

アルミ押出材の曲げ加工技術

貝田一浩*・平野正和*・藤井孝人*・吉田正敏**

*アルミ・銅事業本部・長府製造所 **アルミ・銅事業本部・技術部

Aluminium Extrusion Bend Processing Technologies

Kazuhiro Kaida・Masakazu Hirano・Takahito Fujii・Masatoshi Yoshida

Bent thin-walled aluminium extrusions have great potential for automotive spaceframe structures, and for architectures requiring large sectional extrusions. However, in order to promote mass production, many problems connected with this new forming process must be solved. This paper describes, typical methods for extrusion bending, the effects of material characteristics and section shape on bending, and technical problems that could develop. Experimental spaceframe production for truck cabs and door are also investigated.

まえがき = アルミ押出材(アルミ材)は、任意に肉厚配分した複雑な断面形状がえられる合理的な構造用素材であり、鉄道車両や陸上構造物などの軽量構造部材として多くの実績を持っている。しかし、曲げ加工部材としてのアルミ材の歴史は浅く、従来は比較的単純な形状で加工するエクステリア、カーポートなどの建築部材として、限られた用途に使用されてきた。

近年になり、地球環境保護を背景に軽量化が強く要求されている自動車の新構造用部材として注目され、各国で実用化研究が活発になっている。この構造はスペースフレームと呼ばれ、軽量化に加え、少量生産の車種ではコスト的に有利になる。これは、従来の大規模な板材プレスラインが不要なため、もっとも有力視される将来構造であり、欧米ではすでに実用化が始まっている¹⁾。

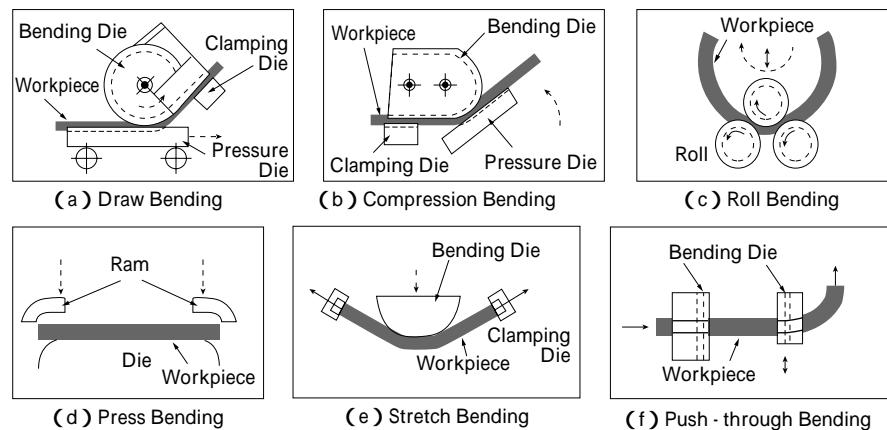
また、アルミニウム建築構造推進協議会では、アルミ材の骨格構造美を特徴とした近代的な大型建築構造につ

いて、1998年を目標に建設省の認可をえるべく鋭意活動中である。

このように、アルミ材の曲げ加工は今後重要な技術となるが、開発が始まったばかりであり解決すべき課題も多い²⁾。本稿では、アルミ材の代表的な曲げ加工法について、その特徴、材料特性と割れや形状不良の関係、型材断面形状と加工性、加工条件と成形不具合の関係などについて概説するとともに、トラックキャビンおよびドアフレームを想定して試作した実績などについて報告する。

1. 曲げ加工技術の現状

アルミ材の代表的な曲げ加工法には、第1図に示す(a)回転引曲げ、(b)圧縮曲げ、(c)ロール曲げ、(d)プレス曲げ、(e)引張り曲げおよび(f)押し通し曲げの6種類がある。それぞれの特徴を第1表に示すが、製品の要求



第1図 アルミ材の代表的な曲げ加工法
Fig. 1 Comparison of typical bending methods of aluminum extrusion

第1表 各種曲げ加工法の特徴
Table 1 Comparison of bending methods

| | Characteristic (Good A > B > C Poor) | | | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|----------|-------------|--------------|------------|----------------|
| | Accuracy | Wrinkles | Min. Radius | Bending Form | Work Costs | Equipment Cost |
| (a) Draw Bending | B | B | 1.5D* | 2 Dimensions | B | A |
| (b) Compression Bending | B | B | 3 D | 2 Dimensions | B | A |
| (c) Roll Bending | B | B | 10 D | 2 Dimensions | B | A |
| (d) Press Bending | C | C | 10 D | 2 Dimensions | A | B |
| (e) Stretch Bending | A | A | 5 D | 3 Dimensions | C | C |
| (f) Push-through Bending | C | B | 1.5D | 3 Dimensions | A | B |

* D : Diameter of extrusion mm

性能を勘案してそれぞれ最適な加工法が選定されている。

たとえば、最近話題のスペースフレームや大型建築構造では、接合部の削減とデザインの自由度拡大のため、引張り曲げと押し通し曲げをもちいた3次元曲げ加工技術が精力的に研究されている。押し通し曲げ装置の外観を写真1に示す。押し通し曲げは、曲げ半径の選択が自由で金型費も安価であるが、寸法精度が比較的劣る弱点がある。いっぽう、引張り曲げは、高精度な加工が可能な反面、大きい曲げ半径に限定され金型費も高価である。

2. 曲げ加工の技術課題

曲げ加工の限界は適用される構造物の設計自由度を決定する。割れやしわの発生は構造物の性能および外観品質を低下させ、寸法精度は組立精度や接合方法の選定に影響する。

第2図に曲げ加工精度に影響を与える要因を示す。薄肉化したアルミ材は、しわなどの座屈変形が発生しやすく、これらの不整形変形を抑制する検討はあまりおこなわれていない。曲げ加工性を向上させるには、アルミ材の断面形状、材料特性、および加工条件の影響と対策を種々の曲げ加工法ごとに明確化していく必要がある。以下に曲げ加工性に及ぼす要因について説明する。

2.1 材料特性の影響

スペースフレームや建築構造用には、機械的性質、曲げ加工性、溶接性、耐食性およびリサイクル性などから6000系アルミニウム合金が主に検討されており、中でも実績の多いA6063やA6N01が候補に挙げられている。

材料強度は加工後の寸法精度に大きく影響する。第3図に押し通し曲げで一定半径の曲げ加工を施した場合の耐力と残留角度(スプリングバック後の角度)の関係を示す。2通りの曲げ半径に対していずれも、耐力が高いほど残留角度が小さくなり、すなわち、耐力が高いほどスプリングバックが大きくなることわかる。曲げ角度のパラッキ範囲は、曲げ半径が350mmの場合の約1°にくらべ、250mmでは約2°と大きい。とくに小さい曲げ半径で加工する場合は、材料の耐力を安定させるために、押出条件や引張矯正などの製造工程管理が重要になる。

破断伸びや一様伸びは加工割れの目安であり、一般に伸びの高い材料は成形性が優れている。しかし、実際の曲げ加工では、破断伸びや一様伸びが中立軸からの距離で算出される理論伸び以下でも割れることがある。原因は、引張を受ける面が、マンドレルによるしわの拘束で平面歪みに近い加工を受けているためと推察される。断面形状や加工条件の検討による改善が必要である。

n 値や r 値は、管材の曲げ加工性に影響があるといわれている³⁾。アルミ材でも、 n 値の大きい材料は割れが起り難いとの報告がある⁴⁾。いっぽう、 r 値は、アルミ材においては円周方向の流動が管材にくらべて限定されるため、影響は小さいと考えられる⁵⁾。

材料の組織は主に外観品質に影響する。材料表面の組織は細かいほうが望ましく、大きな再結晶組織の場合は肌荒れが発生して割れの原因になる場合もある。材料組

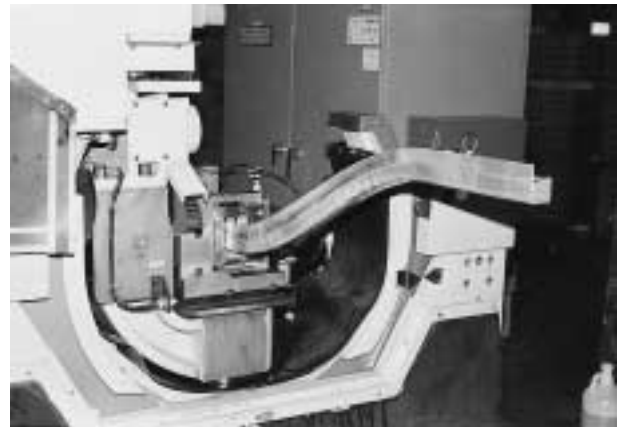
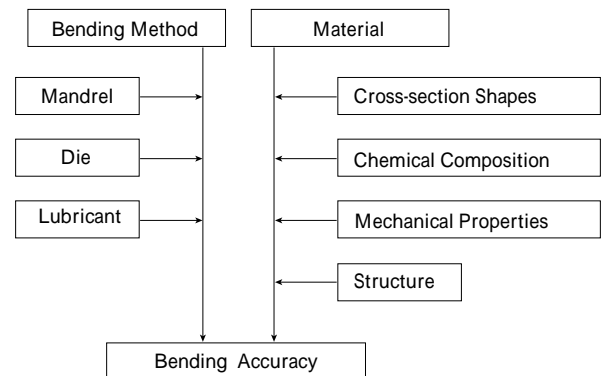
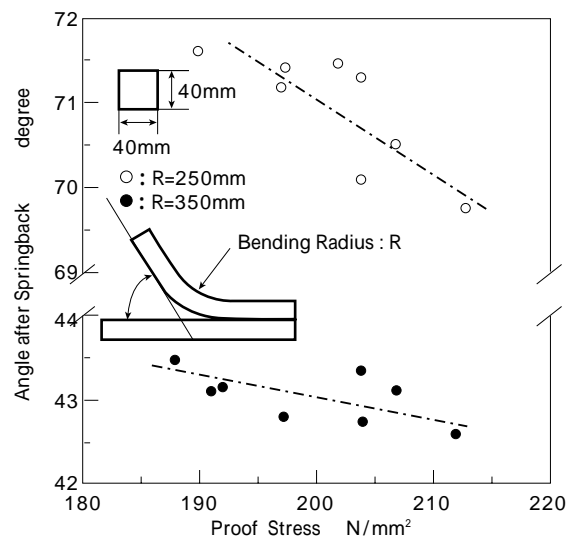


写真1 押し通し曲げ装置による3次元曲げ加工
Photo.1 3 dimensional bending by push-through bending machine



第2図 曲げ加工精度に影響する諸因子
Fig. 2 Factors that affect on bending accuracy



第3図 耐力と曲げ角度の関係
Fig. 3 Relationship between proof stress and residual angle

織を安定させるためには化学成分、押出および熱処理など製造条件の管理が重要である。

2.2 断面形状の影響

曲げ形状やしわの許容量に応じてアルミ材の最適な断面形状を設計することは、製品の品質およびコストの面で非常に重要である。

たとえば、肉厚配分と中リブ配置などの検討によって、アルミ材の曲げ加工性は大きく向上できる⁶⁾。肉厚は、厚いほうが割れやしわが生じにくく⁷⁾、その配分で図心の位置を変化させ、曲げ形状や外観品質を制御できる。ま

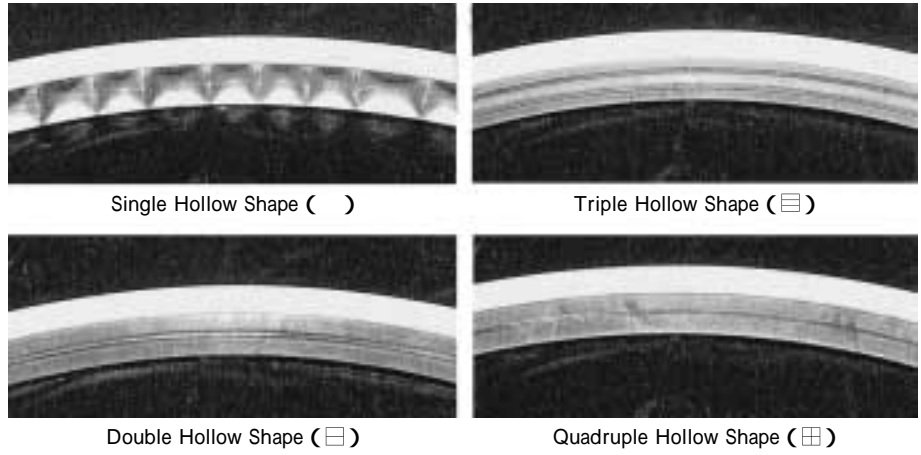


写真2 ロール曲げでの断面形状としわの関係

Photo.2 Comparison of wrinkles that depend on cross-section shape on roll bending

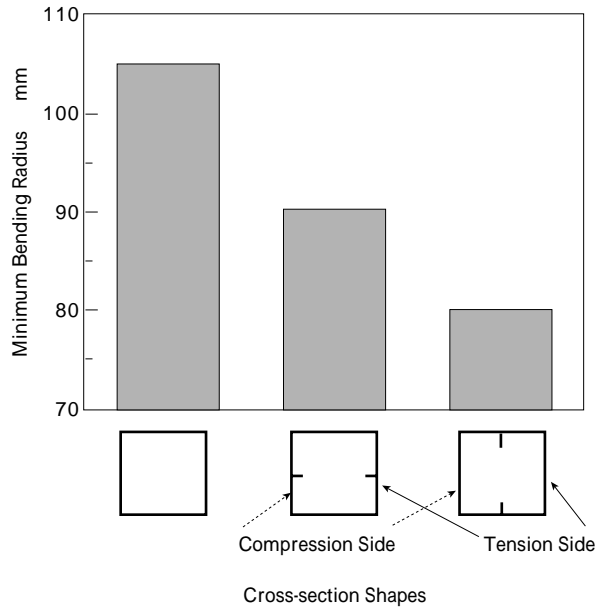
た、日型や目型の断面のように中リブを配置すれば、マンドレルを使用できないロール曲げや引張り曲げなどでの变形防止に非常に有効である。写真2に加工例を示すが、しわは中リブのない口型断面でいちじるしく大きい。

第4図に、押通し曲げでの断面形状と最小曲げ半径の関係を示す。押通し曲げは、曲げ方向に垂直なしわが座屈を誘起し加工限界を決定する。内面に突起を設けた断面とすることにより、しわの発生を抑制し、曲げ半径を小さくすることが可能となる。

2.3 加工条件の影響

アルミ型材を高精度に加工するには、マンドレルや金型の精度、および加圧力や潤滑など最適な加工条件の選定のほか、実際にはそれぞれの加工法ごとに現場的な工夫が必要である。

回転引曲げの補助圧力装置は、アルミ型材を後方から機械的に押込むもので、引張りフランジの歪みや減肉を抑制して割れを防止する。引張り曲げでは、しわを生じさせないために、アルミ型材の圧縮フランジに塑性域で



第4図 断面形状と最小曲げ半径の関係
Fig. 4 Relationship between cross-section shapes and minimum bending radius

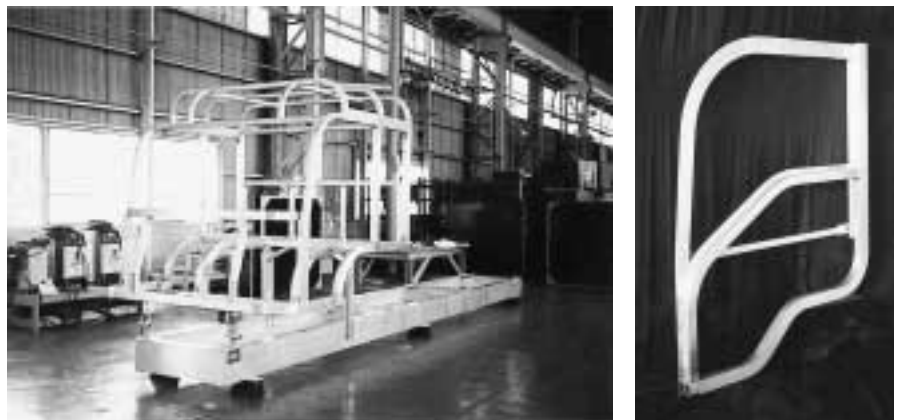


写真3 トラックキャビンとドアの加工例

Photo.3 Example of bending for truck cabin and door frame

与える張力の決定が重要である⁸⁾。また、押通し曲げでは可動治具を制御して、材料の押込み抵抗を小さくし、しわの発生を防止することで最小曲げ半径を向上させる。このほか、マンドレルの形状、材質および位置あるいは潤滑油の種類の見直しも重要である。

3. スペースフレーム試作例

曲げ加工したアルミ型材で組立てたスペースフレーム

試作例として、トラックのキャビンとドアを写真3に示す。キャビンは回転引曲げ加工した5種類のアルミ型材、およびドアは回転引曲げと押通し曲げで加工した4種類のアルミ型材とドアビームで構成している。

一般に、この種の曲げ加工では、写真4に示す割れやしわおよび寸法精度不良などの問題が予想される。今回の試作では、割れやしわを防止するために肉厚配分した断面形状を作製し、その断面や加工形状に応じたマンド

レルの種類や材質および引張りフランジの抵抗を少なくする形状を検討した結果、自動車の外観品質の目安であるしわ高さ1mm以下の成形を可能とした。また、構造体を組立てる際に問題となる寸法精度や溶接歪みは、バルジ成形で製作した勘合継手をもちいて吸収した。

4. 曲げ加工形状の予測

製品の曲げ加工形状が事前に予測できれば、適切な材料、断面形状、および加工条件の選定が容易になり、結果として製造期間の短縮と加工コストの削減が期待できる。

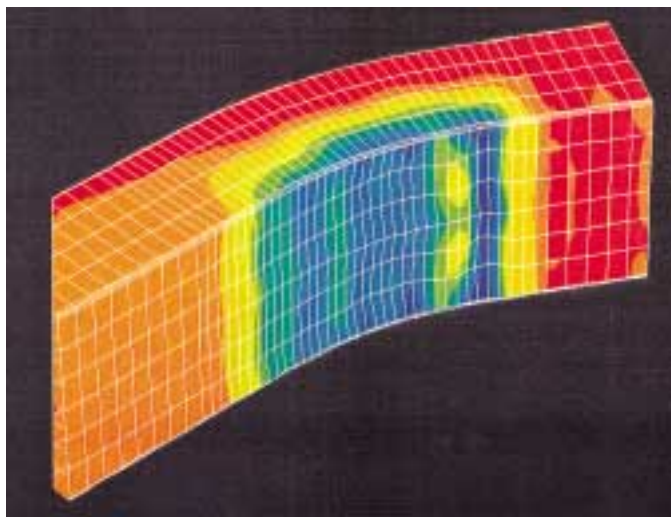
回転引曲げで日型断面を加工した場合の、しわ形態の



Crack

Wrinkles

写真4 曲げ加工における不良例
Photo.4 Typical troubles on bending



第5図 FEMによるしわ形態予測
Fig. 5 Wrinkle mode by FEM analysis

予測結果を第5図に示す。このような単純断面の予測はほぼ可能になっており、さらに複雑な断面についての検討が進んでいる。

むすび=本稿では、自動車のスペースフレーム構造や骨格建築の構造部材として近年注目を浴びているアルミ型材の曲げ加工法について、その現状と課題を紹介した。

本技術の歴史はまだ浅く、今後解決していくべき課題も多い。アルミ型材が、曲げ加工構造部材として本格的に実用化されていくには、低コストで高精度な新加工法の開発や、製品形状予測の高精度化などが求められよう。

また、ここでは述べなかったが、構造物の高性能化と組立コストの低減には構造部材の接合技術の確立が急務である。バルジ加工など立体成形継手の適用や、溶接継手における歪みや軟化の防止など、実際の組立てに実践的な技術も並行して開発していく必要があると考える。

参考文献

- 1) J. C. Benedyk : LIGHT METAL AGE, Vol. 54, No. 9, 10(1996), p.8.
- 2) 軽金属学会研究委員会: 6061, 6063 アルミニウム押出型材の曲げ加工, No.32 (1996), p.14.
- 3) 一之瀬和夫: 塑性と加工, Vol.30, No.339 (1989), p.459.
- 4) 貝田一浩ほか: 軽金属学会第84回春期大会概要(1993), p.269.
- 5) 佐藤一雄ほか: 塑性と加工, Vol.23, No.252 (1982), p.17.
- 6) 貝田一浩ほか: 軽金属学会第88回春期大会概要(1995), p.213.
- 7) 長谷川収ほか: 同上, p.253.
- 8) 桑原利彦ほか: 第47回塑性加工連合講演会(1996), p.391.