

薄板組立構造を用いた太陽電池アレイ搭載型建築外装システムの開発

Development of Structural Systems for Housing Exteriors with Photovoltaic Array using Built-up Thin-walled Beams

研究代表者 工学部建築学科*1 准教授 松本 慎也
Shinya Matsumoto
共同研究者 日創プロニティ株式会社*2 技術担当リーダー 山田 裕義
Hiroyoshi Yamada
設計グループ 山下 肅
Susumu Yamashita
山口 善徳
Yoshinori Yamaguchi

In this paper, structural systems for housing exteriors with photovoltaic array using built-up thin-walled beams are presented. Various measures for global environment have been studied. As the use of renewable energy, a solar power system has attracted much attention and is used in various locations in recent years. When installing of photovoltaic array to the building or on-site, it is necessary to consider the impact load for the environment. Good productivity structural system for housing exteriors is desired. Also, the system must carefully consider to the safety performance for the natural environment against various wind, snow and earthquake. The purpose of this study is to develop the structural system for housing exteriors with photovoltaic array using built-up thin-walled beams.

Keywords: Solar power, Light steel structure, Bending material, Thin-walled beams

1. はじめに

地球環境の問題対策として様々な取り組みがされている。その中で再生可能エネルギーの活用として太陽光発電システムが注目され、近年様々な場所で利用されている⁽¹⁾⁽²⁾。これらの太陽光発電システムに使用される太陽電池アレイ（ソーラーパネル）を建物あるいは敷地内に設置する際には、環境への影響負荷を考慮し、より省エネルギーで省コストを図った軽量で生産性の良い外装システムが望まれる。またこれらの外装システムが積雪や風、地震といった様々な自然環境に対する安全性能を十分に検討し、把握する必要がある。

本研究では、図1に示すような薄板組立構造を用いた太陽電池アレイ搭載型建築外装システムを開発することで、より合理的な太陽電池アレイ搭載型建築外装システムを提案することを研究の目的としている。そこで本研究では薄板部材の各種耐力評価実験を実施し、合理的な

薄板組立構造部材を提案する。そして本部材を用いた実構造物の適用例として太陽電池アレイを搭載した大型カーポート構造について検討を行う。このとき本研究では、2つの折り曲げ加工薄板開断面部材をかしめナットにより結合することで製作した組立箱型断面部材について検討し、これらの軽鋼構造部材の最大耐力と破壊性状を確認するために実施した曲げ耐力実験および屋根面材の折板を梁部材に固定する際に使用するタイトフレームの引張耐力試験について報告する。そして、積雪荷重を想定した実大鉛直載荷実験について報告する。

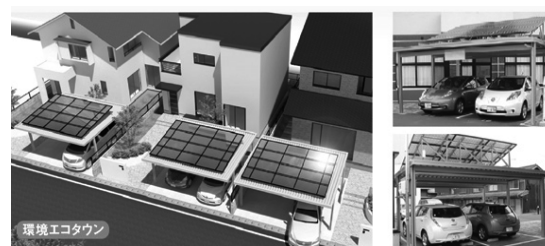


図1 太陽電池アレイ搭載型建築外装システム

*原稿受付 2013年4月17日

*1 〒739-2116 東広島市高屋うめの辺1番

E-mail matsumoto@hiro.kindai.ac.jp

*2 〒815-0035 福岡県福岡市南区向野1-15-29

E-mail yamada.h@kakou-nisso.co.jp

susumu.y@kakou-nisso.co.jp

yamaguchi.y@kakou-nisso.co.jp

2. 組立箱型断面部材の曲げ耐力試験（長方形断面部材）

試験体は図2に示すような2つの折り曲げ加工薄板開

断面部材を、かしめナットを用いた連結ボルトによって結合した組立箱型断面部材である。実験の検討因子は連結ボルト間隔の間隔および鋼材板厚の 2 水準とし、連結ボルト間隔は 400mm, 300mm, 200mm の 3 パターン、鋼材の板厚は 2.3mm と 1.6mm の 2 パターンについて比較検討を行った。表 1 に試験体の一覧を示す。

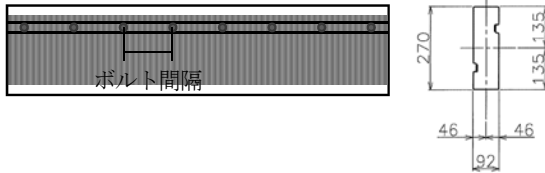


図 2 部材断面 (長方形断面部材)

表 1 組立箱型断面部材の曲げ試験体 (長方形断面部材)

	部材種別	板厚	ボルト間隔
No.1	□270×92×1.6	1.6mm	400mm
No.2	□270×92×1.6	1.6mm	300mm
No.3	□270×92×1.6	1.6mm	200mm
No.4	□270×92×2.3	2.3mm	400mm
No.5	□270×92×2.3	2.3mm	300mm
No.6	□270×92×2.3	2.3mm	200mm

曲げ実験は図 3 に示すように試験体を支持台にスパン 5400mm で単純ばりとして設置し、試験体中央部に曲げ荷重を試験体が破壊に至るまで連続的に加えた。この時、曲げ荷重及び上下方向変位 (電気式変位計: D1~D3) とスパン中央位置のひずみ (S1~S4) を測定するとともに、試験体の状況を目視観察した。部材のたわみ (中央部の平均変位) δ は、計測した変位計の値から $\delta = D1 - (D2 + D3) / 2$ により算出した。また、図 4 に示すように梁断面の両側面にひずみゲージを張り付け、計測したひずみの値 $\varepsilon_t, \varepsilon_c$ を用いて次式により、各はり部材の曲率 φ を算出した ($h=210\text{mm}$)。写真 1 に試験体外観を示す。

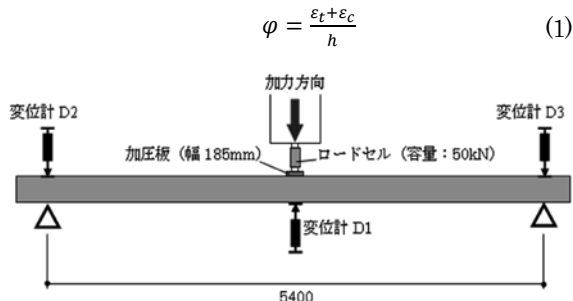


図 3 試験方法および計測位置

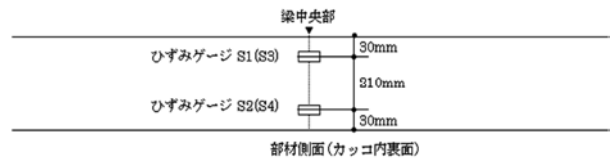


図 4 ひずみゲージ貼り付け位置

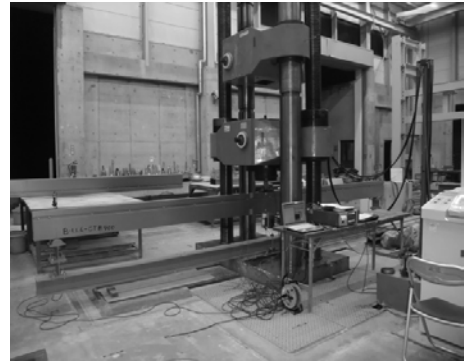


写真 1 試験体外観 (長方形断面部材)

図 5 に各試験体の荷重-たわみ関係を示す。図より、同じ板厚同士の試験体を比べると、ボルト間隔が部材の曲げたわみにおける初期剛性に与える影響は小さく、どの試験体も初期剛性においては、ほぼ同程度の曲げ剛性を示すことがわかる。このとき板厚 1.6mm の試験体においてはたわみ 15mm を超えるあたりから、板厚 2.3mm の試験体においてはたわみ 20mm を超えるあたりから、ボルト間隔の小さな試験体ほど、梁の曲げ剛性の低下が小さい傾向にあることがわかる。しかし、これらの試験体における最大荷重の値は、板厚 1.6mm の試験体では 12.9kN~13.2kN、板厚 2.3mm では 22.4kN~23.6kN と、各板厚の試験体で大きく異なり、板厚が最大荷重に及ぼす影響は大きいことがわかる。また、破壊性状はいずれも加力部分における鋼板の局部座屈によって決まることが確認された。

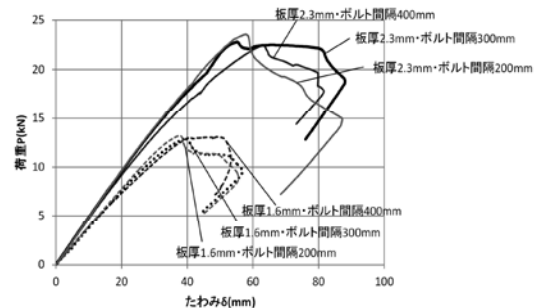


図 5 各試験体の荷重-たわみ関係の比較

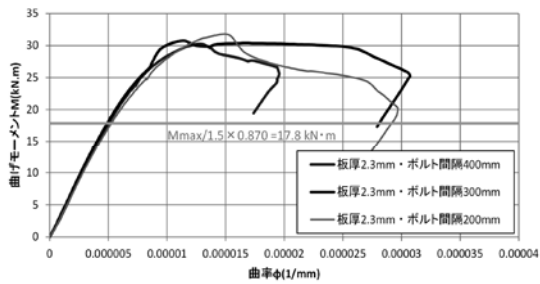


図6 曲げモーメントー曲率関係 (板厚 2.3mm)

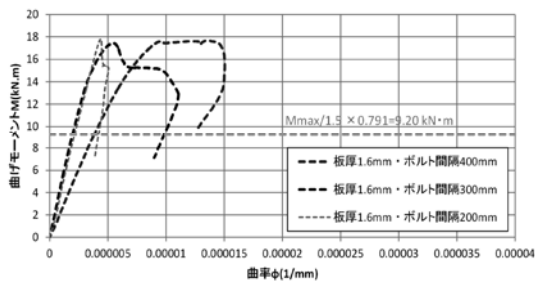


図7 曲げモーメントー曲率関係 (板厚 1.6mm)

表2 最大荷重および最大荷重時たわみ

試験体 記号	最大荷重時		
	荷重 $P_{max}(kN)$	最大曲げモーメント $M_{max}(kNm)$	たわみ $\delta(mm)$
No.1	13.1	17.7	49.1
No.2	12.9	17.4	39.6
No.3	13.2	17.8	37.3
No.4	22.4	30.2	62.7
No.5	22.8	30.8	55.1
No.6	23.6	31.8	57.7

次に、各試験体の曲げモーメントー曲率関係を図6、図7に示す。ボルト間隔300mmの試験体における最大曲げ耐力 M_{max} に対して、基準強度 F 値の低減 (板厚

2.3mm の場合： $\frac{\text{設計上の } F \text{ 値}}{\text{試験体の } F \text{ 値}} = \frac{280}{322} = 0.870$ 、板厚 1.6mm

の場合： $\frac{\text{設計上の } F \text{ 値}}{\text{試験体の } F \text{ 値}} = \frac{280}{354} = 0.791$) を考慮し、 $M_{max}/1.5 \times F$

値の低減係数によって算出した曲げ耐力の値を許容曲げ耐力として算出した。その結果、板厚 2.3mm の梁の試験体では、許容曲げ耐力は 17.8kNm、板厚 1.6mm の試験体では、9.20kNm であり、それらの値を各グラフ中に示す。

いずれの試験体も、検討したボルト間隔 (200mm～400mm) の範囲に対し、最大曲げ耐力の値は大きく異なることなく、組立部材に対する断面一体性が確認された。

各試験体の最大荷重および最大荷重時たわみを表2に示す。また、写真2～写真4に試験体の終局状況を示す。



写真2 試験体 No.1 の終局状況 (梁の全体状況)

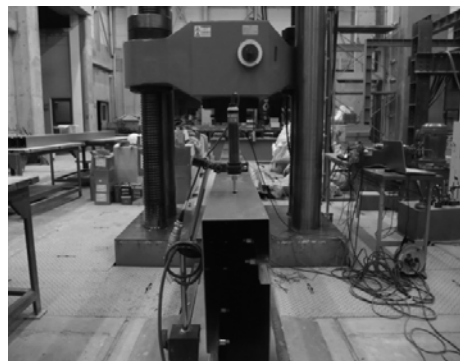


写真3 試験体 No.3 の終局状況
(梁の横座屈は生じていない)

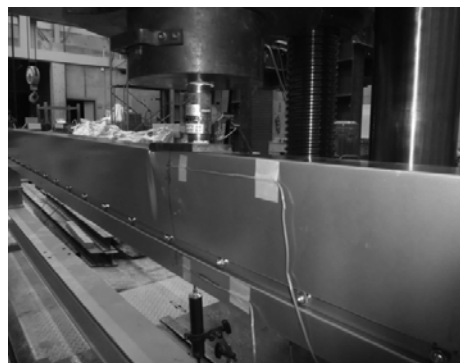


写真4 試験体 No.5 の終局状況 (加力部の局部座屈)

3. 組立箱型断面部材の曲げ耐力試験 (正方形断面部材)

図8に示すような正方形断面の組立箱型断面部材についても前節と同様の検討を行った。実験の検討因子は連結ボルト間隔とし、400mm、300mm、200mmの3パターンについて検討した。本仕様の試験では、鋼材の板厚は 2.3mm のみとした。表3に試験体の一覧を示す。

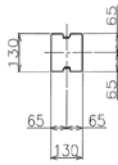


図8 部材断面（正方形断面部材）

表3 組立箱型断面部材の曲げ試験体（正方形断面部材）

	部材種別	板厚	ボルト間隔
No.7	□130×130×2.3	2.3mm	400mm
No.8	□130×130×2.3	2.3mm	300mm
No.9	□130×130×2.3	2.3mm	200mm

曲げ実験は試験体を支持台にスパン 2626mm で単純ばりとして設置し、試験体中央部に曲げ荷重を試験体が破壊に至るまで連続的に加えた（写真5参照）。



写真5 試験体外観（正方形断面部材）

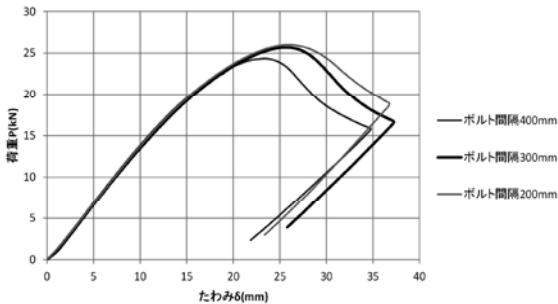


図9 各試験体の荷重－たわみ関係の比較

図9に各試験体の荷重－たわみ関係を示す。図より、ボルト間隔が部材の曲げたわみにおける初期剛性に与える影響は小さく、どの試験体も初期剛性においては、ほぼ同程度の曲げ剛性を示すことがわかる。このときたわみが20mmを超えるあたりから、ボルト間隔の小さな試験体ほど、梁の曲げ剛性の低下が小さい傾向にあること

がわかる。また各試験体の最大荷重の値は、24.4kN～26.0kNであり、ボルト間隔400mmの結果が他に比べ若干小さい耐力を示したものの、ボルト間隔300mm、200mmはほぼ同程度であった。破壊性状はいずれも加力部分における鋼板の局部座屈によって決まることが確認された。

次に、各試験体の曲げモーメント－曲率関係を図10に示す。このとき、ボルト間隔300mmの試験体における最大曲げ耐力 M_{max} に対して、基準強度 F 値の低減（板厚2.3mmの場合： $\frac{\text{設計上の}F\text{値}}{\text{試験体の}F\text{値}} = \frac{280}{322} = 0.870$ ）を考慮し、

$M_{max}/1.5 \times F$ 値の低減係数によって算出した曲げ耐力の値を許容曲げ耐力として算出した。その結果、許容曲げ耐力は9.78kNmであり、それらの値をグラフ中に示す。いずれの試験体も、検討したボルト間隔（200mm～400mm）の範囲に対し、最大曲げ耐力の値は大きく異なることなく、組立部材に対する断面一体性が確認された。各試験体の最大荷重および最大荷重時たわみを表4に示す。また、写真6に試験体の終局状況を示す。

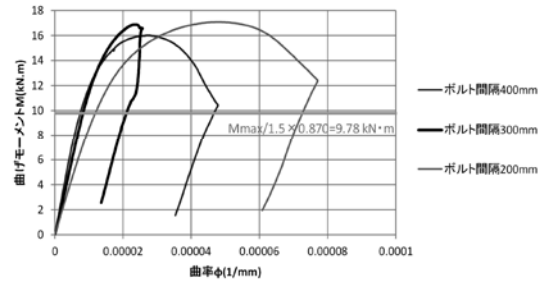


図10 曲げモーメント－曲率関係

表4 最大荷重および最大荷重時たわみ

試験体記号	最大荷重時		
	荷重 P_{max} (kN)	最大曲げモーメント M_{max} (kNm)	たわみ δ (mm)
No.7	24.4	16.0	23.3
No.8	25.7	16.9	25.2
No.9	26.0	17.1	25.7



写真6 試験体の終局状況（試験体No.9）

4. タイトフレームの引張耐力試験

タイトフレームを介して上部に接合した部材から伝達される引抜き力に対するボルトの耐力を検討するためにタイトフレームの引張試験を実施した。試験体は、上下対称となるようにタイトフレームを梁部材に取り付け、万能試験機により引張加力を試験体が破壊に至るまで加え、タイトフレームとボルトの耐力および破壊性状を確認する。試験体は図 11 に示すようにタイトフレーム (3 山) を梁材の上下対称となるように取り付けて、中央部の止め付けボルトに M6 高ナットにより M6 寸切りボルトを取り付け、引張試験機で引張荷重を試験体が破壊に至るまで連続的に加えた。この時、引張荷重及び上下方向の相対変位 (電気式変位計 : D1~D2) を測定するとともに、試験体の状況を目視観察した。

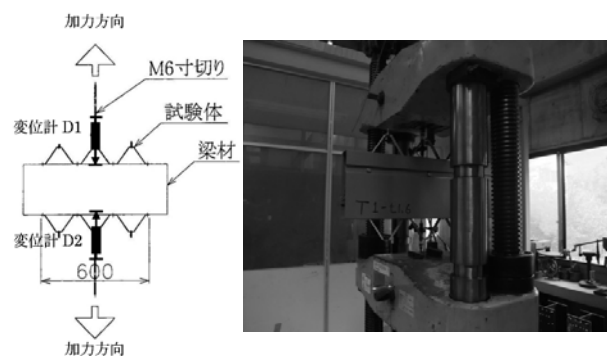


図 11 試験方法および計測位置

表 5 タイトフレームの引張試験体一覧

試験体記号	梁材板厚	ボルト間隔	数量
試験体 A	1.6mm	300mm	各 3 体
試験体 B	2.3mm	300mm	各 3 体

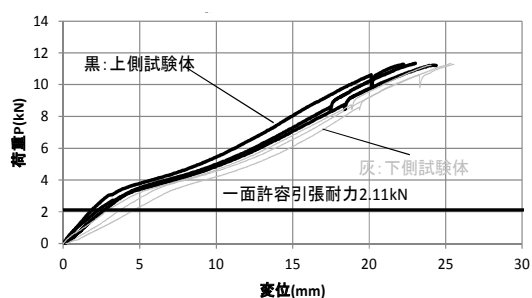


図 12 試験体 A の荷重-変位関係 (板厚 1.6mm)

試験体は表 5 に示すように、下地梁部材 (ボルト間隔 300mm) の板厚の異なる試験体 A (板厚 1.6mm) と試験体 B (板厚 2.3mm) の 2 種類とし、タイトフレームと

止め付けボルトは同じ仕様とした。試験体は各仕様 3 体ずつ作成し、タイトフレームの引張性能のばらつきも検討した。

図 12, 図 13 に各試験体の荷重-変位関係を示す。すべての試験体で破壊性状はタイトフレームと梁の留め付け間のボルト破断であった (写真 7 参照)。表 6 に試験結果の一覧を示す。

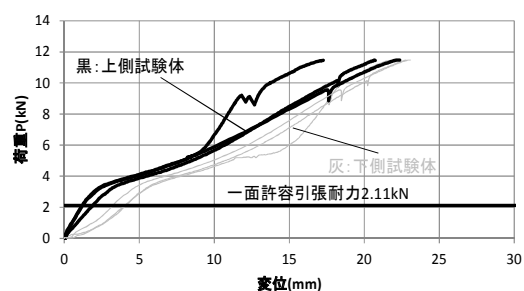


図 13 試験体 B の荷重-変位関係 (板厚 2.3mm)



写真 7 試験体の終局状況 (ボルトの破断)

表 6 試験結果一覧

試験体記号	最大荷重時 (ボルト破断時)		
	荷重 kN	平均 kN	試験体の終局状況
試験体 A	11.3	11.3	タイトフレームと梁の留め付け間のボルト破断
	11.2		
	11.3		
試験体 B	11.5	11.5	タイトフレームと梁の留め付け間のボルト破断
	11.5		
	11.5		

5. 主梁の曲げ耐力試験 (溝形断面部材)

要素試験体の全体図を図 14 に示す。試験体は板厚, リップ (エッジ部の折曲げ加工) の有無, 材種の 3 水準を変化させた計 5 通りの部材を用いることとした (表 7 参照)。これら部材は溝形開断面であるので曲げ試験を行う

試験体として対称形となるように 2 組を向い合せにし、直交つなぎ材 (YOCASOL 社 R96-AAC-02) を実施工と同じ横補剛間隔 990mm ピッチで連結することで試験体を作製した (写真 8 参照)。このとき、加力点には図 15 (左) に示すように角形鋼管材を付加することで加力治具が接触する水平面を設けた。これら直交つなぎ材の断面詳細図を図 15 に示す。試験体は図 16 に示すように加力装置支持台にスパン 1980mm で設置し、試験体中央部に曲げ荷重を試験体が破壊に至るまで鉛直下向きに単調加力で加えた。この時の荷重及び上下方向変位 (D1~D11) とスパン中央位置のひずみ (S1~S6) を測定するとともに、試験体の状況を目視観察した。部材のたわみ (中央部の平均変位) δ は、 $\delta = (D10 + D11) / 2$ により算出した。また、図 17 に示す梁断面の側面に張り付けた上下端 2 か所のひずみゲージで計測したひずみの値 $\varepsilon_t, \varepsilon_c$ を用いて次式により、各はり部材の曲率 ϕ を算出した ($h=60\text{mm}$)。

$$\phi = \frac{\varepsilon_t + \varepsilon_c}{h} \quad (1)$$

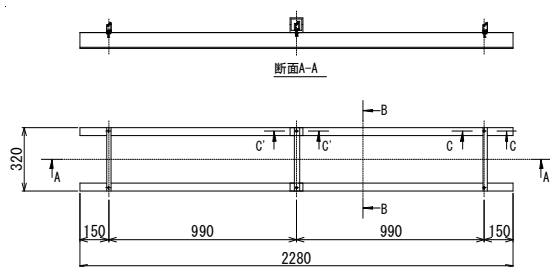


図 14 要素試験体全体図

表 7 要素試験体一覧

記号	部材種別(t板厚)	リップ	材種
No.1	C80-40-t2.3	無	SZAH400 (エコガル $F=280$)
No.2	C80-40-t1.6	無	SZAH400 (エコガル $F=280$)
No.3	C80-40-t1.2	無	MSM-HC (ZAM $F=190$)
No.4	C80-40-t1.6	有	SZAH400 (エコガル $F=280$)
No.5	C80-40-t1.2	有	MSM-HC (ZAM $F=190$)

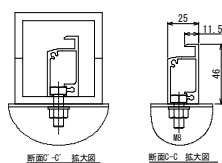


図 15 直交つなぎ材の断面詳細

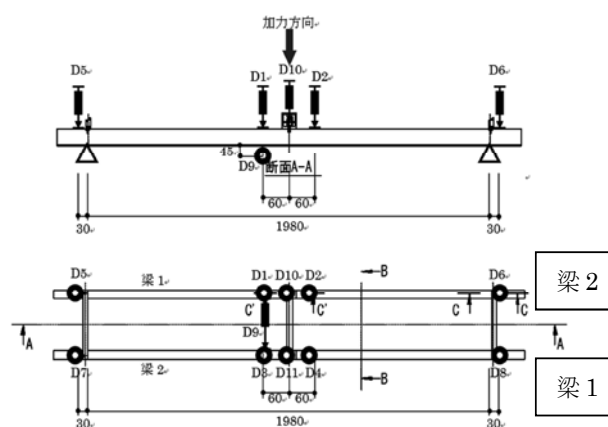


図 16 試験方法および計測位置

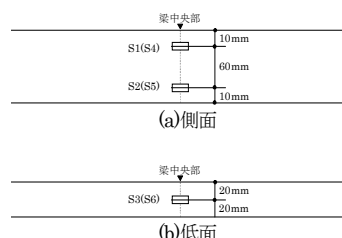


図 17 ひずみゲージ貼り付け位置



写真 8 試験体外観

図 18 に各試験体の荷重-たわみ関係を示す。図より板厚が小さくなるにつれて最大荷重値も小さくなるのがわかる。また、同じ板厚でもリップの有無で比較 (No2 と No4 の比較, No3 と No5 の比較) すると、リップ有の方がそれぞれ耐力が高いことがわかる。また、表 8 に各試験体の最大荷重および最大荷重時たわみを示す。

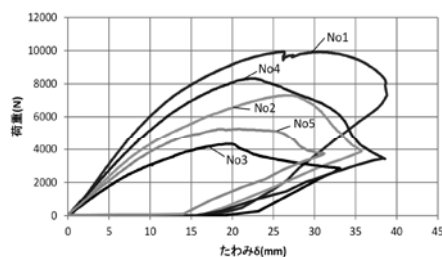


図 18 各試験体の荷重-たわみ関係の比較

表 8 最大荷重および最大荷重時たわみ

記号	最大荷重 kN	たわみ mm
No.1	9.95	26.0
No.2	7.30	26.2
No.3	4.33	19.1
No.4	8.32	22.0
No.5	5.27	20.7

部材断面に対する許容応力度の検討

各試験体の部材断面に対する許容曲げ応力度の検討を行う。日本建築学会編集：軽鋼構造設計施工指針・同解説④で扱われている部材では、構造耐力上主要な部分などに使用する材の厚さは 2.3mm 以上とされているが、薄板に関しても同文献を参考にはり材の許容曲げ応力度を算出し、実験結果との比較を行った。表 9 に各断面に対する許容曲げ応力の算定に用いた数値を示す。

表 9 部材の許容曲げ応力度一覧

試験体記号	断面寸法 (mm)	片R (mm)	A (cm ²)	Gx (cm ²)	Gy (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)	Zmax (cm ³)	ix (cm)	iy (cm)	F (N/mm ²)	F _{0.1/1.5} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	A _g (mm ²)	λ _p	φ _l	R _d (N/mm ²)	M _y (kNmm)		
No.1	80 40	2.3	4.6	3.508	1.110	4.070	24.930	5.558	8.732	3.156	1.259	280	186.7	205000	990	78.63	1.00	109.51	956.3	
No.2	80 40	1.6	3.1	2.490	1.070	4.000	25.410	4.000	6.352	3.185	1.267	280	186.7	205000	990	78.11	1.00	110.77	703.7	
No.3	80 40	1.2	2.2	1.675	1.050	4.000	18.319	3.043	4.829	3.031	1.210	1274	190	126.7	205000	990	77.71	1.00	66.23	464.7
No.4	80 40	1.6	3.1	2.714	1.320	4.000	27.816	5.734	6.969	2.140	1.205	1.454	280	186.7	205000	990	68.11	1.00	133.43	929.9
No.5	80 40	1.2	2.2	2.063	1.330	4.000	21.569	4.310	5.392	1.688	1.223	1.476	190	126.7	205000	990	67.04	1.00	107.24	578.3

図 19～図 23 に各試験体における曲げモーメント-曲率関係を示す。また、図中には実験値における最大曲げモーメント M_{max} と算出した各断面性能に対する許容曲げモーメントの値を示す。

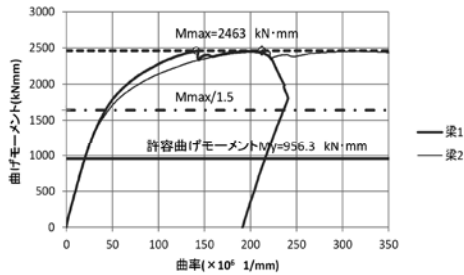


図 19 試験体 No.1 曲げモーメント-曲率関係の比較

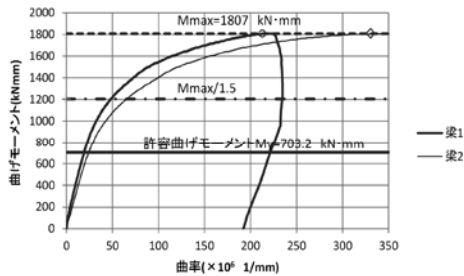


図 20 試験体 No.2 曲げモーメント-曲率関係の比較

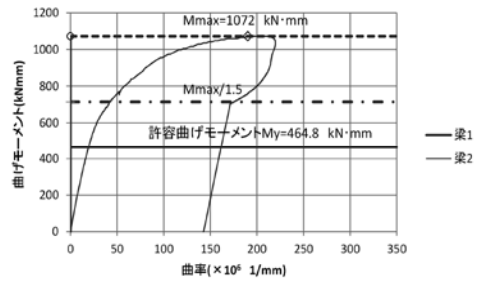


図 21 試験体 No.3 曲げモーメント-曲率関係の比較 (梁 1 においてはひずみゲージ S2 が試験前にはがれてしまったためデータなし)

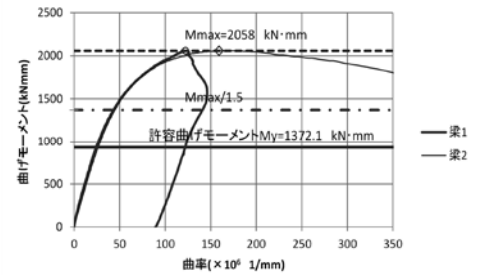


図 22 試験体 No.4 曲げモーメント-曲率関係の比較

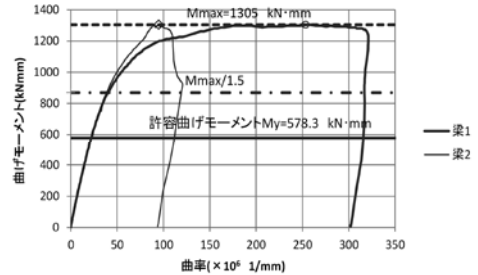


図 23 試験体 No.5 曲げモーメント-曲率関係の比較

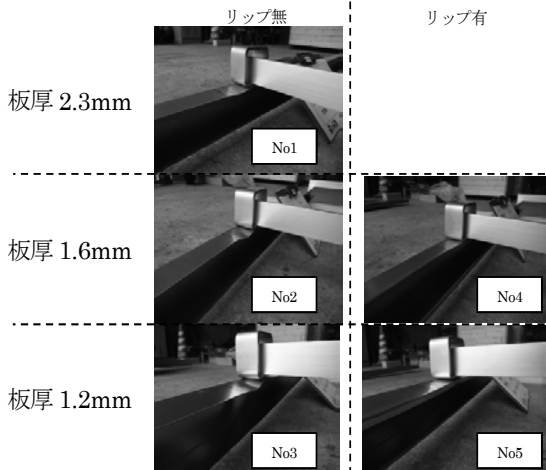


写真 9 各試験体の終局状況

以上の結果より、算出した許容値は、いずれも実験結果を安全側に評価できていることが示された。また、各

試験体の終局状況を写真9に示す。破壊は写真のように、部材中央部における局部座屈が生じ、終局に至る破壊形式であった。

6. 実大鉛直載荷実験の概要

実構造物の適用例として、太陽電池アレイを搭載した大型カーポートへ応用を検討する。写真10に試験体外観を示す。



写真10 試験体外観

実験は積雪荷重を想定した鉛直載荷を行うこととし、試験体に鉄板による錘を合計4496kg(44.1kN)まで、順次天井クレーンを用いて試験体上に等分布になるように載せることで鉛直下向きに載荷した。図25に示すように試験体の梁及び折板部における計9か所の鉛直変位(D1~D9)と柱(基礎から高さ1200mm位置)のひずみ(S1~S16)及び梁中央位置のひずみ(S17~S24)を測定する(図26参照)とともに、試験体の状況を目視観察した。このとき、中央部たわみ δ は、次式により算出した。

$$\begin{aligned} \text{手前の梁中央部たわみ } \delta_1 &= D2 - (D1 + D3)/2, \\ \text{折板中央部たわみ } \delta_2 &= D5 - (D4 + D6)/2, \\ \text{奥側の梁中央部たわみ } \delta_3 &= D8 - (D7 + D9)/2 \end{aligned}$$

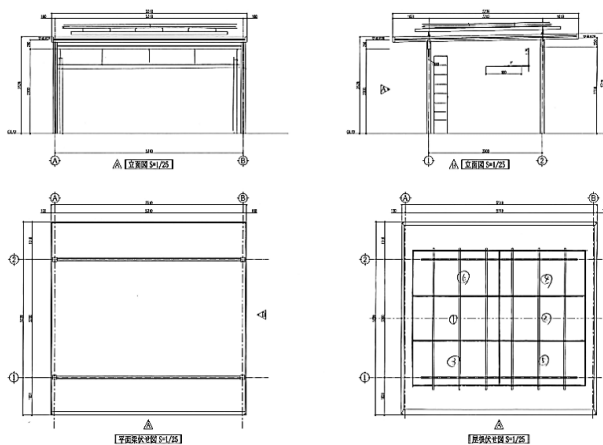


図24 試験体図面

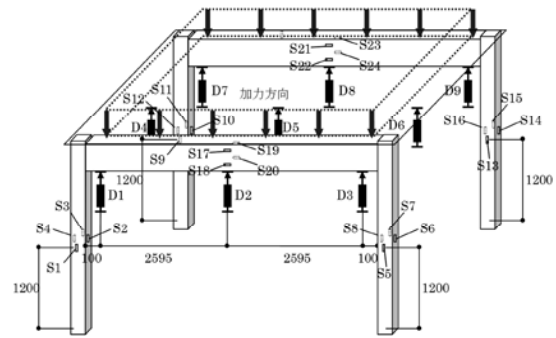
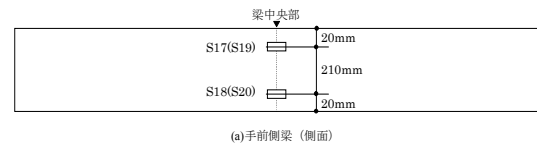


図25 試験方法および計測位置



(a)手前側梁(側面)

図26 梁中央部におけるひずみゲージ貼り付け位置

本試験体における柱、梁部材は、折り曲げ材を組み合わせて閉断面角形鋼管とした組立部材であり、図27、図28に柱及び梁部材の断面詳細図を示す。表10に最大たわみおよび残留変位を示す。

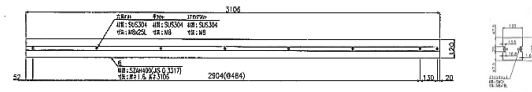


図27 柱部材断面

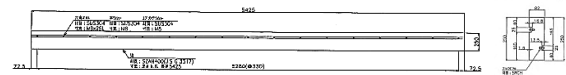


図28 梁部材断面

表10 最大たわみおよび残留変位

位置	最大たわみ mm	残留変位 mm
手前の梁 δ_1	44.9	19.2
折板中央 δ_2	47.7	20.8
奥側の梁 δ_3	40.0	17.0

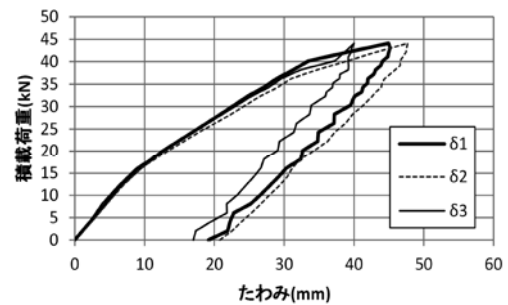


図29 荷重-変位関係

図 29 に荷重-変位関係を示す。図中 δ_1 (太線) は手前の梁中央部たわみ, δ_2 (点線) は折板中央たわみ, δ_3 (細線) は奥側の梁中央部たわみを示す。

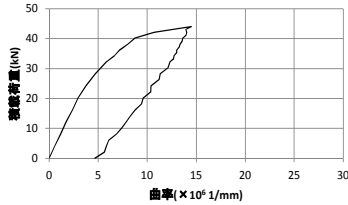


図 30 荷重-曲率関係 (手前側梁)

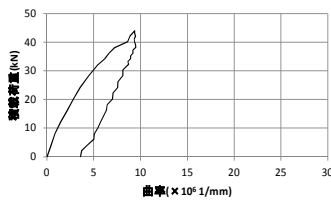


図 31 荷重-曲率関係 (奥側梁)

積雪荷重に対する許容応力度の検討

JIS に規定されている設計用積雪荷重は次式で表される⁽⁵⁾。

$$S_p = C_s \times P \times Z_s \times A_s \quad (2)$$

ここに、

S_p : 積雪荷重 (N)

C_s : 勾配係数 ($C_s = \sqrt{\cos(1.5\beta)}$, β : 積雪面の勾配)

P : 雪の平均単位荷重 (積雪 1cm 当たり $N \cdot m^{-2}$)

Z_s : 地上垂直積雪量(m)

A_s : 積雪面積 (アレイ面の水平投影面積) (m^2)

雪の平均単位荷重 P を一般地区である 20N とし、積雪面の勾配は $\beta=0$ 度、積雪量を東京 (区域の標準的な標高 $h_s=100m$, 区域の標準的な海率 $r_s=0$) における 50 年再現期待値により算出した地上垂直積雪量 $Z_s=0.33m$, カーポートの積雪面積を $A_s=28.87m^2$ ($5.239m \times 5.510m$) として、積雪荷重 S_p を算出すると、19.05kN となる。今回の鉛直載荷実験では、最大総積載荷重 44.1kN に対し、除荷後残留変形が残る結果であったが、総積載荷重 19.05kN 時では、荷重-変形の関係はほぼ弾性性状を示す結果であった。前節同様に梁中央部で計測したひずみ値から算出した部材の曲率関係を図 30, 図 31 に梁の荷重-曲率関係で示す。手前側梁が奥側の梁に比べ若干大きな曲率を示しているが、これは、屋根折半が手前側に向け、若干の水勾配を取っているためであると考察され

る。また、写真 11 に最終載荷状況と除荷後残留変形を示す。



写真 11 最終載荷状況と除荷後残留変形

7. まとめ

本論文では、これらの軽鋼構造部材の最大耐力と破壊性状を確認するために実施した曲げ耐力試験および折板を固定する際に使用するタイトフレームの引張耐力試験の結果について報告した。また、太陽電池アレイ用支持架台における軽鋼構造部材の耐力特性に関する基礎的特性を調査するために部材要素曲げ実験を実施し、実構造物の適用例として、太陽電池アレイを搭載した大型カーポートへの応用を検討し、その実大鉛直載荷実験について報告した。

その結果、本要素実験で用いた軽鋼構造部材では、横補剛を行った行うことで横座屈などは生じず、算出した許容値は、いずれも実験結果を安全側に評価できていることが示された。また、リップを有する部材は、リップ無に比べ大きな耐力を有し、リップ加工の有効性が確認された。また、実大のカーポートの実験においては、積雪荷重を想定した載荷実験を行い、本鋼材を用いた構造物の耐力特性を調査し、その性能を確認した。

参考文献

- (1) 中村良平, 相原知子, 傾斜角度の小さい地上設置型太陽電池アレイに作用する風力特性 その 1 単独の場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 構造 I(2010-9), pp.173-174.
- (2) 扇谷匠己, 岡崎充隆, 神田亮, 太陽光パネルに作用する風荷重, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 構造 I(2010-9), pp.169-170.
- (3) 松本慎也, 大里和生, 石田徹, 山田裕義, 山下肅, 丸勝久, 山口善徳, 太陽電池アレイ用支持架台における軽鋼構造部材の耐力特性に関する研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 35 巻(2012-3), pp.289-292.
- (4) 日本建築学会, 軽鋼構造設計施工指針・同解説 (2009-7)
- (5) 日本工業標準調査会, JIS 太陽電池アレイ用支持物設計標準, JIS C 8955:2011 (JEMA), 日本規格協会(2011-2)