

(技術資料)

アルミ合金製車体フレームの溶接組立精度向上

Improvements Welding Assembly Accuracy on Aluminum Alloy Car Body Frames



今村美速

Yoshihaya Imamura

In order to assemble a car body frame with sufficient accuracy, using welding, it is necessary to design the assembly jig to take into account welding distortion. In the case of car bodies using the aluminum alloy materials, welding distortion is especially important. In this paper, welding experiments on a full-scale model were conducted first. Subsequently, welding experiments on partial models, in which the relation between the welding distortion and the jig effect was considered, were conducted. Consequently, an assembly jig ideally suited to the welding assembly of car body frames was successfully developed.

まえがき = 地球環境保全, 省エネルギーなどの観点から自動車の軽量化による燃費の向上が望まれており, 車体へのアルミ材の適用も増加しつつある。欧州ではスペースフレーム構造のアルミ材を多用した Audi A2 が, 月産数千台のオーダで市場に投入されている¹⁾。フレーム構造の形成にはアーク溶接を用いるが, 高精度の組立てには溶接変形を見込んだ組立治具を設計する必要がある。特にアルミ材は鋼材に比べて溶接変形が大きいので, その変形量を把握することは重要課題となる。溶接変形挙動は, 平板や単なる部材結合を対象としての基礎的検討²⁾³⁾においては把握されているものの, その知見を実際のなフレーム組立へ直ちに利用することは難しい。

ここではフレーム構造の形成を念頭において, 実物サ

イズの試験体による溶接変形の定量評価を実施することで, 各種施工が組立精度に及ぼす影響を調査するとともに組立精度向上策について検討した結果を報告する。

1. 車体フロアフレームを想定した溶接組立

1.1 フレーム溶接変形試験法

車体構造に近似した実物サイズのフレームにおいて, 実際に精度要求がなされる部位⁴⁾での溶接変形を定量化することで, 各種施工が組立精度に及ぼす影響が把握できる。ここでは手動ミグ溶接(以下MIGと称す)と手動ティグ溶接(以下TIGと称す)によりフレーム組立を実践し, 溶接変形挙動及び組立精度や作業効率に関する両者の差異を明確にする。図1は, フロアフレームを

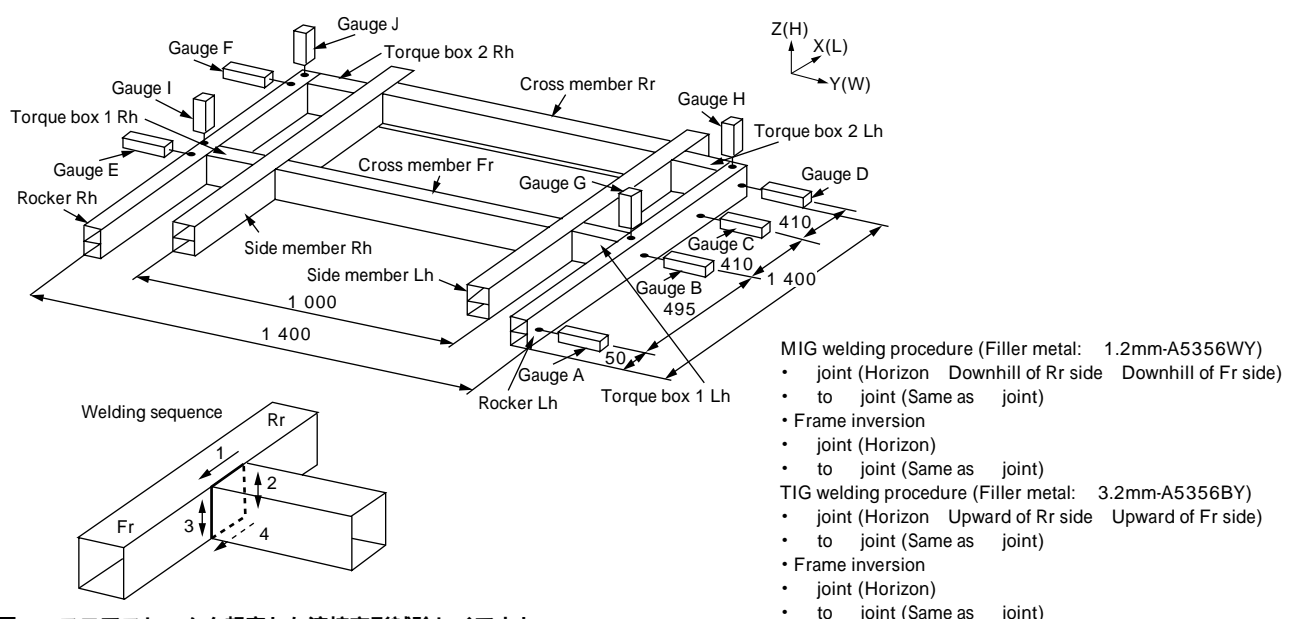


図1 フロアフレームを想定した溶接変形試験レイアウト

Fig. 1 Layout of floor frame in welding distortion test

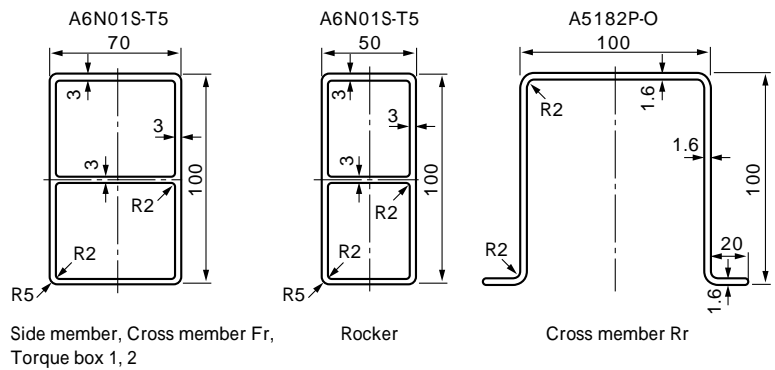


図2 部材の断面形状と材質
Fig. 2 Cross-sectional profiles of frame members and materials

想定した供試体と溶接変形試験法を示したものである。この供試体には ~ の結合部があり、これらを順次溶接する過程で変位計 (A ~ J) によって動的伸縮量⁵⁾を測定し、その変形挙動を調査する。溶接手順は結合部の拡大図にあるように 1 2 3 の順で進め、まで終了したところでフレーム全体を反転させて下面 4 の溶接を行う。部材は図2に示すように、リヤクロスメンバに肉厚 1.6mm の A5182P-O のプレス部材を用いた以外はすべて肉厚 3mm の A6N01S-T5 であり、それらは閉断面形状を有しているため下面 4 の溶接を行う必要がある。溶添加材は A5356 で MIG は 1.2mm, TIG は 3.2mm のものを用いた。また、2 と 3 の立向溶接は MIG では下進としたが、TIG では上進で行った。写真1は試験状況であり、定盤上に位置決め用の当たり⁶⁾を弱い仮付け溶接で設置し、拘束力をなるべく与えず、フリー溶接に近い状態とした。



写真1 溶接変形試験状況
Photo 1 Setup for welding distortion test

1.2 フレーム溶接変形挙動

図3にフレーム組立過程の溶接変形挙動の例として、高さ方向変位 (H) を計測する変位計 G, H, I, J の値の変化を示す。上図は MIG, 下図は TIG の場合である。これらはロッカの浮き上がり変形を表わしており、順次溶

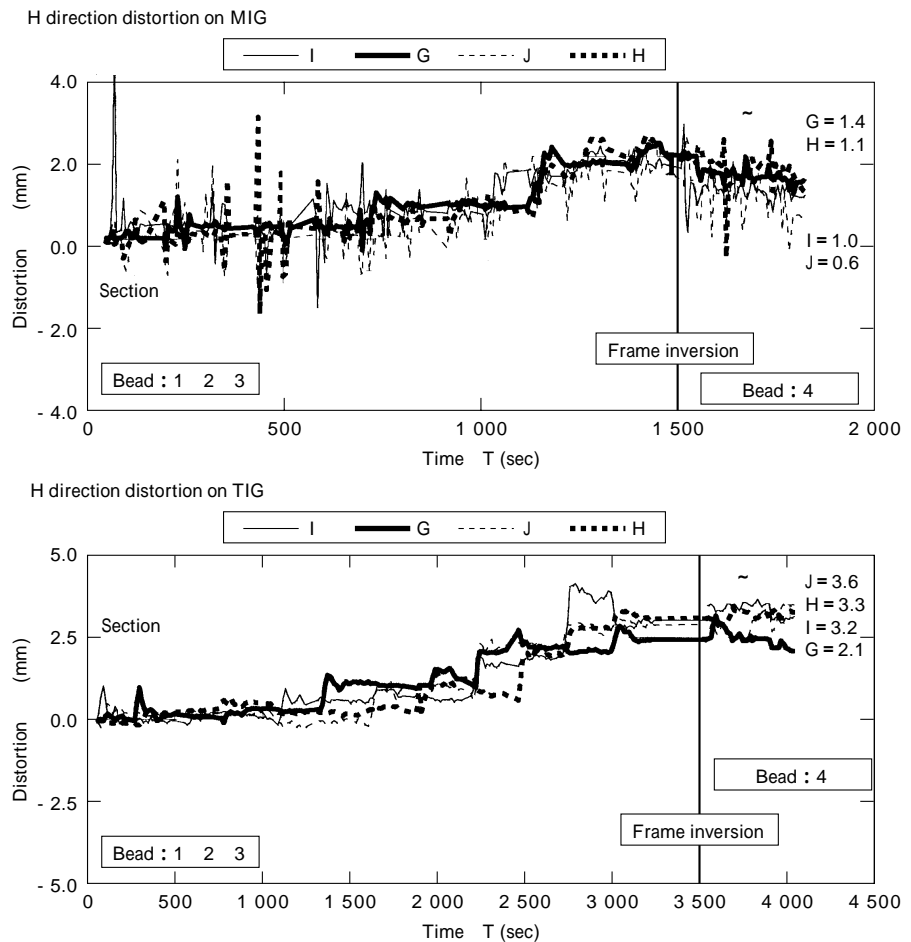


図3 組立過程における溶接変形挙動
Fig. 3 Welding distortion behavior in assembly process

表 1 MIG と TIG による終局溶接変形と組立時間の比率

Table 1 Comparison between MIG and TIG on final welding distortion and assembly time

	Rocker bend of Gauge A (mm)	Frame lateral contraction (mm)		Frame separation from base Gauge G, H, I, J (mm)	Total time of assembly (sec)
		Gauge B-E	Gauge D-F		
MIG	3	1	0	1	1 800
TIG	5	1	0	3	4 000

接する過程で変形が増加し、大きな変形を発生させる結合部や溶接ビードの存在が確認された。MIG では 1 800 sec で組立完了し、その終局変形が 1mm 程度であるのに対し、TIG では組立完了まで 4 000sec 要し、終局変形が 3mm 程度になる。つまり MIG では TIG よりも作業時間が 1/2、変形も 1/3 となるのが定量的に把握できた。同じように幅方向変位 (W) を計測する変位計 A によりロッカの曲がり量を、変位計 B (及び D) と対向する変位計 E (及び F) との読み値の差からクロスメンバ結合部のフレーム横収縮量を求め、表 1 にまとめた。ロッカのフレーム内側への曲がり量は MIG が 3mm 程度に対し、TIG は 5mm 程度であった。フレーム横収縮量は MIG と TIG で差異が見られず、フロントクロスメンバ部で 1mm 程度、リヤクロスメンバ部で 0mm であった。このリヤクロスメンバ部が収縮を生じないのは、開断面形状であるため下面 4 の溶接がないことと、薄肉で横収縮が断面形状変形として吸収されていることが挙げられる。

2. フレームの溶接組立精度向上策の検討

2.1 フレームの組立精度評価法

フレームの組立精度に関する基礎データを極力多く採

取る目的で、図 4 に示すような単純フレームを用いて溶接変形試験と組立精度の評価を繰返した。写真 2 は溶接変形試験状況であり、試験の再現性を確保するためにジグと MIG ロボットを用いた。フレームの組立精度は、ジグの横に設置した可搬式 3 次元形状測定機によって溶接前後での計測値の差として求めた。その計測ポイントは、図 4 に示した 5 個の Y-Z 断面で規定される左右のサ



写真 2 溶接変形試験に用いたジグとロボット
Photo 2 Jigs and robots in welding distortion test

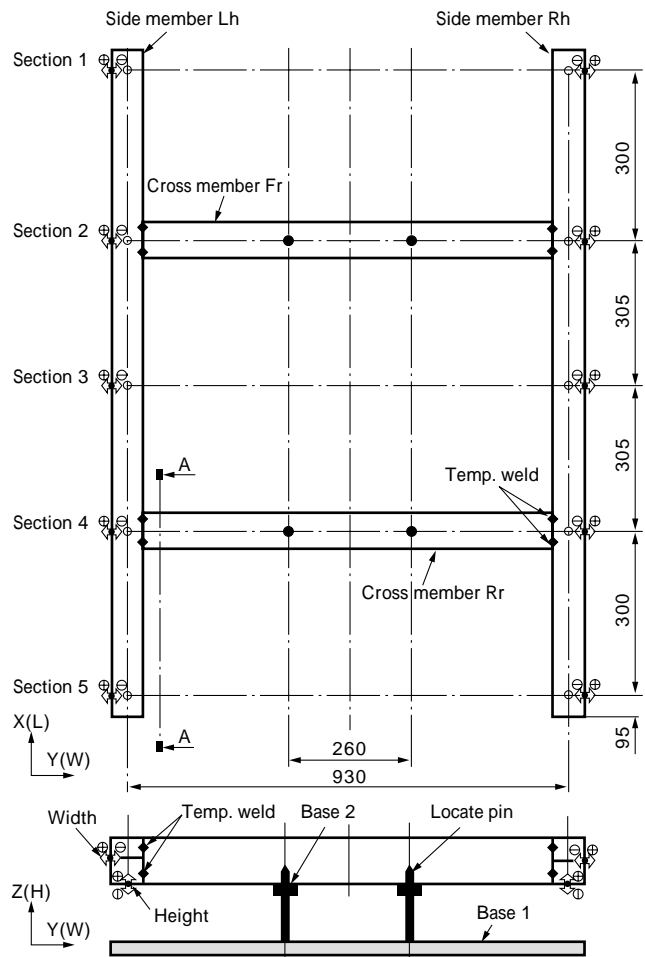


図 4 単純フレームの溶接変形試験レイアウトと計測ポイント
Fig. 4 Layout of simple frame in welding distortion test and measurement points

イドメンバ外側面と下面の中心点であり、それぞれ幅方向と高さ方向の組立精度が得られる。

2.2 部材組合わせの影響

表2に示すサイドメンバとクロスメンバとの組合わせ(3種類)について、組立精度を評価した。メンバの断面形状は同一外形(短辺70mm×長辺100mm)で、口型と日型の2種類(何れも肉厚2mmのA6N01S-T5)であり、長辺と短辺の配置を換えた組合わせとした。予めジグによって位置決めし、仮付け溶接された3種類のフレームを各3体ずつ試験に供した。結合順序は、まずフロントクロスメンバにおいて左右の順でサイドメンバを結合し、次にリアクロスメンバに移って左右の順でサイドメンバの結合を行った。溶接手順は図1のMIGに準ずる。なお、溶接時は図4のようにクロスメンバのみを基準ピンで位置決めし、ほかの当たりや押さえは使用していない。

図5は部材組合わせによる組立精度であり、同一条件で試験した3体の組立精度の代表値を比較したものである。左図が左サイドメンバ、右図が右サイドメンバで各

測定ポイントにおける幅及び高さ方向の組立精度を表示した。部材組合わせ1,2,3の順で精度が向上していることが分かる。

幅方向の組立精度は部材組合わせに係らず、左図と右図ともに同様な傾向を示し左右対称となるのに対し、高さ方向の組立精度は部材組合わせ1と2が左右非対称となり、フレームがねじれ変形を生じる。原因は、図1の溶接線1と4が剛性の低いサイドメンバの側面上ですみ肉溶接部を形成し、その溶接変形がフレームのねじれ変形を引起こしたものと推定される。部材組合わせ3では溶接線1と4がサイドメンバの角部で突合わせ溶接部を形成するが、この部分は剛性が高いため溶接変形が生じにくく、フレームのねじれ変形を起こしにくくしているものと思われる。また、サイドメンバの断面形状に剛性の高い日型を使用した部材組合わせ2と3では、計測ポイント1と5のサイドメンバの片持部曲がり変形、計測ポイント3のサイドメンバのフレーム内への曲がり変形、計測ポイント2と4のクロスメンバ結合部のフレーム横収縮が軽減される。

表2 部材断面形状の組合わせ
Table 2 Combinations of frame member cross-sectional profiles

	Combination 1	Combination 2	Combination 3
Side member Lh and Rh			
Cross member Fr and Rr			

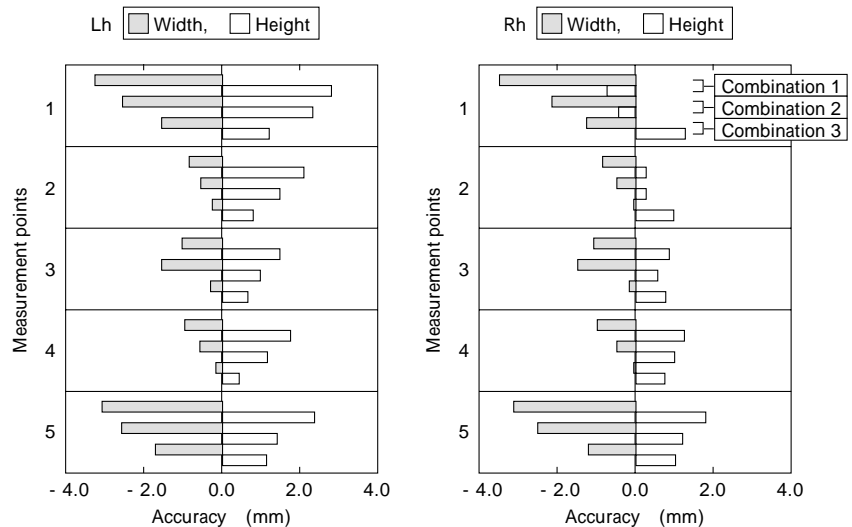


図5 部材組合わせによる各計測ポイントでの精度

Fig. 5 Accuracy at each measurement points under various member combinations

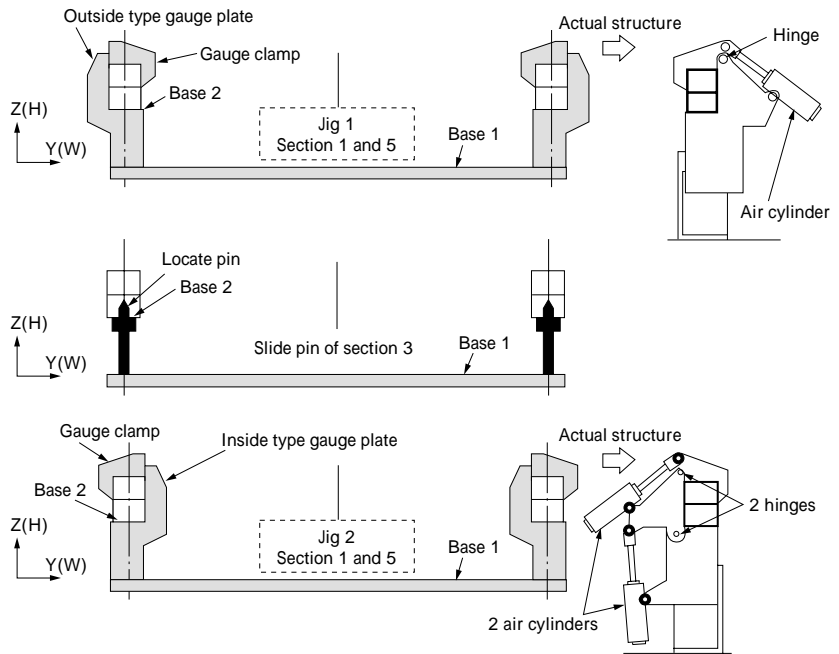


図6 固定ジグ構造と2種類のゲージプレート配置

Fig. 6 Jig structures and gauge plate dispositions

2.3 フレーム組立用ジグ

ジグの使用効果は作業効率と溶接品質にそれぞれ反映されるべきであり⁷⁾、ここでは仮付け溶接の省略可否と溶接変形抑制効果を確認した。図6に示すジグ1はフレームの外幅を基準としてゲージプレート(当たり)をフレームの外側に配置しており、車体組立ではよく使われる。ジグ2は試験用に考案したものであるが、フレームは横収縮し、片持部の曲がり変形はフレームの内側に向かうので、その矯正効果を狙って変形を迎える位置にゲージプレートを配置した。ジグ2ではゲージプレートとフレームが変形によって密着し、ジグからフレームが離脱できなくなるので、図6の右にあるように2個のヒンジを使ってフレームを解放した。これらゲージプレートとクランプ(押さえ)は図4の計測ポイント1と5に相当する位置に設置し、計測ポイント3の基準ピンでサイドメンバを位置決めした。試験には前節の部材組合わせ3を用い、その溶接手順は前節と同様である。

図7は仮付け溶接の有無とゲージプレート配置など、ジグの効果を確認した結果である。ジグ1を使用して仮付け溶接を省略すると、ジグを使用しない(仮付け溶接

有)前節の結果よりも寸法誤差が大きくなる。しかし、仮付け溶接とともにジグを用いると、ゲージクランプの変形抑制効果が現れる。更にジグ2を用いることで曲がり変形をより小さく抑えられるが、上述したようにジグ構造が複雑になるため得策とは言い難い。

2.4 溶接手順の適正化

ジグ1を使用して溶接手順の適正化を図った。表3はサイドメンバの片持部の曲がり変形と溶接手順の関係についてまとめたものである。表中の図は図4中の断面A-Aを模式化したもので、それぞれの下に曲がり変形の代表値を付記した。最初にフレーム外側の立向下進溶接を行い、水平溶接はフレーム外側から内側に向けて行うことで曲がり変形を0.5mmに抑えることができる。

表4はサイドメンバの浮き上がり変形と溶接手順の関係についてまとめたものである。表中の図は図4中の側面図を模式化したもので、それぞれの下に浮き上がり変形の代表値を付記した。立向溶接は基準面に向かって行い、さらには左右のサイドメンバを写真2のように同時に溶接することで浮き上がり変形を0.5mmに抑えることができる。

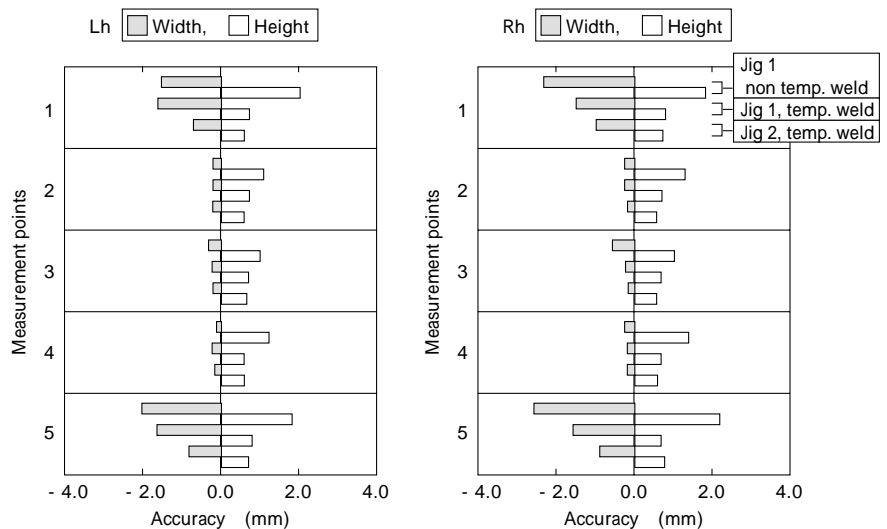


図7 精度に対する仮付け溶接とゲージプレート配置の影響

Fig. 7 Effect of temporary weld and gauge plate dispositions on accuracy

表 3 サイドメンバの曲がり変形量と溶接手順の関係
 Table 3 Relationship between welding sequence and bend distortion of side member

Bend	Direction of horizontal welding (HW)		
	Good ←		
	From outside to inside	From inside to outside	
Downward welding (DW) sequence ↑ Good	First: Outside DW	 0.5mm	 1.0mm
		 0.5mm	 1.0mm
	First: HW Second: Outside DW	 1.0mm	 1.0mm
		 1.5mm	 1.5mm
	First: Inside DW	 1.5mm	 1.5mm
		 1.5mm	 1.5mm

表 4 サイドメンバの浮き上がり変形量と溶接手順の関係
 Table 4 Relationship between welding sequence and separation from base on side member

Separation from base	Welding sequence of both side member	
	Synchronization	Non synchronization
Direction of each bead	To base 0.5mm	Non synchronization 1.0mm
	Contradiction 1.5mm	Non synchronization 2.0mm
	From base 2.0mm	Non synchronization 2.5mm



写真 3 溶接組立によるスペースフレーム車体構造
 Photo 3 Space frame body structure for weld assembly

むすび = 車体フロアフレームを想定した溶接組立や、それを単純化したフレームを用いた溶接変形試験を繰り返した。結果、各種施工が組立精度に及ぼす影響を把握することができ、いくつかの組立精度向上策を得た。その知見を用い、写真 3 に示すスペースフレーム車体構造の試作を行い、概ね ± 1mm 以内の寸法精度で組立てられることが確認された。

参考文献

- 1) 今村美速: 溶接学会関西支部技術セッション, アルミニウム及びアルミニウム合金の溶接の基礎と溶接施工の実際 (2000) p.24.
- 2) M. Di. Pardo et al. : ADM020 (1999) p.69.
- 3) O. R. Myhr et al. : Welding Journal, July (1998) p.286-s.
- 4) 渡部弘行: 鉄と自動車, (1996) p.73, オーム社.
- 5) 薄板加工法委員会ひずみ防止研究小委員会: アルミニウム合金の溶接ひずみ防止マニュアル, (1982) p.111, 軽金属溶接構造協会.
- 6) 中村春雄ほか: アーク溶接用治工具入門, (1986) p.35, 産報出版.
- 7) 杉田稔: 治具技術応用データ集, (1980) p.349, 新技術開発センター.