

軽量アルミ車体

舟津 浩二(車両構造技術研究部 車両強度 研究室長)

アルミニウム合金製の車体は、昭和37年(1962年)に初めて国内に登場しました。その後、年々増産され、平成18年度(2006年度)までの生産累計は15,000両を超え、2006年4月現在で、国内の電車の約27%をアルミ車体が占めています。

車体に使用されるアルミニウム合金

アルミニウム合金が車体材料として用いられるのは、次のような優れた特徴を持っているためです。

(1) 車体の軽量化

鋼あるいはステンレス鋼と比較した場合、アルミニウム合金のメリットはなんと言っても軽いことです。表1のように、同じ質量で引張強さを比較すると、6N01アルミニウム合金の比強度(引張強さ/比重)は、SPA-H鋼(高耐候性圧延鋼)の1.6倍で、軽量化に適した材料と言えます。

(2) 腐食に強い

耐食性に優れているので、車体を塗装しなくて済みます。このことで、車両の製作費や保守費を節約できます。また、車体の寿命が長くなります。

(3) 押出成形加工が可能

一端に成形用の型をつけた筒の中にアルミニウム合金を押し込み、トコロテンのように型から押出すことで、任意の形状に加工できます。

(4) リサイクル

環境問題を考慮すると、鉄道車両についても廃車時にできるだけ有害廃棄物を出さないような車体の設計が求められます。アルミニウム合金はリサイクルしやすく、車体材料として再利用できます。

このようにアルミニウム合金は車体材料として、優れた

特質を持っていますが、アルミニウム合金そのものが高価で、当初は鋼製車体に比較して製造費が高いという問題がありました。そのため、車体の製造に適したアルミニウム合金、すなわち、強度があり、溶接性、加工性に優れたアルミニウム合金の開発が進められてきました。

車体全体の重量を支え強度と剛性を負担する基本構造部分を構体といますが、構体材料としては、主に以下のようなアルミニウム合金が使用されています(アルミニウムハンドブック 第7版、(社)日本アルミニウム協会、2007年1月発行)。

(1) 5083合金：Al-Mg系合金

溶接性、耐候性に優れています。しかし、押出加工性は6N01および7N01合金よりも劣るので薄肉の形材用としては適していません。

(2) 6N01合金：Al-Mg-Si系合金

日本独自で開発された合金で、耐食性、溶接性に優れています。また、押出性に優れ、複雑な形状の大型薄肉形材に適しています。

(3) 7N01合金：Al-Zn-Mg系合金

耐食性および溶接性に優れています。押出加工性は、6N01合金よりも劣りますが、溶接部の強度が常温放置で母材に近い程度まで回復する性質をもちます。高強度が必要な部材、台枠などに使われています。

最近ではさらなる軽量化のために、構体だけでなく、内装部品、床下のぎ装品にもアルミニウム合金が多用されています。

なお、近い将来6N01合金と7N01合金の記号は、それぞれ国際登録合金記号6005C、7204に変更される予定です。

軽量アルミ車体の特徴

軽量化車体は構体全体、台枠のみならず、構体側面や屋根の骨組と外板を含めて、強度を負担するモノコック構造とすることにより軽量化を図っています。構体材料としては、ステンレス鋼あるいはアルミニウム合金製が主流ですが、軽量アルミ車体は、以下のようなメリットがあります。

- ① 走行エネルギーを抑え、動力費が節減できます。
- ② 加速度、減速度や最高速度が向上し、高速化に有利です。
- ③ 線路や橋梁への負荷が低減するために、軌道や構造物の保守費を軽減できます。

表1 材料の強度と比重

材料	鋼	ステンレス鋼	アルミニウム合金
	SPA-H	SUS301LHT	6N01-T5
引張強さ (MPa)	490以上 ¹⁾	930以上 ²⁾	270 ³⁾
比重	7.85	7.93	2.7
比強度 (引張強さ/比重)	62	117	100

1) JIS G3125

2) JIS E4049

3) アルミニウムハンドブック
(第7版、(社)日本アルミニウム協会、2007年1月)

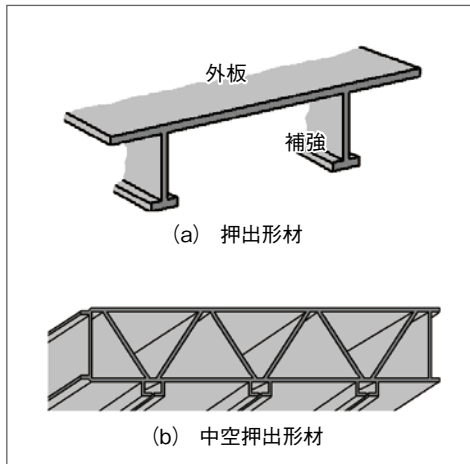


図1 アルミ押出型材の例

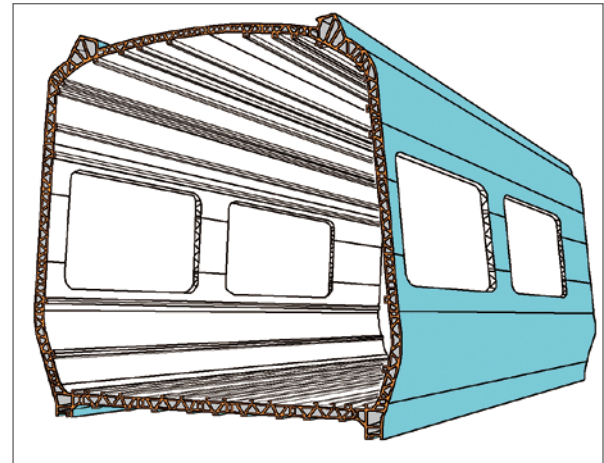


図2 第4世代のアルミニウム合金車体略図

- ④走行時の騒音，地盤振動を軽減できます。
- ⑤新幹線のような高速列車で，車体の気密構造が可能です。
- ⑥車体の無塗装化が可能です。
- ⑦リサイクル可能です。

このように，軽量アルミ車体のメリットは多いのですが，軽量化に際しては，まず安全性，乗り心地が確保されていることが絶対条件で，そのためには強度・剛性の確保が必要です。これらは，材料特性の向上だけで対処するのではなく，車体構造の面からも考慮されます。

軽量アルミ車体の基本構造

軽量アルミ車体の基本構造は，強度，溶接性や加工性などに優れたアルミニウム合金の開発と，車体の製作方法の効率化とともに進化してきました。第1世代と言われるアルミ車体は，5083合金などを使用して，鋼製車体と同じ構造で，溶接とリベットにより製作されました。次の第2世代からは，新たに開発された7N01合金などを用いて全溶接の車体になりました。

その後，押出加工性の優れた6N01合金が開発され，大型の薄肉押出型材や中空押出型材が製作できるようになりました。第3世代のアルミ車体は，例えば図1 (a) に示す外板と補強材を一体化した型材のように，6N01合金の押出型材を多用した構造となりました。300系新幹線はこの世代です。また，床材に図1 (b) のようなトラス構造の中空押出型材を用いた車体もあります。

新しい第4世代では，図2のように，構体全体に6N01合金の大型中空押出型材を用い，構体と内装を取り付ける骨組を一体化したダブルスキン構造となっています。強度・剛性にも優れ，接合組み立てのひずみを少なくできま

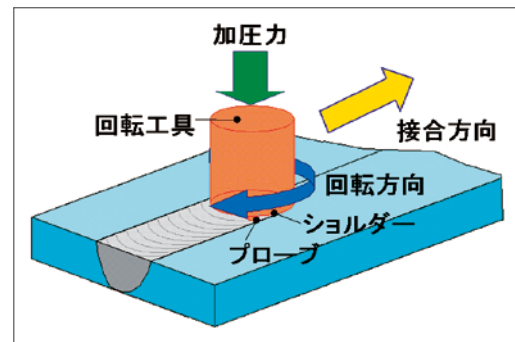


図3 摩擦攪拌接合の略図

す。700系新幹線は，床構造以外はダブルスキン構造です。

なお，従来は車体の構造部材によって，何種類かのアルミニウム合金が用いられていましたが，最近のアルミ車体は，リサイクル性向上のために，6N01合金のように，できるだけ単一のアルミニウム合金で製作される傾向にあります。

新しい接合技術

軽量アルミ車体は，車体設計，製法やアルミニウム合金材料の進歩とともに進化し続けています。

その一例として最近，アルミ車体の新しい接合技術として摩擦攪拌接合 (FSW) が注目されています。これは図3に示すように，金属の接合線に回転工具を回転させながら圧力をかけて挿入し，金属を溶かさずに摩擦熱で攪拌して接合部を一体化する技術です。接合部は熱影響が少ないので高い強度があり，また，変形や欠陥が少ないので，精度が高く見栄えの良い外観が得られます。作業環境が清潔で省力化にもつながるといことで，新しい地下鉄車両の構体などに採用されています。