

(解説)

自動車衝撃吸収用アルミニウム合金押出製品の開発動向

Trends in Development of Aluminum Alloy Extrusion Products for Improved Vehicle Energy Absorption



橋本成一*
Narikazu Hashimoto



江口法孝*
Noritaka Eguchi



今村美速**
Yoshihaya Imamura

This article describes examples and features related to aluminum alloy extrusion products used for vehicle bumper beams. The design of a bumper system, which satisfies the latest safety performance standards, is also described in relation to future trends in this industry. In addition, a newly developed aluminum stay, produced using an electro-magnetic forming method, and its strength characteristics are discussed.

まえがき = アルミニウム合金押出材は、軽量なことに加えて、鉄では困難な任意の肉厚配分をもつ複雑な断面形状を得ることができる。自動車用バンパビーム向けには、この利点を利用し 6000 系 (Al-Mg-Si 系)、7000 系 (Al-Mg-Zn 系) 合金のアルミニウム合金押出材が採用されている¹⁾。また、最近の自動車では、意匠面であるバンパカバーとバンパビームの間に発泡樹脂が取付けられ、バンパビームはステイなどの取付け部品を介して、車体メンバに取付けられる構造が多くなってきている。特に衝突時のエネルギーを吸収させる上で、バンパビームとステイで構成されるバンパシステムの役割は、年々高まってきている²⁾。

一方、アルミニウム押出材を 3 次元加工する変断面成形方法としては、ハイドロフォーミングが比較的大きな部品に適用されているが、中小型部品については、有効な加工方法が確立されていないのが現状である。当社では変断面成形方法として、管状のアルミニウム合金押出材に対する電磁成形法³⁾に着目し、実用化の研究開発を行ってきた⁴⁾。

本報では、アルミニウムバンパビームの技術動向を述べ、電磁成形方法を利用したアルミステイの製造およびそのステイを使用したバンパシステムの性能について解説する。

1. バンパシステム

1.1 バンパビーム用アルミニウム合金

自動車用バンパビームの素材には、主に高張力鋼板もしくは、アルミニウム合金用押出材が適用されている。ここでは、バンパビーム用アルミニウム合金について説明する。

一般に、アルミニウム合金の押出性は、強度が高くなるにしたがって低下する。7003 合金は 7000 系合金の中

では押出性に優れる。より強度が必要な場合は、7N01 合金などを選択するが、押出性が劣るため薄肉化には限界がある。一方、6000 系合金は、強度は 7000 系合金と比較して低いものの押出性が優れる利点があり、6N01 合金の使用実績が多い。7000 系合金の中で、Mg、Zn の添加量を検討した結果、耐力が 350MPa と高強度で、7003 合金と同等の変形抵抗を有する新合金を得た。現在、主にバンパ材への適用を進めている。

1.2 バンパシステムに対する要求性能

バンパシステムは、一般的に図 1 に示すような構造となっている。最外側には薄殻構造の樹脂部品が配置され、その内側には発泡樹脂がエネルギー吸収材として存在する。発泡部材の内側に補強材として金属製バンパビームがステイを介して車体メンバに取付けられている。ステイも金属製が主流となっている。自動車の種類によっては、ステイが無い場合もある。

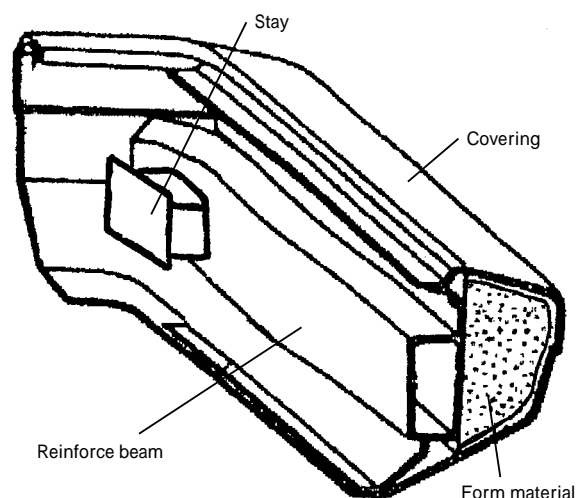


図 1 バンパシステムの構造例²⁾
Fig. 1 Example of bumper structure²⁾

*アルミ・銅カンパニー 長府製造所 アルミ押出工場 **アルミ・銅カンパニー 技術部

表 1 各国バンパ衝突基準²⁾
Table 1 Bumper impact test standards²⁾

Enforce country	Name of standard	Pendulum impact		Barrier impact	Evaluation points
		Center	Corner		
USA	(former) Part 581	5mph (2times)	3mph (2times)	5mph	No body damage No functional damage
	Part 581	2.5mph (2times)	1.5mph (2times)	2.5mph	No body damage No functional damage
	IIHS	3mph (corner barrier) 6mph (full barrier)			Repair costs
Canada	CMVSS215	5mph	3mph	5mph	No functional damage
Europe Union	ECE No.42	4.0km/h (2times)	2.5km/h (2times)	-	No functional damage
Gulf countries	G.S.41	4.0km/h (2times)	2.5km/h (2times)	-	No functional damage
All country	RCAR	15.0km/h (40% offset barrier)			Repair costs

mph : mile/h

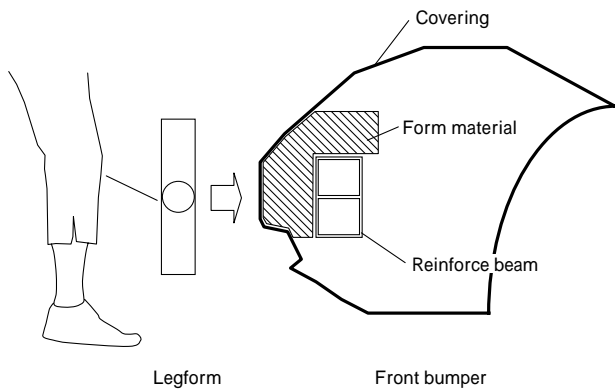


図 2 脚部保護評価試験
Fig. 2 Evaluation test of leg protection

バンパシステムには、操縦安定性能を高めるための剛性付与の役割、けん引用ブラケットやセンサ等部品を取付けるための機能的役割もあるが、主たる役割は、衝突時のエネルギーを吸収することである。各国の衝突条件を表 1 に示す。

8km/h 以下の軽衝突においては、フードやトランクリッド、ランプ等車体部品の機能を損傷させないことが目的となる。この速度領域では、主にバンパビームを塑性変形させることで衝突エネルギーを吸収し、車体の損傷を防ぐ。最近改正された米国保険業界レイティング IIHS (INSURANCE INSTITUTE FOR HIGHWAY SAFTY) の軽衝突では、車高の異なる自動車同士が衝突した場合を想定した試験方法が採用されている⁵⁾。IIHS は、法的な拘束力はないが、衝突試験後の修理費に基づいてランク付けした結果が公表されるため、自動車の売上げに間接的に影響をおよぼす。よって自動車メーカーとしては、IIHS の改正に伴って、高さ方向にオフセットした衝突にも対応する必要性が生じるため、バンパビームの断面は、これまでよりも大型化していくことが予想される。

一方で、15km/h のオフセット斜めバリア衝突(車幅の 40%の重なりをもって対向車と衝突する)においては、バンパビームだけでなく、積極的にステイを塑性変形させることで、衝突エネルギー吸収特性(以下、E/A 特性)を向上させ、車体の損傷を防ぐ性能が求められる。この時のバンパ設計のポイントとしては、車体メンバの圧壊

荷重以下にバンパシステムの圧壊荷重を制限することに加え、衝突時に得られる荷重変位曲線をできる限り矩形波に近づけて E/A 効率を向上させることである。

表 1 に示す従来の低速度衝突では、車体の変形や修理費の評価を行うことがほとんどであった。これは、低速衝突時の車体保護がバンパの役割と考えられているためと思われる。近年、自動車の衝突規制がよりいっそう厳しくなったことにより、高速度域での E/A 特性の向上が求められるようになってきている。この場合、バンパシステムに車体全体の衝突エネルギーを吸収させることは困難であるが、バンパシステムの E/A 特性をさらに向上させることが求められてきている。

例えばステイは、これまでバンパビームと車体メンバを取付けることが役割であったが、E/A 特性向上の要求が厳しくなる中、バンパシステムの中で E/A 特性を高めるための重要な部品となってきている。

また、自動車への損傷性だけでなく、人身事故を想定して、歩行者の脚部を保護するための歩行者保護技術基準の検討が行われており⁶⁾、既に欧州において、いち早く適用されている。図 2 に示すような膝部や大腿部を模擬した脚部衝撃子をバンパシステムに衝突させて、衝撃子に発生する荷重値やモーメントでその特性を評価している。

自動車の損傷を抑制するには、バンパシステムの剛性を高める必要があり、一方で歩行者の保護に対しては、剛性を低下させる必要がある。こういった相反する設計要件を満足させなければならないため、バンパシステムの設計難易度は、ますます高くなっているのが現状である。

2. 電磁成形ステイ

2.1 電磁成形法

筆者らは、E/A 特性向上のための重要度が増しているステイの機能向上のため、新しく電磁力を用いたアルミニウム合金製のステイを開発したので、その特長を説明する。

従来のバンパステイは、鋼板のプレス品やアルミニウム合金押出材を溶接して作られている。しかしながら、

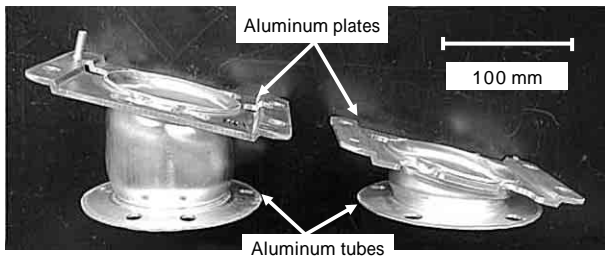


写真1 電磁成形ステイ
Photo 1 Example of electromagnetic forming stays

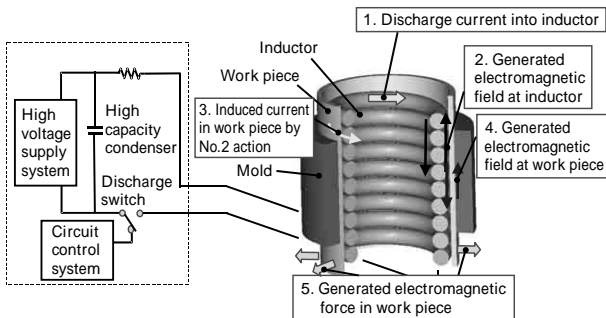


図3 電磁成形原理の構成例

Fig. 3 Configuration example of electromagnetic forming principle

鉄ステイは重量が大きく不利であり、一方でアルミステイは溶接が必要であるため、製造コストが高くなる。

当社では、高速度エネルギー加工方法で非接触成形方法である電磁成形に注目し、溶接が不要で、従来の鉄ステイよりも50%以上の軽量化を実現したアルミステイを開発した。外観を写真1に示す。

電磁成形法とは、1960年代に米国にて開発された、衝撃磁場エネルギーを瞬時に与える加工技術である。図3に示すように、インダクタと呼ばれる電磁コイルを使って被成形物に誘導電流を励起させ、成形力（電磁力）を発生させる加工方法であるため、アルミや銅のような高導電性材料の成形に適している。非接触で成形力を付与できる利点があるものの、インダクタは被加工物を成形する際に電磁力的な反力を受けてしまい絶縁部の破損を招いてしまう。このインダクタの寿命を高めることは、電磁成形法を工業的に成立させるための重要なポイントのひとつである。コイルの形状については、円弧形コイルの動作特性について報告されている⁷⁾。

電磁力を利用した成形方法を図4に示す。最近では、電磁成形によるアルミニウムへの穴フランジ加工や⁸⁾、アルミニウムと鋼板の電磁シーム溶接⁹⁾など板への適用例が報告されている。今回の電磁成形ステイ開発に関しては、拡管成形および管端部のフランジ成形を同時に行うことを狙って取組んだ。まず、写真1に示すアルミ管（押出材）と穴加工された板状のアルミ押出材が被成形部材になる。図5に成形方法の概念図を示す。アルミ管をアルミ板の穴に挿入し、続いてアルミ管の内側にインダクタを挿入する。その後、インダクタに大電流を瞬時に流すことでアルミ管に電磁力が発生し、アルミ管自体が周方向に膨張する。アルミ管は、アルミ板の穴内面に隙間なく密着し、一方で穴から突出しているアルミ管の一部は外側に折れ曲がって拡大し、アルミ板にかしめ接

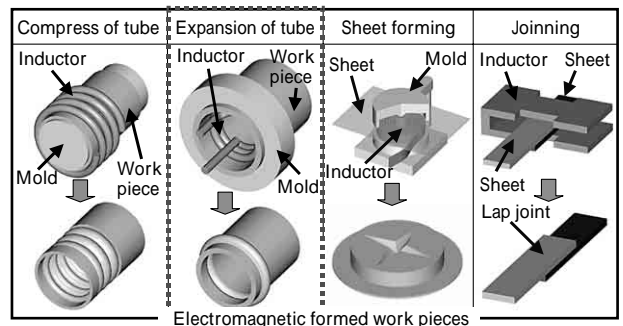


図4 電磁成形の種類

Fig. 4 The applied kind of electromagnetic forming principle

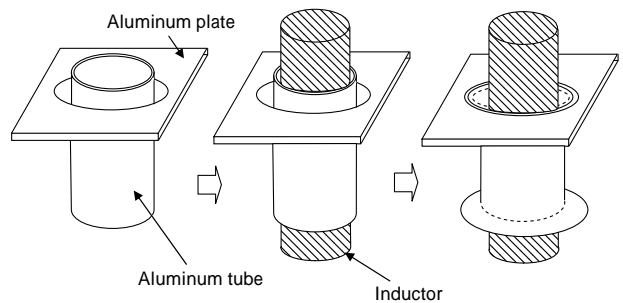


図5 電磁成形加工方法

Fig. 5 Processing method of electromagnetic forming

合される。アルミ板の無い側（写真1中の下方）は、アルミ管が外側に倒されながら大きく広がり、フランジ部を形成するように金型が設けられている。

2.2 電磁成形ステイの特長

従来の鉄製ステイは、部材を溶接するため工数がかかり、また完成品に溶接ひずみが残留する問題がある。電磁力でアルミを拡管し、かしめる場合、形状にもよるが作業工程数はおよそ半分に減少する。また、溶接を用いないため、製品の信頼性が高くなる。さらに、ステイを構成する部品点数を2ピースに削減することができる。

電磁成形ステイは、同じ圧壊性能を持つ鉄製ステイと比較して約1/2以下の重量となる。最近では、法規など一定の試験条件下での衝突性能の要求はもとより、実際の事故を想定した場合の性能評価を求められるようになってきている。電磁成形ステイは、様々な方向からの荷重に対して、同じようなE/A特性を示すため、実際の衝突事故においても十分性能を発揮することができるものと考えている。

法規などの試験では、バリアおよび振り（ペンデュラム）があり、一定の方向よりパンパシステムに衝突させて、パンパシステムの衝突エネルギーを評価する。つまり、衝突の方向や衝突エネルギーを入力値とすると、パンパシステムの変形量や生じる反力等が出力値となる。例えば、変形量が小さければ小さいほど性能が良好である。しかしながら、実際の衝突事故では、この入力値がいつも一定だとは限らない。このような入力値の変化に対して、同じような出力値を得られる性能がロバスト性（性能の汎用性、安定性）と呼ばれ、パンパシステムのステイには、E/A特性とこのロバスト性が求められる。

ここで、様々な方向からの入力荷重に対する電磁成形ステイのロバスト性の検討例を示す。軸方向を0°とし

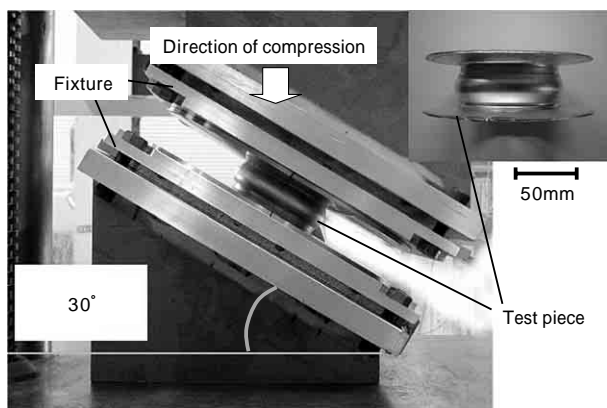


写真2 ロバスト性評価装置と試験体

Photo 2 Equipment for robustness evaluation and test example

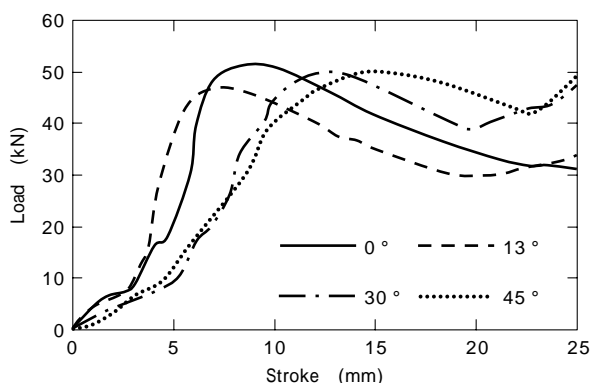


図6 電磁成形ステイ圧壊試験結果

Fig. 6 Compression test results of electromagnetic forming stays

て、荷重方向を13、30および45°に変化させた場合のE/A特性を調査した。30°傾斜時の試験状況を写真2に、試験結果を図6に示す。電磁成形ステイは、荷重の入力方向によらず最大荷重値がほぼ一定となっている。ちなみに、直管を同様に圧壊した場合、0°方向の最大荷重が最も高く、45°方向が最も低くなる。電磁成形ステイは、管を膨張させるため、胴部が球形に近い形状となる。このため、様々な方向からの衝突に対して最大荷重値がほ

ぼ一定となり、安定したE/A特性を得ることができることから、そのロバスト性が高いといえる。また、最大荷重後も急激に荷重が低下することがないことも特長である。したがって、電磁成形ステイは、製造コスト、E/A特性等総合的にパンパシステムに適した性能を有し、今後の活用が期待されるものと考えられる。

むすび=これまで述べたように、自動車用パンパシステムにはアルミニウム合金押出材が数多く採用されてきている。自動車用途として求められる特性は、新法規への対応や部品の多様化により、今後ますますより高度なものへと変化していくであろう。これに対応して、自動車用パンパシステムへのアルミニウム合金押出材の採用を進めるためには、このような要求特性の高度化に適した素材の開発や加工方法の革新、および構造の最適化を迅速に行うことが必要である。今後も、パンパシステム構造の設計開発を通じて、自動車の軽量化に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 相浦 直ほか:R&D 神戸製鋼技報, vol.52, No.3 (2002) p.83.
- 2) 橋村 徹ほか:R&D 神戸製鋼技報, vol.52, No.3 (2002) p.98.
- 3) 鈴木秀雄ほか:高エネルギー速度加工,(1993) p.161, コロナ社.
- 4) 橋本成一:第19回塑性加工技術フォーラム,各種衝撃現象を利用する先端加工技術,資料No.2(2003).
- 5) STATUS REPORT, vol.42, No.2(2007) p.1, INSURANCE INSTITUTE FOR HIGHWAY SAFETY.
- 6) 鴻巣敦宏ほか:EEVC歩行者保護試験法案に関するコンピュータシミュレーション解析,自動車研究, vol.21, No.11(1999) p.24-27.
- 7) 根岸秀明ほか:電磁成形用の円弧形コイルの動作特性,平成12年度塑性加工春季講演会講演論文集,(2000) p.235.
- 8) 根岸秀明ほか:電磁成形法によるアルミニウムおよびステンレス薄板の穴フランジ加工,平成12年度塑性加工春季講演会講演論文集,(2000) p.239.
- 9) 相沢友勝ほか:アルミニウム/高張力鋼板の電磁シーム溶接,溶接学会全国大会講演概要, vol.77 (2005) p.328.