

# Al 合金製中空構造部材の加工技術開発

法政大学 機械工学科

教授 大澤泰明

(平成11年度研究開発助成 AF-1999003)

キーワード: アルミニウム合金板材, ガス発生剤, 中空構造部材.

## 1. 研究の目的と背景

新幹線, 鉄道, 地下鉄, 航空機, 船舶, 車などの輸送用機械構造体では, 適当な強度を維持し, その上で軽量化が恒常的に必要とされる. たとえば, 乗用車の車体構造を軽量化することにより, 燃費向上による省エネルギー, 排気ガス削減による環境対策がはかられる. 鉄鋼に代わる構造材としてアルミニウムは強度不足が否めないが, トラス, ハニカムなどの中空断面構造体を導入することにより, 軽量化金属の機械構造体への使用が促進されれば, そのような加工技術は社会的にも高く評価される.

図1に示すトラス構造は, たとえば新幹線車両の壁用部材として現在押し出しにより製造され, 実用に供されている. また図2のハニカム構造は, アルミニウム板材のプレス加工後, ロウ付けにより製造され, 航空機の床材として応用されている. これらの中空構造部材は, 車, 鉄道車両, 航空機, 船舶などに強度負担部材として適用され, さらなる需要の拡大が予想される. アルミニウム合金材を構造体として使用するためには, 幾何形状を工夫して材料自体の強度不足を補うよりほかにあるまい. アルミニウム合金に対する期待がますます高まりつつある中で, 中空構造体およびその製造法に対する研究の必要性が認められる.

本技術開発の当面目標とする製品は, 図3に示すアルミニウム合金製のトラス構造体およびハニカム構造体である. 提案する製造法の工程図を図4に示す. 従来, 押し出しあるいはプレス加工とロウ付けの組み合わせにより製造されていたこれら中空構造部材を板材から, 直接, 高効率で安価に製造する技術を開発する. 本研究室では, 既にこれまで実験的に全工程をフォローし, 試作品が完成しており, 製造上の問題点は既にいくつか明らかになっている. アルミニウム合金板材の圧延工場において, 本方法を実際にアプライした生産ラインの構築をめざし, 大量生産に向けた技術開発をアルミニウムメーカー, 自動車メーカー等と協力し, 実験的に研究する必要性を感じている. 本技術は, アルミニウムの表面処理, 金属面への印刷技術, ガス発生剤の使用, さらに高精度温間圧延技術などを包括的に取り込まなくては成立しない. 塑性加工技術のみに依存せず, さまざまな異業種分野における技術・ノウハウを巧みに活用することが不可欠である.

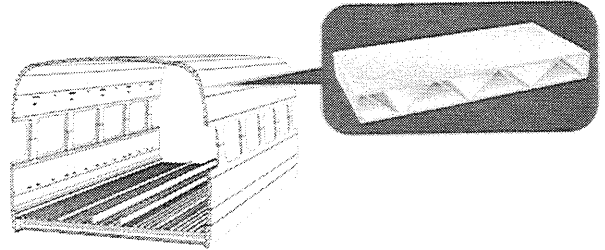


図1. 新幹線車両の壁材として使用されているトラス構造部材. 押し出しによって製造されている.

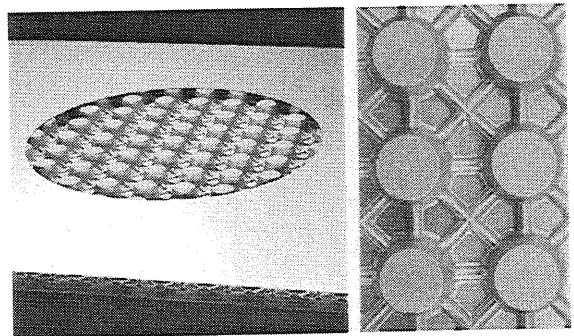
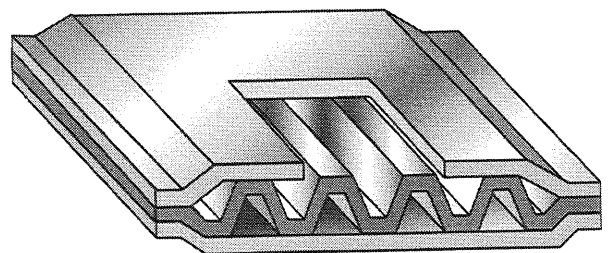
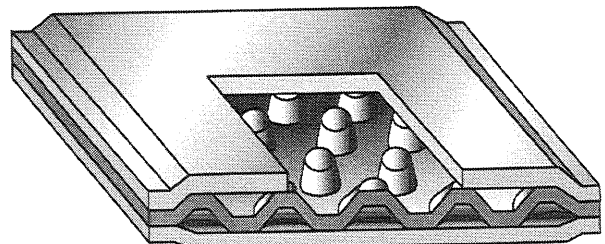


図2. 床材として利用されているハニカム構造体.



(a) トラス構造部材



(b) ハニカム構造部材

図3. アルミニウム板材より製作するアルミニウム合金製の中空構造部材.

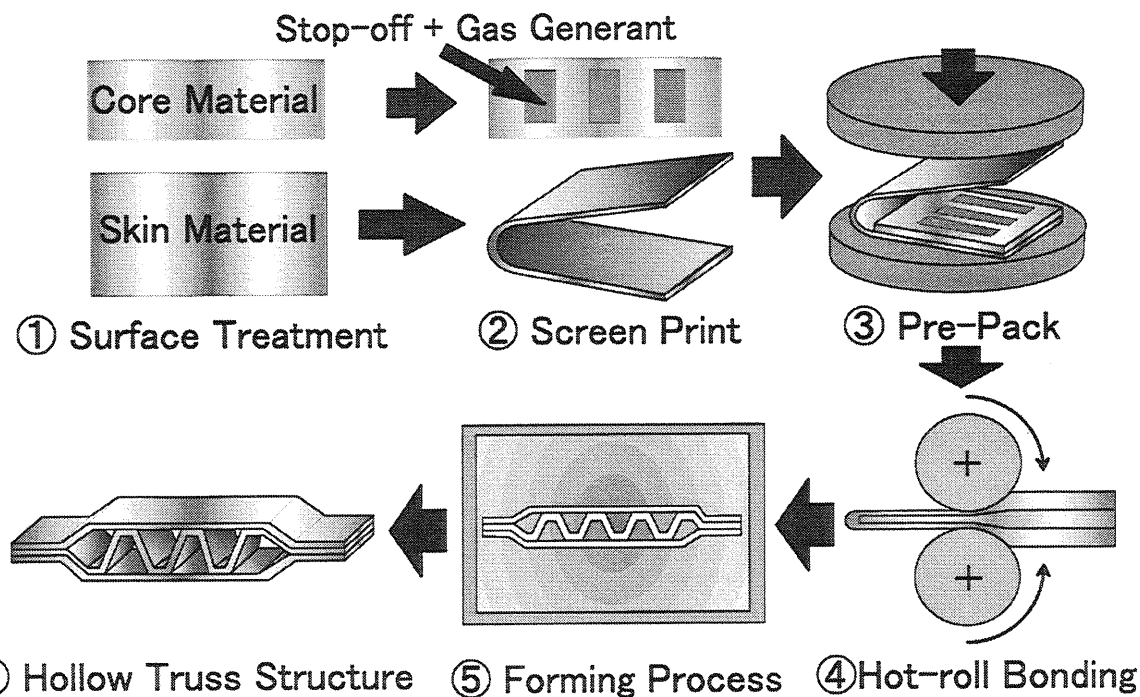


図 4. 加工方法の流れ図. 3層の合わせ板の製作および加熱による気体の膨張に基づくブロー成形加工を主体にする.

## 2. 加工方法

図 4 には、ここで試行する加工方法の概略的な流れ図を示した。3層構造の合わせ板の製作を出発点とする。アルミニウム合金板材の材種、およびそれらの同種/異種の組み合わせの選択は、製品の剛性、加工精度、加工難易などにより決められることになる。加熱成形時に必要となる加工ひずみの大きさが、数百%以上にも達することがあらかじめ予測できるときには、超塑性を発現する材料を選ばねばならないが、予測されるひずみの量がそれほど大きくなければ、その限りでない。一方、超塑性の付随的性質として拡散接合性の高いことを利用するなら、ひずみの大きさにかかわらず超塑性アルミニウムを使用することが推奨される。

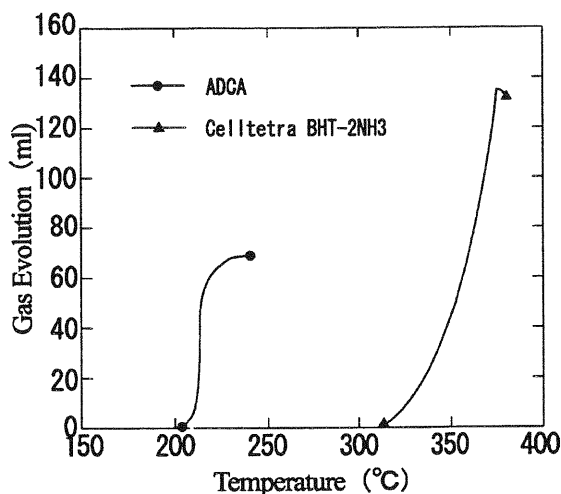


図 5. 代表的なガス発生剤の加熱特性.

表面を構成する板材は中折し、コアとなる板材には、圧着接合を阻害する水溶性の潤滑材 (STOP OFF) に、適切な量だけガス発生剤を混合した液体をスクリーン印刷する。ここで、STOP OFF には黒鉛系の溶液を使用した。ガス発生剤には多種多様な種類が存在し、加熱加工温度、成形ひずみ量、成形速度などを勘案し、使用するものを選ばなくてはならない。発泡プラスチックの製造に使用されるもの (Celltetra BHT-2NH<sub>3</sub>) および自動車のエアバッグの火薬として使用されていた ADCA について、加熱に伴う熱分解によって生成されるガス量のデータを図 4 に示す。ガス成分は、ほとんど不活性な性質で人体には無害と考えられる。前者は 320°C、後者は 200°C 付近で急激にガスが生成する。今回の実験ではこれらの薬剤を粉末の形で使用した。

印刷される平面幾何形状・寸法およびコア材に施す印刷面の相対的位置は、あらかじめ製品となる部材の形状や圧着圧延時の総圧下率に基づき計算されなければならない。トラス構造体では、断面形状は長手方向に一樣であるから、比較的簡単な計算で済む。それに対して、ハニカムでは、コアの表裏で異なる位置に、それぞれ正確な位置関係を維持しながら、長手方向につぶされた楕円から構成される印刷パターン (一例を図 6 に示す。) を製作する必要がある。使用するガス発生剤のガス発生温度以下の温度で行う圧着圧延の前に、図 3 の③に示すプリパッキングを合わせ板に施すことにより、圧着圧延の失敗が低減され、圧延加工の精度が向上する。ここでは、100°C 程度に加熱された鋼製熱板に試料を図に示すように挟み、面圧を負荷したまま 10 分間維持した。10 分経過後、直ちに次の工程、圧着圧延に移行した

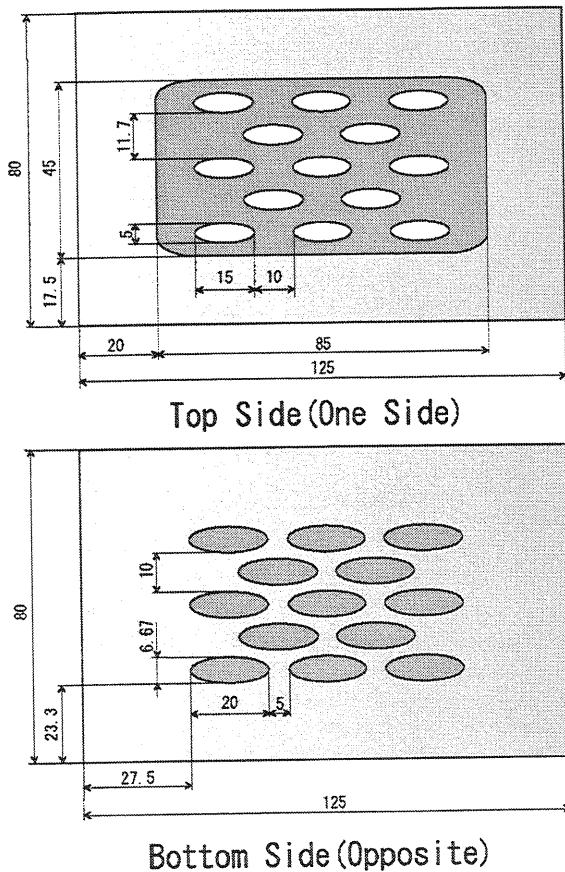


図6. コア材の表裏に施す印刷パターンの一例.

圧着圧延では、圧延ロールは空回し中にガスパーナーにより加熱し、180°C程度まで上げておく。圧下率は3回のパスにより総計66.7%になるように設定した。

このようにして出来上がった合わせ板を空気炉中に置き、加熱すれば内部に閉じ込められていたガス発生剤から不活性気体を生じ、この気体の膨張仕事による張出し加工の結果、目的とするトラスまたはハニカム構造が完成する。張出しの製品の板厚を一様にするためには、加熱の際、図7に示すような一定間隔が設定できる簡単な型を用意する必要があった。型拘束をしない自由なバルジ加工では、一定厚さを維持することができない。

内部構造の出来・不出来を確認するためには、膨張した板を切断し、内部を檢視することが必要である。

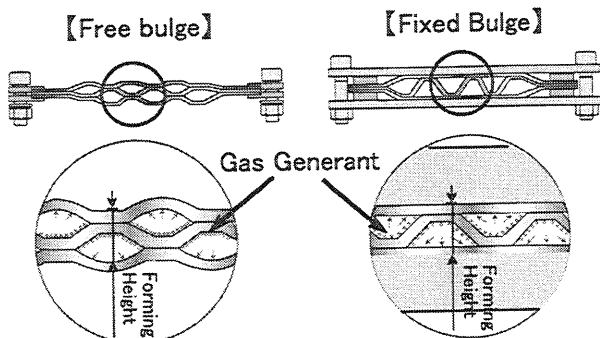


図7. 加熱時に使用する型(右側).

No.	Kinds of Gas Generat	Concentration of Gas Generat to Stop-off	Un-join : Join	Forming Height
1	ADCA	80%	3:1	10.5mm
2	ADCA	80%	3:1	9.5mm
3	CELLTETRA	20%	3:1	8.5mm

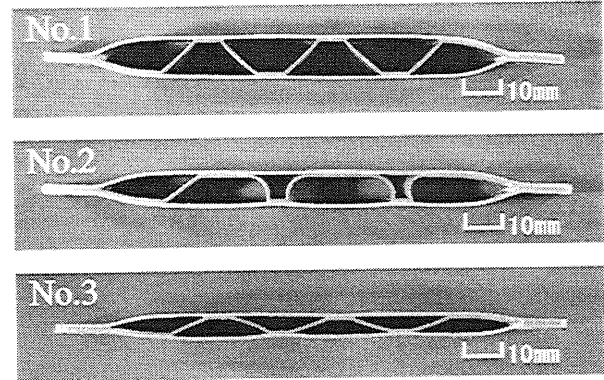


図8. 成形例(トラス).

No.	Kinds of Gas Generat	Concentration of Gas Generat to Stop-off	Thickness Of Core Material	Forming Height
1	ADCA	60%	2.5mm	10.5mm
2	ADCA	60%	2.5mm	12.5mm
3	ADCA	60%	3.0mm	12.5mm

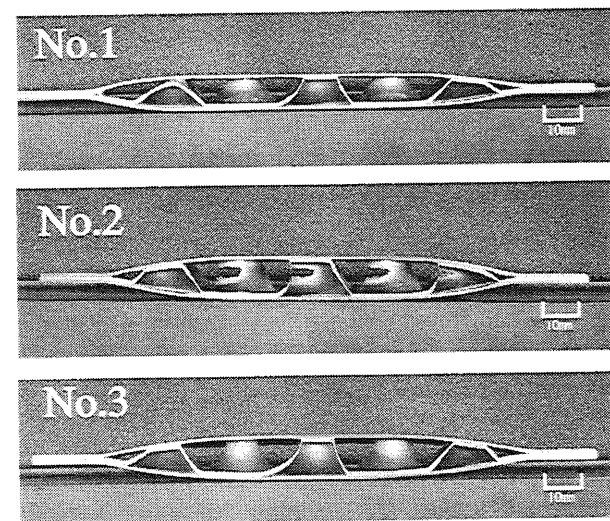


図9. 成形例(ハニカム).

### 3. 成形品

図8と9に、トラスとハニカムの成形品内部状態を示した。図8, No.1では、上下面の平滑さにやや問題が残るものの、内部の状態は良好で、比較的良好な仕上げである。No.2では、本来直線が望ましいと思われる斜めの部材部分が丸みを帯びていて、このままでは使用に耐えない。No.3には厚みの最も小さい成形例を示した。内部の詳細な幾何形状・寸法を設計どおりに、製作できるか否かについては、今後更に実験的検討を続ける必要が認められる。図9のハニカムでも、同様であって、トラスよりも多くの改良を積重ねることが肝要であろう。

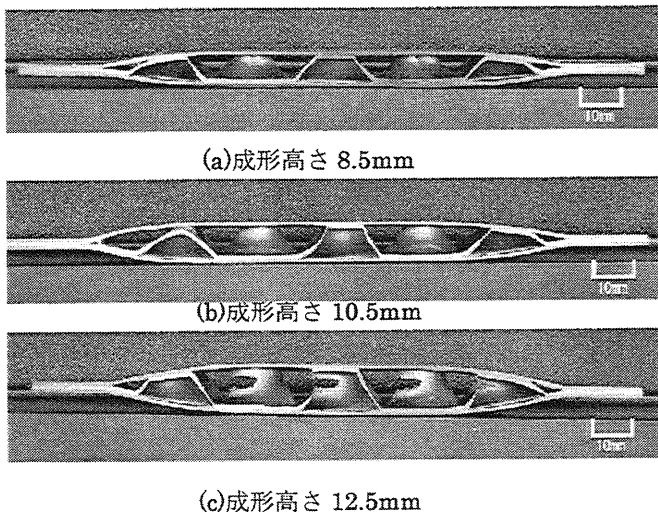


図 10. ハニカム部材の成形例の内部状態。ガス発生剤はすべて ADCA:濃度60%, スキン A3003、コア材:SPZ.

図 10 には、ハニカムの内部幾何形状・寸法のうち、厚み(成形高さ)を変化させたときの、内部状態を示した。コア材として、超塑性材料を使用しているにもかかわらず、成形高さ 12.5mm の場合には、明らかに延性不足による破断が認められる。1000%以上の延性が期待できるはずであるが、このことの原因としては、ガス発生から気体膨脹にかけて、成形時のひずみ速度が大きすぎたことが考えられる。この推測が正しいければ、ガス発生量の少ないガス発生剤を使用する、または加熱速度を低く押さえることによって、破断が避けられるであろう。

このように、両構造に対して、内部の幾何形状・寸法あるいは素材の同種/異種の組み合わせ・選択を前提として、ガス発生剤の選択、加熱成形時の加熱スケジュールなどの実験変数を最適化することが、今後の研究において強く望まれる。

#### 4. 成形品の強度

成形したトラスについて、簡単な強度の計測試験を行った。図 11 に示すような、3点曲げ試験と押しつぶし試験である。準静的な速度で、インストロンタイプの材料試験機を用い、室温での実験である。結果の一例を図 12 に示した。

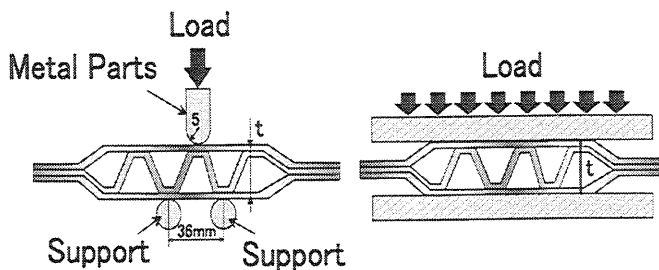


図 11. 強度試験。3点曲げと押しつぶし試験方法。

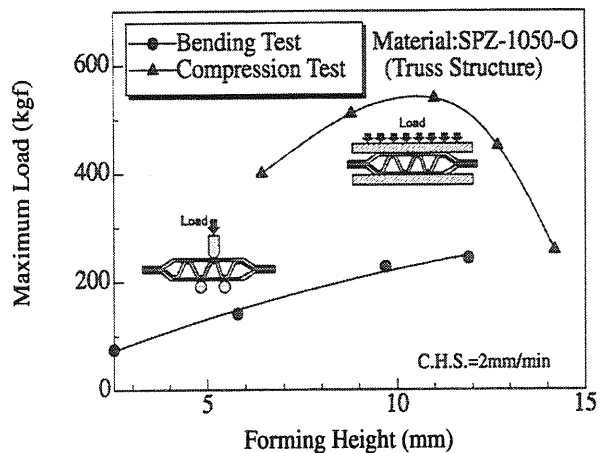


図 12. トラス構造部材の静的強度試験結果。

スキン材として A1050、コア材として超塑性材料 SPZ を使用した図 12 のトラスでは、成形高さを変えて成形して実験に供した。3点曲げでは、最高荷重は成形高さの増加につれて一様に増加している。押しつぶす試験では、それに対して最高荷重は成形高さ 11 mm 付近で最大を示している。力学的にこの理由を説明することは今のところ可能でない。しかし、本レポートにおけるトラス中空構造の内部の幾何形状・寸法のうち、成形高さについては、11mm とすることが成形品強度の点からは望ましいものと考えられる。

#### 5. 結言

これまでの実験研究により、冒頭で示したトラス、ハニカム中空構造体をアルミニウム合金板材から製作することが可能であることが示された。金属板材に付加価値を付けることは、なかなか考えにくい。板材表面にプレコートを施す、圧延ロールの表面に微細な紋様を付け、これを製品の金属板材に転写するなど、考えてもそれほど多くの付加価値付与の例は見当たらない。圧延メーカーにおいて本加工法は、これまでにない付加価値を板材に付与できる手法になろう。鉄鋼材からアルミニウム合金への代替を想定するとき、最大のネックはアルミニウム合金の強度であろう。素材としての強度は期待できなくとも、構造体としての強度を高く設計できれば、問題は解消される。今後、本加工法の実用を目指して、系統的に研究を続けることが望まれる。

#### 6. 謝辞

本研究を行うにあたって実験に協力してくれた、当時本学大学院修士課程学生城戸健夫君(現在、日本オーチスエレベータ(株))、申雨根君(現在、ホンダ(株))に深甚なる謝意を表す。また、本研究は天田金属加工機械技術振興財団より支援を受けたことを記し、謝意を表す。