3)}が見られる。本研究のパネル部材は、薄板に所定の剛性を付与する手段として、空気膜構造の空気圧の代わりに樹脂の膨張圧力を利用したものと見ることが

* (株) 竹中工務店技術研究所 修士 (工学)

** (株) 竹中工務店技術研究所 博士 (工学)

できる。空気圧の場合には、ポンディングや維持管理の問題が必ず付きまとうが、本システムではそうした配慮が不要である点においてメリットが大きいと言える。

また、発泡性樹脂を構造材料として利用する方法としては、ワイヤー材で樹脂に初期応力を与えて系の安定化を図った構造システム⁴⁾、⁵⁾や、サンドイッチ構造⁶⁾の心材として使用する方法等を挙げることができる。現在広く実用化されている建材用の各種サンドイッチパネル材は、一般に面外剛性が小さく、また、一枚のパネルとしての大きさも比較的小さいものに限られるため、大空間屋根の仕上げ用パネル材としては不向きな点が多い。

本研究で対象とするパネル部材は、表面膜材である金属製薄板に積極的にむくりを付けることによるシェルのな立体抵抗効果と、初期張力導入に伴う幾何剛性が付加されるため、一般のフラットなサンドイッチ平板と比較して剛性は大きく向上するものと予想される。また、パネルを大型化しても重量の増加が小さい点と、比較的容易に初期張力を導入できる生産性の高さから、大空間構造物の屋根システムへの適用性は高いと考えられる。

2. 120cmサイズ試験体の発泡ウレタン樹脂充填実験

2.1 充填実験の概要

前章で述べたパネル部材の実現性、及び、基本特性を確認するために、小規模試験体を用いて発泡硬化性樹脂を充填する実験を行った。

実験に用いた試験体は、内法一辺が 1,200mm の正方形型パネル試験体であり、厚さは 25mm とした。試験体の構成は、木の角材で正方形のフレームを組み、その表裏より 2 枚のステンレス鋼板 (材種 SUS304、板厚 0.4mm) を貼り合わせ、鋼製の押えプレート (t=3mm) を介してボルトで縫って一体化したものである。試験体の概要を図 3 に示す。

文献 1) では、一辺 600mm の正方形型パネル試験体について同様の実験を行ったが、鋼板は継ぎ目のない 1 枚物の薄板材 (材種 SUS304、板厚 0.3mm) を使用した。しかしながら大空間構造用のパネルサイズを想定すると、複数枚の薄板同士を接合して大型パネル部材を形成することが必要となる。従って、今回の実験では薄板同士の接合方法の検討も兼ねて、図 3、4 に示すように試験体中央部にシーム溶接線を設けた鋼板を用いることとした。シーム溶接部は、縁部 25mm 程度を 90 度折り曲げたステンレス鋼板 2 枚を突合せてシーム溶接し、再度折り倒したものである。なお、試験体組み立て時には、この溶接線折り倒し部をパネルの内側に向けたものと外側としたものの、2 タイプについて製作することとした。

発泡硬化性樹脂については、一般に流通している 2 液性の硬質発泡ウレタン樹脂とし、パネル試験体への充填は、木フレーム材の側面に設けた充填口より専用の発泡機械を用いて行った。ウレタン樹脂の充填量については、別途、実施した予備実験の結果から、パネルの内部空間をほぼ満たすことのできる下限の樹脂量 (27.4N) を求め、これを目

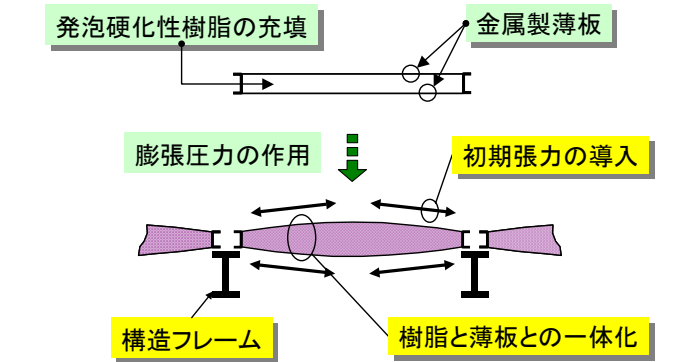


図 2 本研究のパネル部材の概念図

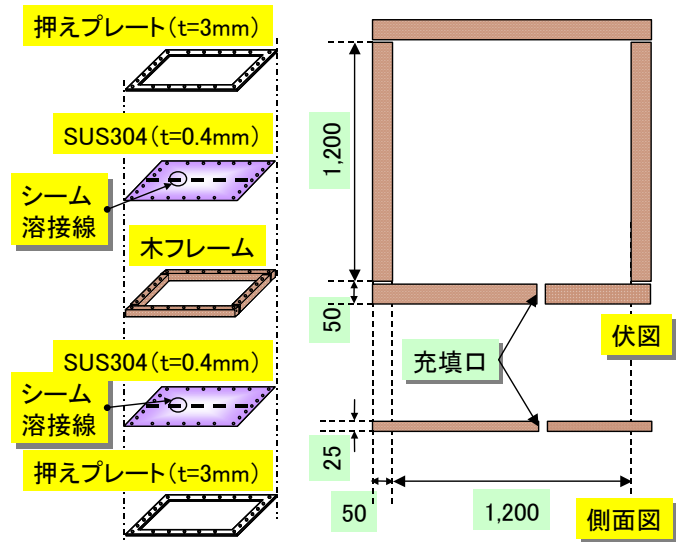


図 3 実験試験体の概要

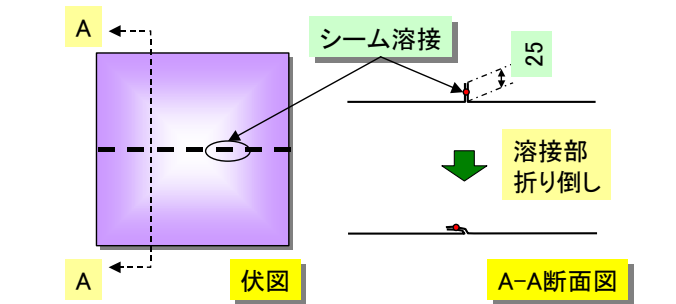


図 4 シーム溶接部の概念図

表 1 試験体の諸元

試験体名	In-100	In-120	Out-100	Out-120
溶接線折り倒し部の方向	パネル内側		パネル外側	
ウレタン樹脂充填率	100%	120%	100%	120%
厚み (mm)	25.0			
初期容積 (ℓ)	36.0			
標準ウレタン重量 (N)	12.3			
目標ウレタン充填量 (N)	27.4	32.9	27.4	32.9
目標充填量／標準重量	2.22	2.67	2.22	2.67

※標準ウレタン重量: 初期容積に対し、ウレタン密度を(343N/m³)と仮定したときのウレタン樹脂重量。
※目標ウレタン充填量: 予備実験により決定した充填量。

標充填量と定めた。なお、この基準モデル（以下 100%充填と呼ぶ）に対し、2割増でウレタン樹脂を充填した 120% 充填モデルについても比較のために実験を行うこととした。従って、実験パラメータとしては、シーム溶接線の折り倒し部の方向 2 種類とウレタン樹脂充填率 2 種類であり、試験体数は合計 4 体である。

各試験体の試験体名と諸元を表 1 に示す。

実験時の計測項目は、ステンレス鋼板（上下 2 枚）のひずみ 12 箇所、及び、中央点の面外変形（下面）、並びに、発泡ウレタン樹脂の化学反応時における発熱の影響を見るためにステンレス鋼板（上面）の温度について計測を行った。計測時間は、鋼板の温度がほぼ初期温度に下がるまでの間とした。試験体における計測箇所（3 軸ひずみゲージ、熱電対、変位計）を図 5 に示す。

2.2 充填実験の結果

各試験体に発泡ウレタン樹脂を充填した結果について、ウレタン樹脂の充填量、ステンレス鋼板の最終的な面外変位、（ゲージ No. 4、No. 10）の最大主ひずみ、並びに、発生した最高時の表面温度を表 2 に示す。

100%充填モデルの樹脂量が目標値よりも 1 割程度多めとなったが、すべての試験体において概ね良好に樹脂の充填がなされ、鋼板には相応の面外変形が生じた。例として（Out-100）試験体の樹脂充填後の状況を写真 1 に示す。ただ各試験体共、写真 2 のようにシーム溶接線に沿って鋼板が座屈する現象がみられ、薄板の接合方法に関しては今後課題を残した。

充填後の時間経過に対する性状として、各試験体の鋼板（上面）温度の変化を図 6 に、面外変位（下面、試験体中央点）の変化を図 7 にそれぞれ示す。

実験は夏季に実施したため、鋼板の初期温度は 30℃程度であったが、ウレタン樹脂の充填 6～7 分後に最高 60℃程度まで上昇し、初期温度に戻るまでに一時間以上を要している。温度変化の性状に関しては各試験体間で差異は見られず、また、最静時の温度も 60 cm サイズ試験体¹⁾と同等であった。

面外変位量については、各試験体共に充填の 4～5 分後に一度最大値を記録するが、最終的に最大値から 2mm 程度を減じた変形が残留している。溶接線の内外の違いによる有意な差はなく、最終の面外変位は、100%充填モデルで 27.4mm、26.9mm（ライズ/スパン比＝0.023、0.022）、120%充填で 39.0mm、40.4mm（ライズ/スパン比＝0.033、0.034）の結果であった。なお、60cm サイズ試験体¹⁾の 100% 充填モデルについてもライズ/スパン比は 0.023～0.027 の結果であり、むくり量の 1 つの目安としてはスパンの 2～3%程度の大きさを想定しておけばよいと思われる。

図 8. a, b には、計測終了時の（Out-100）、及び、（Out-120）の鋼板最大主ひずみの分布を示す。主ひずみは全体的に見て 200～300 μ 程度のオーダーであるが、ゲージの位置や上下の鋼板によって、その方向や大きさにばらつきがある。また、100%充填と 120%充填モデルで、60cm サイズ試験体¹⁾の時のように明確な差異は出ていない。以上のように、ひずみのパネル内の位置によるばらつきやその分布性状に規則性がみられない点、並びに、樹脂充填量に対する差異があまりない点等の原因は、先述したシーム溶接線周りを中心に

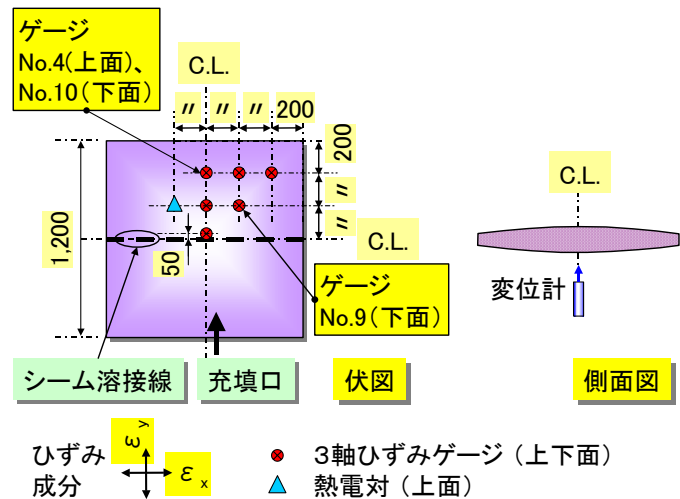


図 5 試験体の計測

表 2 発泡ウレタン樹脂の充填結果

試験体名	In-100	In-120	Out-100	Out-120
目標ウレタン充填量(N)	27.4	32.9	27.4	32.9
ウレタン樹脂充填量(N)	29.9	32.8	30.9	33.8
対 目標値比	1.09	1.00	1.13	1.03
面外変位(mm)	27.4	39.0	26.9	40.4
最大主ひずみ(μ)	289	357	251	264
	310	493	203	239
最高温度(℃)	60.4	57.6	56.4	57.7

※面外変位： 下面鋼板中央部。
 ※最大主ひずみ： 上段(上面ゲージNo.4)、下段(下面ゲージNo.10)。



写真 1 ウレタン樹脂充填後の状況 (Out-100)

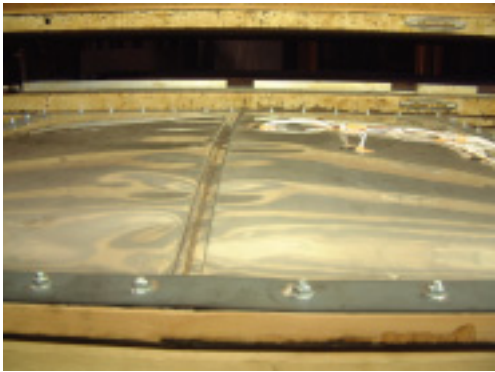


写真 2 溶接線周辺の鋼板座屈 (Out-100)

発生した局所的な座屈を含む、鋼板の形状不整による影響が大きいものと考えられる。

面外変位とひずみの関係について考察すると、鋼板が平板状態から円弧形状に変形したと仮定し、その長さ変化から単純に伸びひずみ量を求めると 100% 充填で $1,340 \sim 1,390 \mu$ 、120% 充填で $2,814 \sim 3,020 \mu$ となるが、図 8a, b から実測値は 100%、120% 充填共に、せいぜい $200 \sim 300 \mu$ 程度である。また、図 9. a, b は、(Out-100)、及び、(Out-120) のひずみ (ゲージ No. 4, 10、 ε_x , ε_y) と同時刻の中央点変位の対応を表しているが、変位が $15 \sim 20 \text{ mm}$ 以下辺りまでは、ひずみ値が不安定な挙動を示している。以上より、少なくともこの $15 \sim 20 \text{ mm}$ 程度の変位は、鋼板自身の初期たるみ (遊び) に起因する、いわゆる伸びなし変形であると判断される。

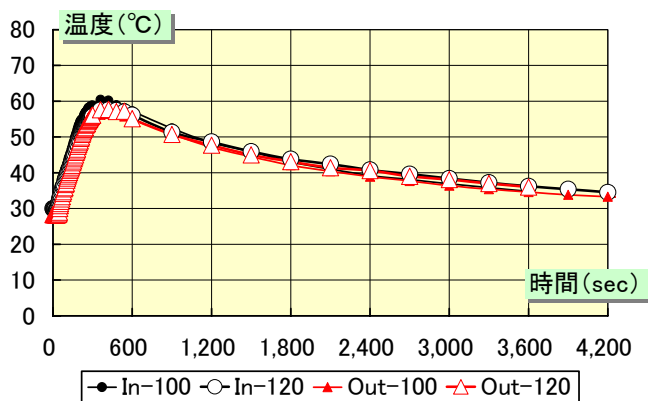


図 6 鋼板温度の時間変化

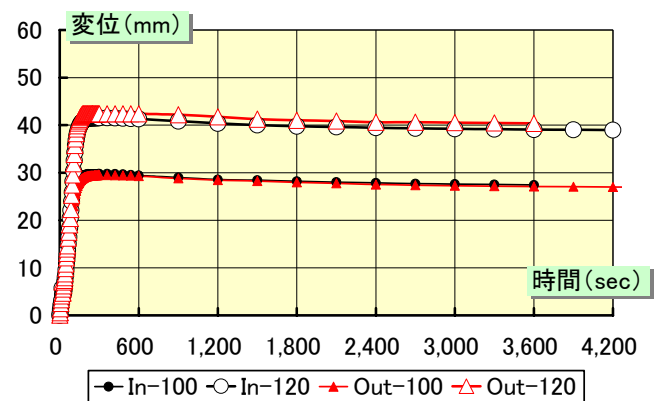


図 7 鋼板中央点の面外変位の時間変化

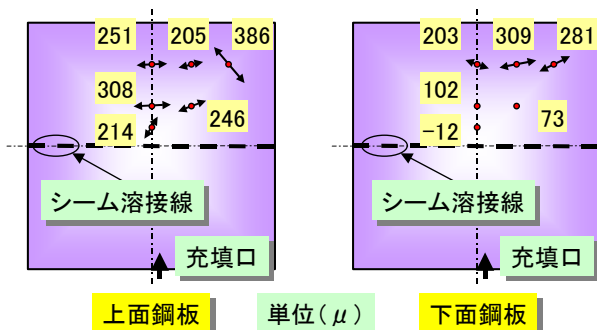


図 8.a 鋼板最大主ひずみの分布 (Out-100)

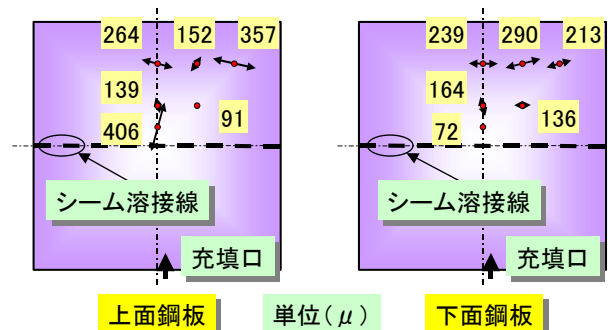


図 8.b 鋼板最大主ひずみの分布 (Out-120)

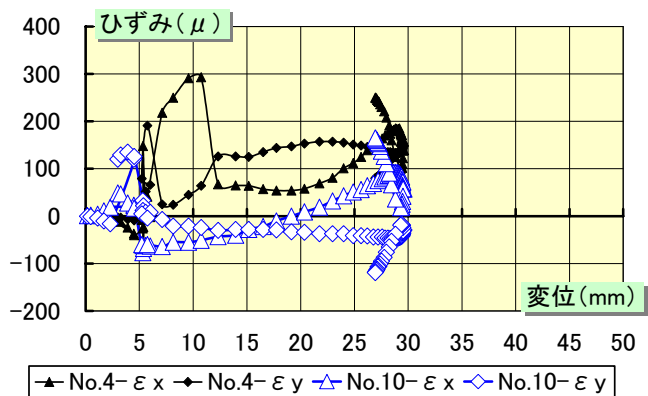


図 9.a 鋼板中央点変位とひずみの関係 (Out-100)

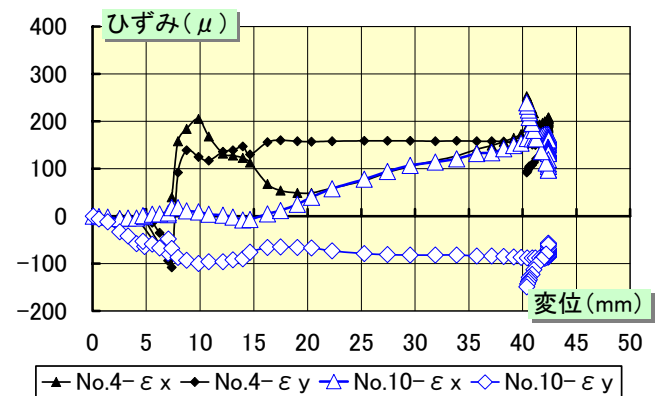


図 9.b 鋼板中央点変位とひずみの関係 (Out-120)

図 10. a, b には (Out-100)、及び、(Out-120) の鋼板ひずみ (ゲージ No. 4, 10、 ε_x) の時間変化を温度変化と共に示す。ひずみ変化 (図 10 中: 実測) を見ると、ウレタン樹脂充填の 3 分後辺りで一度極大値を記録した後、10 分後辺りにかけて減少するが、その後再び増加の方向に転じ、最終的には最初の極大値よりも大きなひずみが残留していることが分かる。この現象は、図 7 の面外変形が充填 10 分後以降あまり変化していない点から判断して、鋼板の温度変化によって生じたものと考えられる。すなわち温度の低下に伴い鋼板は縮まろうとするが、ウレタン樹脂が拘束境界となって自由に縮まることができず、結果として引張ひずみが增大していると解釈できる。なお、図 6 の温度変化にステンレス鋼板の線膨張係数 ($16.2 \mu/\text{C}$) を乗じて求めた熱ひずみ (図 10 中: 熱ひずみ) は、ウレタン樹脂圧力と鋼板応力度の変化に直接関係するひずみ (図 10 中: 実測) よりも、一時的には大きく上回っていることがわかる。

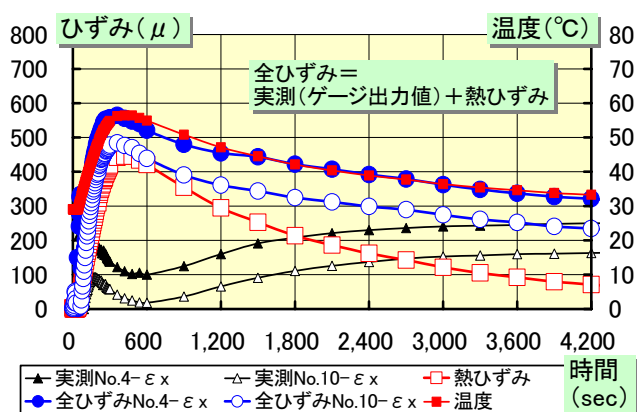


図 10.a 鋼板ひずみの時間変化(Out-100)

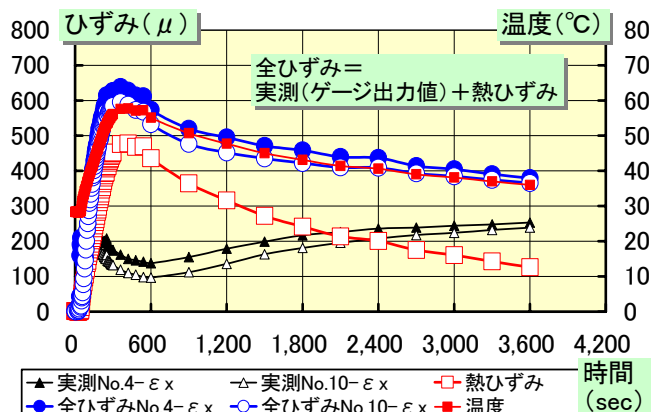


図 10.b 鋼板ひずみの時間変化(Out-120)

3. 120cmサイズ試験体の加力実験

3.1 発泡ウレタン樹脂の基本特性について

本研究で使用している発泡硬化性樹脂は、一般に流通している2液性の硬質発泡ウレタン樹脂の一種であるが、こうした樹脂類の力学的特性は、化学組成や発泡剤の種類、密度、気温等、非常に多くの条件が複雑に関係するため、全てを統一的に取り扱うことは困難である。しかしながら、構造材料として使用する上でおよそその剛性、強度等を把握しておくことは最低限必要であることから、文献1)では、パネル試験体内部より切り出したウレタン樹脂単体について圧縮試験を行っている。

写真3は、文献1)において実施したウレタン樹脂単体の圧縮試験の状況である。試験片は直方体形状で、100mm×100mm×30mm (6体)、及び、100mm×100mm×50mm (10体)の2種類、合計16体について実験を行った。樹脂の平均密度は294N/m³であった。

圧縮応力度－圧縮ひずみ関係の一例として、100×100×30mm試験片の結果を図11に示す。基本性状としては、加力初期段階に剛性の小さい区間が存在するが、その後ほぼ弾性とみなせる挙動を示す。比較的明瞭な圧縮降伏点を有し、降伏後は少しずつ剛性を増しながらひずみが進行している。各試験片で性状のばらつきは非常に小さく、圧縮降伏応力度は0.088～0.108N/mm²程度、圧縮弾性率は、ほぼ1.86N/mm²前後の値であった。

3.2 加力実験の概要

前章において発泡ウレタン樹脂を充填した120cmサイズのパネル試験体について、基本構造特性を把握するために、面外荷重を与える静的加力実験を行った。

実験方法は、パネル試験体の外周境界枠のボルト頭部を鉄骨梁上に直接置いた4辺単純支持の条件とし、加力用ジャッキ(100kN級)を用いて、最大荷重値を1kNピッチで漸増させながら載荷と除荷を繰り返した。なお、面外荷重としては、パネル全面に等分布荷重を与えることが理想的ではあるが、パネル表面は曲面状になっており、また、ウレタン樹脂充填実験時にひずみゲージを添付してあることから、ジャッキ先端部には、ひずみゲージを避けた位置に高さの異なる木片(一辺100×100mm、



写真3 ウレタン樹脂単体の圧縮試験

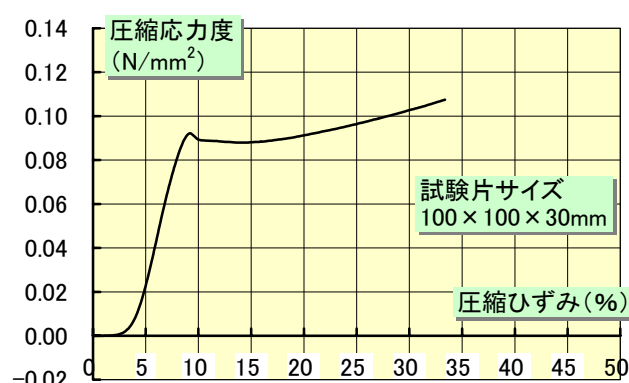


図 11 ウレタン樹脂 圧縮応力度－圧縮ひずみ関係

12個)を設置して加力面の水平度を保ち、鋼製プレートを介して荷重を与えることとした。従って、実際に荷重が作用する木片の接触面積(10×10×12=1,200cm²)は、パネル試験体の面積(120×120=14,400cm²)に対して1/12、木片の外周線に覆ったグロス面積(30×30+4×30×20=3,300cm²)で考えると1/4.4程度の面積比率となる。

加力方法の概念図を図12に、加力状況(Out-100)を写真4にそれぞれ示す。

計測項目としては、前章のウレタン樹脂充填実験時の3軸ひずみゲージをそのまま利用して、上下2枚の鋼板ひずみを計測すると共に、加力用ジャッキの荷重とストローク量、及び、下面鋼板中央点の面外変位を計測した。

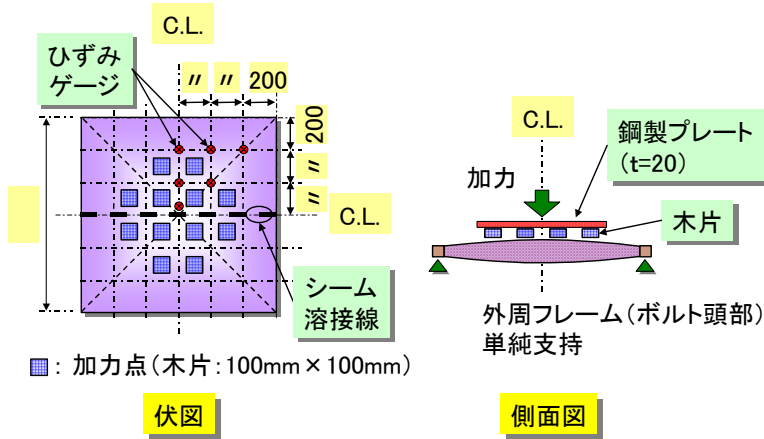


図 12 パネル試験体への加力方法

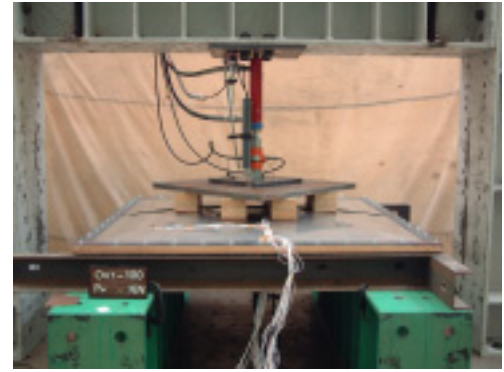


写真 4 加力実験の状況(Out-100)

3.3 加力実験の結果

載荷荷重と鋼板中央点の面外変位関係の代表例として、図 13. a, b に (Out-100)、及び、(Out-120) 試験体の結果をそれぞれ示す。上面鋼板の変位は、加力用ジャッキのストローク量を読み替えている。図示はしていないが、(In-100) と (In-120) も、ほぼ同様の結果であった。

同図より、10～15kN 程度以下の荷重の小さい範囲では概ね弾性とみなせる挙動を示し、除荷すれば変形、及び、後述の鋼板ひずみも、ほぼ初期値に復元することが確認された。また、上面鋼板と下面鋼板の変位の差は比較的小さく、概ね一枚の板構造として一体的に挙動していることが分かる。初期面外剛性は、100%充填に対して 120%充填モデルは 40%程度大きい結果であった。

ここでパネルの面外剛性に関して、一般のフラットなサンドイッチ平板との概略比較を考える。検討条件は、一辺長さ (L) が 1,200mm、厚さ (d) が一様に 25mm の正方形サンドイッチ平板で、材料諸元は以下とする。

- 上下表面材 (ステンレス鋼板) 板厚: $t_f=0.4\text{mm}$ 、弾性率: $E_f=193\times 10^3\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比: $\nu_f=0.3$
- 芯材 (硬質発泡ウレタン樹脂) 厚さ: $t_c=25\text{mm}$ 、弾性率: $E_c=1.86\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比: $\nu_c=0.1$ 、せん断弾性率: $G_c=0.85\text{N/mm}^2$

上記サンドイッチ平板の場合、芯材のせん断剛性が非常に小さいため、せん断変形は無視できず、板の変位 (δ) は次式で表される。

$$\delta = \delta_b + \delta_s \quad \dots (1)$$

ここに、 δ_b : 曲げ変形、 δ_s : せん断変形

4 辺単純支持で一様等分布荷重 (p) が作用する場合、板の最大変形⁶⁾は、

$$\delta_b = \alpha \frac{pL^4}{D_b} \quad \dots (2)$$

$$\delta_s = 20\alpha \frac{pL^2}{D_s} \quad \dots (3)$$

ここに、 $\alpha=0.00406$ で与えられ、 D_b と D_s は板の曲げ

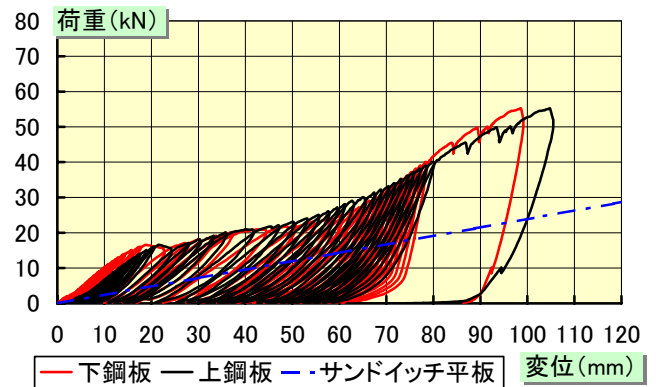


図 13.a 荷重－中央点面外変位の関係(Out-100)

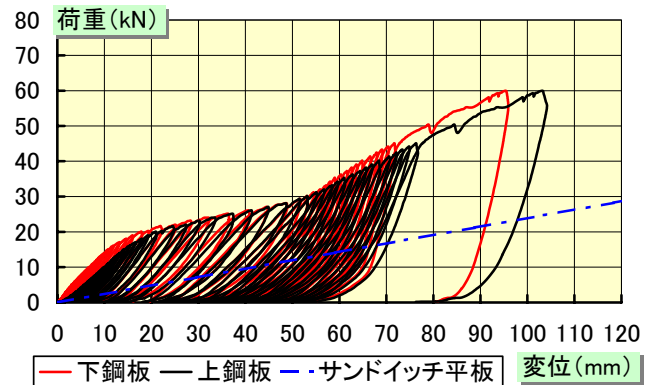


図 13.b 荷重－中央点面外変位の関係(Out-120)

剛性、及び、せん断剛性をそれぞれ示す。サンドイッチ板の場合、次式⁶⁾が実用上よく用いられる。

$$D_b = \frac{E_f}{8(1-\nu_f^2)} t_f (d+t_c)^2 \quad \dots (4)$$

$$D_s = G_c t_c \quad \dots (5)$$

(1) ～ (5) 式より上記サンドイッチ平板を解くと、荷重 (一様等分布荷重の合計値) と変形の関係は、図 13. a, b 中の鎖線となる。同図より、本研究のパネル部材は、一般のサンドイッチ平板に対して 4～6 倍程度の初期面外剛性を有していることが推察される。

荷重レベルが (Out-100) で 15kN、(Out-120) で 20kN 程度を超えてくると、剛性が低下すると共に残留変位も急激に増大するが、その後また剛性が増加し始める現象が見られる。これは、当初上向きに凸であった上面鋼板の曲率が徐々に減少することに対応して面外剛性も減少するが、さらなる変形の進行で曲率方向に反転が生じ、上面鋼板が引張材として機能し始めることで全体剛性の増加につながったものである。

最終的には、上面鋼板がウレタン樹脂にめり込む形で大きく陥没し、外周フレーム材の内側への湾曲変形と押えプレートの座屈や破断を伴って破壊するに至った。なお、実験終了後に試験体を解体したが、ウレタン樹脂と鋼板との接着性は、ほぼパネルの全面で残されており、また鋼板のボルト穴部におけるめり込み現象も、あまり見られなかった。

上面鋼板と下面鋼板の変位については、図 13. a, b に示した通り若干の差を生じているが、この差異は基本的にはウレタン樹脂層の変形に拠るものと考えられる。この上下鋼板の変位差と荷重 (15kN 以下の範囲) との関係について、図 14. a に (Out-100)、及び、(Out-120) 試験体の結果を示す。また図 14. b は、上下鋼板の変位差がウレタン樹脂層の圧縮変形量に相当すると仮定して同変位差をウレタン樹脂の厚み (試験体初期厚さ 25mm + 2 × ウレタン樹脂充填時の鋼板中央面外変位) で除した圧縮ひずみと、荷重の作用範囲を木片グロス面積

(3, 300cm²) として算出したウレタン樹脂層の圧縮応力度との関係で表現したものである。同図より、ウレタン樹脂層の剛性は初期段階では小さいが、荷重の増加と共に徐々に硬化していることが分かる。ウレタン樹脂層の圧縮弾性率は、初期勾配から計算すると 0.2~0.3N/mm² 程度と小さいが、応力度が 0.02~0.03 N/mm² の区間で計算すると 6.0~7.0 N/mm² 程度となる。検討の前提条件が違うので単純には比較できないが、3.1 節で述べたウレタン樹脂単体では 1.86N/mm² であり、数値的にこの範囲にあることは認めることができる。

次に荷重と鋼板ひずみ (ϵ_x , ϵ_y) の関係の代表例として、(Out-100) の上面 (ゲージ No. 4)、及び、下面 (ゲージ No. 10) の結果を図 15. a、及び、図 15. b にそれぞれ示す。ただし、上面のひずみゲージは、加力点の木片に近く、鋼板の局所的な変形の影響を受けやすいため、特に荷重レベルの大きい範囲におけるゲージ出力値の信頼性は高いとは言えない。

図 15. a, b より加力の初期段階では、上面鋼板のひずみは荷重の増加に対して減少する方向に、一方の下面鋼板のひずみは増加する方向に変化しており、上下面で逆対称的な挙動を示していることが分かる。なお、ステンレス鋼板の降伏ひずみを 1, 200 μ 程度と考えると、下面鋼板の最大主ひずみが降伏域に入り始めるのは、(Out-100)、(Out-120) 共にゲージ No. 9 (図 5 中) の位置で、20~25kN 程度の荷重レベルからであった。

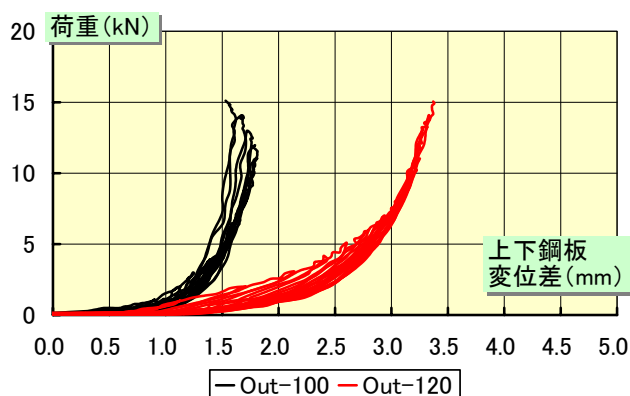


図 14.a 荷重－上下面変位差の関係(Out-100、120)

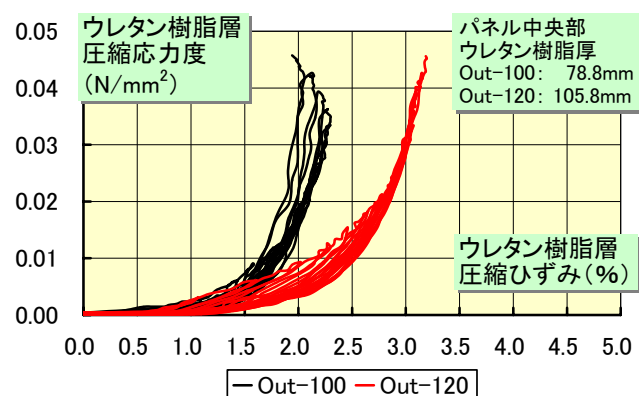


図 14.b ウレタン層応力度－ひずみ関係(Out-100、120)

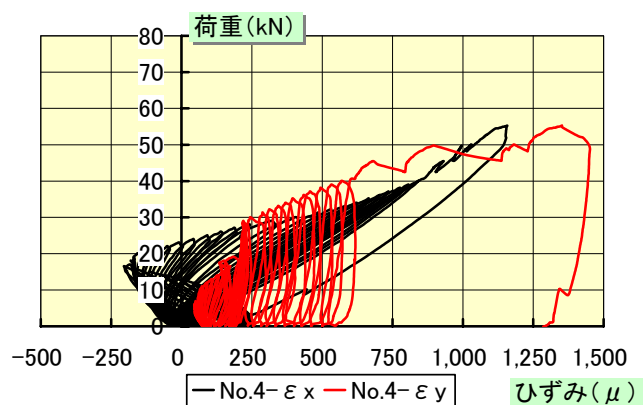


図 15.a 荷重－鋼板ひずみの関係(Out-100、上面)

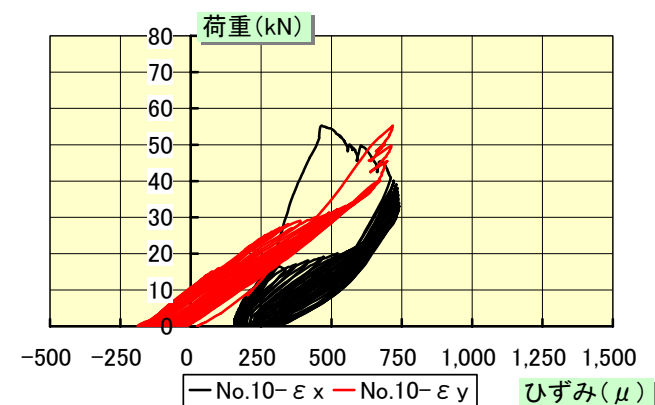


図 15.b 荷重－鋼板ひずみの関係(Out-100、下面)

4. まとめ

本研究では、発泡硬化性樹脂の充填時に作用する膨張圧力を意図的に利用して表面の金属膜にむくりと初期張力を導入した、一種の金属張力膜パネル部材の提案を行い、小規模な試験体を用いていくつかの基礎的実験を行った。各実験から得られた主な知見を、以下に要約する。

- (1) 一辺 120cm サイズの小規模試験体による発泡ウレタン樹脂充填実験を実施した結果、本研究の基本コンセプトである「発泡硬化性樹脂の膨張圧力を意図的に利用して表面の金属膜にむくりと初期張力を与える」、という基本原理が成立することを確認した。
- (2) 上記 (1) の実験の結果、鋼板の面外変位量に対して、ひずみのオーダーは比較的小さく、鋼板自身の初期たるみ(遊び)に起因する、伸びなし変形の影響がかなり大きいことが明らかとなった。
- (3) 発泡ウレタン樹脂を充填したパネル試験体に対して加力実験を行った結果、面外荷重に対してパネル全体が概ね一枚の板構造として、一体的に挙動することが確認された。また、一般のサンドイッチ平板と比較して、概略 4 倍程度以上の初期面外剛性を有していることを把握した。

なお、本パネル部材の数値解析的検討については、文献

- 1) の 60cm サイズ試験体も含め、機会を改めて報告したいと考えている。

【謝辞】

各実験を行うにあたり、アキレス(株)、住友金属建材(株)の関係者各位には多大な御協力、御助言を頂きました。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 宮崎賢一、岡日出夫：初期張力を導入したサンドイッチパネルに関する基礎的研究、(その 1) 研究概要、及び、発泡ウレタン樹脂の圧縮特性、(その 2) 発泡ウレタン樹脂の充填実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp. 977-980、2004. 8
- 2) 川口衛、阿部優、竹山祐成：金属膜空気構造、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、pp. 1111-1112、1980. 9
- 3) 岡松眞之、中道高之、橋本潔、上遠野明夫、岩田衛、佐伯英一郎、原田昭穂：ステンレス空気膜構造、季刊カラム、No98、pp. 73-79、1985
- 4) 小熊有希子、安宅信行：フォームプラスチックを用いた空間構造の構造システムについて、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、pp. 1079-1080、1999. 9
- 5) 小熊有希子、安宅信行：発泡材料を用いた構造システムについての基礎的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、pp. 1093-1094、2000. 9
- 6) 島村昭治、宮入裕夫：サンドイッチ構造、日刊工業新聞社、1974. 5

A study on a metal membrane panel filled up with hardening foam-resin

— Experimental study of small-scale model —

Hideo Oka ^{*)}

Ken'ichi Miyazaki ^{**)}

SYNOPSIS

In this paper, we propose a panel component for a roof finishing system of space structures, which consists of pre-stressed metal membrane and hardening foam-resin. The feature of this system is that an initial tensile force is introduced to the surface metal membrane, utilizing an expansion pressure of a form-resin under its chemical reaction process intentionally. In order to confirm a possibility of realization and fundamental behaviors of this system, we performed some experimentation of pouring urethane resin and static loading test on the small-scale model.

*) M.Eng., Research & Development Institute, Takenaka Corporation

**) Dr.Eng., Research & Development Institute, Takenaka Corporation