

自動車用軽合金材料

加 藤 正 夫

従来自動車用エンジンには軽合金がピストンをはじめかなり多く使われてきている。また付属部品、装飾品にも使われている。問題は車体に軽合金材料を使って軽量化しようということであるが、軽量化により最も効果の挙がるのはバス車体であって、この実用化研究はいまや世界的趨勢である。この場合の最大の問題点は経済性であって、現状では製作コストがいくら高くなるのであるが、運転・保守の経費を考慮すればむしろ割安となる。しかし製作時のコストも鋼製と同等にするためには、軽合金材料に適した設計と合金の種類と押出型材の種類簡素化と規格統一をすることが先決条件となる。

1. ま え が き

自動車に使用される軽合金材料を大別するとエンジン用と車体用となる。前者に関しては、従来ともピストン・各種ケース類などに軽合金鋳物がかなり使われており、それが生産能率と性能とを向上させるために不可欠となっている。とくにドイツのフォルクスワーゲン車においてはアルミニウム合金鋳物のほかにマグネシウム合金鋳物を多量に使用している点で特徴がある。また車体付属品ならびに飾付金具などにも軽合金が鋳物やプレス加工品として広く使われていることは周知のとおりである。これらに関しては、むろん技術上の問題点がまだいろいろあるが、今後わが国の自動車工業の発展に伴って進歩改良され、その使用量も増加していくことであろう。

しかしながら、車体の軽合金化ということになると多くの問題点があり、早急にこれを実現することはなかなか困難のように思われる。とはいえ欧米諸国においてはすでにかかなりの程度に技術的成功をおさめ、かつまた経済的効果も挙げているのである。しからばなぜわが国において約 10 年もの遅れをとってしまったかという点、端的にいうならば自動車工業界と軽金属工業界との協力的努力が足りなかったのである。もちろん戦後のわが国工業界が技術的経済的諸般の困難な事情におかれていたのである。だが今日では両工業界も増産につぐ増産で、技術的進歩はもとより経済的にもかなり安定し、とくにバスの生産では世界有数とまで成長した現在では、この問題を真剣に取り上げて検討する必要があると考えられる。

すでに約 2 年前より軽金属協会において、自動車軽量化委員会が発足し、さし当たりバス車体の軽合金化に主眼をおいて調査研究が進められていることをここに紹介しておきたい。この委員会で目下検討されている主要なテーマは、(1) バス車体用に最も適した軽合金の種類と材質、(2) 押出型材の断面形状の標準化、(3) リベットおよび溶接による結合法、(4) 表面処理および塗装、(5) 軽量化による効果などである。これらはいずれも

重要なテーマではあるが、軽量化のために軽合金を使うとするならば、鋼の代用という考えであってはまったく問題にならないのであって、根本的に軽合金材料の特色と欠点とを吟味した上での新しい設計が必要なのである。すなわち、アルミニウム合金は軽くて強いが弾性率が低いので、まず押出加工が容易であるという特徴を生かして最も効果的経済的断面形状をもった押出型材を十分に活用することを考えなければならないのであるが、何といっても鋼材に比してかなり高価であるから、合金の種類と型の種類を標準化して少なくすることによって材料費を低減し、かつ材料価額の安定と供給の安定をも計らなければならないのである。

以上に述べた理由によって、本稿では自動車用軽合金材料という題名のもとにバス車体用材料についてだけ解説することにした。また軽合金といってもマグネシウム合金やチタン合金は主として価額の点からまだ問題にならないので、したがってアルミニウム合金にしばらくすることになる。

2. 合金の種類*

今日まで欧米先進国のバス車体に用いられた板材および押出型材の合金をしらべると、その大部分が 2S, 52S, 56S, 3S, 61S, 63S のいずれかである。さいわいにしてこれらの合金はすべてわが国 J I S 規格に採用されており、しかも耐食性合金として最も広く使われているものである。2S は純度 99.0% 以上のいわゆる純アルミニウムであって耐食性は他の耐食合金に優るとも劣ることはないが強度が低い(引張り強さ、0材: 9.2 kg/mm², 半硬質: 12.0 kg/mm², 硬質: 17.0 kg/mm²) ので非強度用の板材にしか使えない。その他の合金の性質に関しては第 1 表および第 2 表を参照していただきたい。63S は板材には使われないが、その押出加工性の著しく優れているために、またその T 6 材は耐力が 21.4 kg/mm² (第 3 表参照) と高いので、近時各種の建築用および窓枠用

* 本稿では合金名はすべて Alcoa 記号で述べてある。

第1表 耐食アルミニウム合金押出型材特性表

JIS		米国アルミ協会記号	アルコア記号	標準化学成分%						引張り強さ kg/mm ²	伸び %	特性比較**				摘 要	
種類	記号*			Cu	Si	Mn	Mg	Cr	Zn			強度	耐食性	溶接性	冷間加工性		
H4172 耐食アルミニウム合金押出型材	1種	A2S1-F	5052	52S			2.5	0.25		>18	>20	B	A	A	A	3種より強度を要する部分に使用	
	2種	A2S2-F	5056	56S			0.1	5.2	0.1	>25	>20	B	A	A	A	非熱処理合金としては強度最大、押出性はあまりよくない	
	3種	A2S3-F	3003	3S			1.2			>10	>18	C	A	A	A	あまり強度を要しない部分に使用	
	4種	A2S4-0	6061	61S	0.25	0.6	1.0	0.25		<16	>16	C	A	A	B	B	押出性よく熱処理材は強度も高く、とくにT6材は耐力が軟鋼より高い一般構造材に広く使用
		>18								>16	B						
		>26								>10	B						
	5種	A2S5-F	6063	63S		0.4	0.7			>12	>12	C	A	A	B	B	61Sより強度は低いが、押出性、耐食性が高く、一般構造材および建築材に広く使用
>15		>8								C							
>21		>8								B							
7種	A2S7-F	5083	—			0.7	4.3		>27	>12	B	A	A	B	最近使われ出したN5/6に相当する		

* F: 押出のまま 0: 軟質 T4: 焼入 T5: 押出時急冷焼モディ T6: 焼入焼モディ ** A, B, Cの順に低下する。

第2表 耐食アルミニウム合金板材特性表

JIS		米国アルミ協会記号	アルコア記号	標準化学成分%						引張り強さ kg/mm ²	伸び %	特性比較**				摘 要	
種類	記号*			Cu	Si	Mn	Mg	Cr	Zn			強度	耐食性	溶接性	冷間加工性		
H4172 耐食アルミニウム合金板材	1種	A2P1-0	5052	52S			2.5	0.25		18~23	>20	B	A	A	A	3種より強度を要する部分に使用	
		A2P1-1/2H								>23	>6						
	2種	A2P2-0	5056	56S			0.1	5.2	0.1	22~30	>20	B	A	A	A	非熱処理合金としては強度最大、押出性はあまりよくない	
	3種	A2P3-0	3003	3S			1.2			<14	>23	C	A	A	A	A	あまり強度を要しない部分に使用
		A2P3-1/2H								>14	>4						
	4種	A2P4-0	6061	61S	0.25	0.6	1.0	0.25		<16	>16	C	A	A	B	B	押出性よく熱処理材は強度も高く、とくにT6材は耐力が軟鋼より高い一般構造材に広く使用
		A2P4-T4								>21	>16						
A2P4-T6		>29								>10	B						
7種	A2P7-0	5083	—			0.7	4.3		>27	>12	B	A	A	B	最近使われ出したNP5/6に相当する		

* 0: 軟質 T4: 焼入 T6: 焼入焼モディ ** A, B, Cの順に低下する。

第3表 61S, 63Sの標準性能*

種類質別	引張り強さ kg/mm ²	耐力 kg/mm ²	伸び %	剪断強さ kg/mm ²	疲労限** kg/mm ²	ブリネル 度
61S-D	12.6	5.6	30	8.5	6.3	30
-T4	24.6	14.8	25	16.9	9.5	65
-T6	32.7	28.9	17	21.1	9.5	95
63S-T5	21.2	17.6	12	12.7	—	65
-T6	24.6	21.4	12	15.5	—	73

* 弾性率はアルミ合金はほとんどが 7,000 kg/mm², ポアソン比は約0.33

** 50万回繰返し荷重のもの

第4表 防衛庁規格, ANV合金リベット材*

化学成分%									引張強さ kg/mm ²	伸び %
Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti			
<0.1	<0.4	<0.4	<1.0	3.0~4.0	<0.50	<0.10	<0.20	>23	>20	

* この規格は焼ナマシ材に対するものである。

の押出型材として多量に使われるようになった。61Sは63Sと同じくAl-Mg₂Si系の合金であるがMgとSiとを約1.5倍含有し、したがってその強度もかなり高くなっている。そのT6材は耐力が29 kg/mm²に達し軟鋼

よりも高い。以上は熱処理合金であるが、その他の52S (2.5% Mg), 56S (5.2% Mg), NP5/6 (4.3% Mg) はいずれもAl-Mg系の合金であり、3Sは1.2% Mnを含むAl-Mn系の合金であって、いずれも非熱処理合金である。したがって熱処理した合金とは異なり、その0材ないしF材は溶接によってその強度の低下は大きくない。また冷間加工によってかなりの程度に強度を高めることが可能である。このうち3Sと52Sとは曲げその他の変形加工性がよいが、56SとNP5/6(5083合金相当)とは強度は高いが変形加工性はいくぶん低下する。

一方アルミニウム合金には航空機に用いる数種類の高力合金があるが、これらはいずれも耐食性の点で劣っており、たとえ耐食合金で表層をクラッドした合せ板を用いても5年以上の耐用命数を要求されるバス車体に対してはその断面部からの腐食は避けがたく、また設計応力の点からもそれほどの高力合金を使うことを考える必要はないのである。

以上に述べたところから、バス車体用として推奨できる合金は次のとおりとなる。

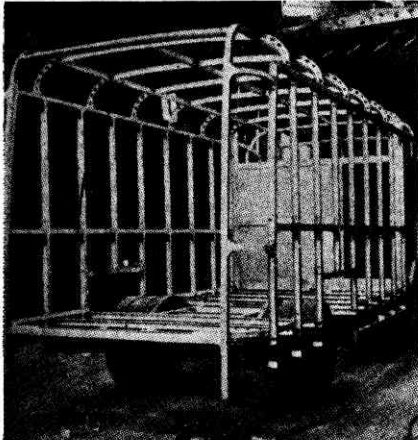


写真1 フランスのバスのアルミニウム合金
押出型材を用いたフレーム構造

(1) フレーム用合金 (押出型材)

- 非応力用.....63S-T5
- 応力用61S-T6

これらの合金はここに示した材質で素材として納入され、曲げ加工を要する部材に対しては、著しく苛酷な条件でない限り冷間曲げ加工は可能である。また接合には必ずリベットを用い、溶接は行なわないものとする。

(2) パネル用合金 (板材)

- 非応力用.....3S-1/2H または 52S-O
- 応力用52S-1/2H または NP5/6-O

溶接を行なうとその部分にいくらかでも弱点を生ずることになるからリベット接合をたてまえとしたい。その場合は半硬質材を使うことができるが、どうしても溶接を併用したい場合、または補修には溶接を用いなければできないことを考えると強度低下の小さい焼ナマシ材を使わなければならない。この点は設計時に十分に考慮されなければならない。

(3) リベット用合金

- 非応力用.....52S-O
- 応力用.....ANV-O

応力用リベット用合金としては、従来 A17S-T4 の冷間打ち、61S または 53S の焼入温度に加熱した熱間打ちなどの方法があるが、前者は耐食性がよくないことと後者は作業がしにくいという点でいずれも推奨しにくい。結局 ANV合金の焼ナマシ材の冷間打ちが最も適当であろう。この合金はまだ JIS に規格化されていないが、防衛庁規格により現在すでに船舶用その他各方面に使われ、その信頼性も十分に保証されている。また耐食合金でもある。

ここに述べた勧告は軽金属工業界の代表的意見と筆者の私見とをまぜたものであることを断っておく。

3. 設計上の諸問題

欧米のアルミニウム合金製バス車体に使われている押

出型材と板材との割合は、いずれも車体重量の 50% 近い重量になっていることが統計的データから知られている。これらはいずれも軽合金製の車体を車台の上に乗せる設計方式のものであるが、もし車台なしの設計にするならば当然アルミニウム合金の総重量が増し、そのうち押出型材が約 60%、板材が約 40% となるようである。すでにイギリスとフランスではこの方式を取り入れて軽量化と同時に剛性も改善得たと報ぜられている。

アルミニウム合金のヤング率は約 7,000 kg/mm² であって鋼の約 1/3 である。したがって鋼と同一の剛性を付与するためには強度部材の断面積を約 1.5 倍に増さなければならない。一方比重は鋼のその約 1/3 であるから結局重量は約 1/2 に軽減されることになる。車体付属品などの軽合金化を考慮に入れると軽減率はさらに大きくなるであろう。前述のイギリスで作られている車台なしのバスの例について具体的数値を紹介すると：

シャーシ	11,769 lb.
車体	6,720 lb.
乗客、運転手および車掌	6,445 lb.
乗客を乗せた総重量	24,925 lb.

これは鋼製バスに比して 5,936 lb. 軽量になったことを示し、かつエンジンの馬力数を 125HP から 90HP に下げられる結果ともなった。また軽量化はそれだけ加速を容易にし、タイヤの摩耗度も低減する。

4. 経済上の考察

この問題に関しては岡田氏¹⁾の発表された論文の内容を引用させていただくことにする。

まず、前提条件と結論から述べると、“適当な設計と適切な組立作業が行なわれ、かつアルミニウム合金粗材の規格の統一と簡素化とがなされている”ならば“アルミニウム合金はバス車体用材料として非常に経済的である”。なぜならば：

(a) アルミニウム合金製バス車体の経費の明細を%で示すとつぎのとおりである。

取付品、付属品および仕上げ	50%
労力	25%
材料	25%
計	100%

アルミニウム合金材の組立に要する 労力/時間を鋼材と同一に考えても、アルミニウム合金が高価であることはバス車体総原価のわずかに 25% である。そこで鋼材の値段を ¥65,000/トン、アルミニウム合金を ¥300,000/トンとすると、アルミニウム合金は鋼材の 4.62 倍ということになる。実際上、アルミニウム合金製の車体は 50% 重量が軽くなり、その結果は 2.31 倍ということにな

1) 岡田主市, インタナショナルアルミニウム株式会社技師: 軽金属資料 No. 301, 1958, Apr. 15.

る。したがって全体の原価に対するアルミニウム合金材の比率は $25\% \times 2.31 = 57.7\%$ 、すなわち $57.7\% - 25\% = 32.7\%$ だけ鋼材よりも高い結論になる。このことはアルミニウム合金を使用すると、バス車体の値段が 32.7% 高くなることを意味する。

(b) 組立時間はおよそ 30% (1,800時間から 1,200~1,300 時間に) 短縮される：日本の場合は機械工作に費用がかかるが、アルミニウム合金の使用によって機械作業が非常に節減され、このため労賃も約 50% 節減される。したがって、労務費は $25\% \times 0.50\% = 12.5\%$ になる。

(c) アルミニウム合金の材料回収率は 100% に近いが、鋼材では約 70% である。およそ 30% の材料節約が前者では可能である。したがって (a) に述べた材料費高は 100% のかわりに 70% の影響を受ける。すなわち $32.7\% \times 0.7 = 22.9\%$ 高いことになる。

(d) 以上の差引き勘定は $22.9 - 12.5 = 10.4\%$ であって、アルミニウム合金製バスは鋼製バスより約 10% 高くなることになる。かりに後者の車体が 150 万円であるとすると、前者のそれは 165 万円となり、15万円高いことになる。これをバス全体の総費からみると、車体費を総費の $\frac{1}{3}$ とみなせば、わずかに $3 \sim 5\%$ 高となる。

さらに運転上での経済を検討してみると：

(e) 過去の経験から次のような条件を仮定できる。

鋼製車体費 ¥1,500,000 耐用命数 5年

アルミ合金 ¥1,650,000 耐用命数 8年

イギリスやアメリカではアルミ合金製車体の耐用命数は 15年~20年といわれている。

鋼製バスに対するタイヤの耐用命数 3年

アルミ合金製バスに対する " 6年

(f) 運転上での経済 (同一の荷重および速度)

8年間でのタイヤ節約 ¥10,000 × 6 (タイヤ) × 8 (年)
= ¥480,000

8年間の燃料節約 ¥61,000 × 8 (年)

(1年に 4,000 マイル走行) = ¥488,000

(51 ページより続く)

なものにならざるを得ないといわれている。

東京都の場合に残念ながらこのマスター・プランが確立されたという話をきいていない。したがって都市高速道路網計画も抜本的なものであるとは思われないし、またそうあるはずがないと考えられる。一部には現計画が完成するときにはすでに交通量の増加の方がずっと先に進んでしまうことになるという声も聞かれる。まあないよりはましかなという人もある。

アメリカではここ何年かの間都心部で地価がだんだん下がっているといわれている。都心が市内でもっとも不便な所となり、やがては死滅する途をたどる前兆である

アルミ合金車体は 3年耐用命数が長いので

¥1,500,000 × 3/5

= ¥900,000

合計

¥1,868,000

以上のほかに補修費が約 50% 節約となる。

(g) 全体にわたっての経済

最初の原価高と運転上の節約額との差引勘定は：

¥1,868,000 - ¥150,000 = ¥1,718,000

すなわち 8年間の運転した暁には最初の原価を、アルミニウム合金製バスを使ったことによる経費節減だけで償却できることを示すものである。

5. その他の諸問題

アルミニウム合金を使うことに関して、

(1) 切削および非切削加工性とその加工法

(2) 溶接加工性とその方法

(3) 鋼材との接触による腐食とその防止法

(4) 表面処理と塗装

などの技術的諸問題にも触れなければならないが、これらは軌道車両で多くの実地運転の経験もあり、ほぼその技術的問題点も解決され、自動車の場合でもその見通しはまったく明るいので、割愛することにする。

今後検討すべきは、材料的なものよりも運転時の動力学的諸問題、たとえば振動・乗心地・車体剛性などではあるまいか。

6. あとがき

以上にアルミニウム合金材料の側からみた自動車軽量化の問題の検討を行なった。これをわが国で実現するためには技術よりもむしろ経済政策が先行すべきやに思われる。すなわち、アルミニウム合金に適した設計と量産方式とを確立し、合金の種類と材質の規格を統一し簡素化することによって材料価額を引き下げることが先決である。このことがまたかなり実際にはむづかしいことなのであって、これが解決に自動車工業界と軽金属工業界との緊密な提携を切に期待するものである。

(1961. 4. 25)

という人もある。

また歴史の示すところによると、都市の繁栄というのはその最盛期をすぎると、やがては交通の混乱に悩まされるようになり、唯一の解決策さえ採用することを拒みつつけている間に、あげくのはでは破滅の途をたどるようになるものである、といわれている。

最盛期にある銀座の住民がまさかここが廃墟となるとは夢にも思っていないのであろうが、歴史の教訓というものはよくかみしめて早めに対策を講じておくにこしたことはない、というのはあまりに取り越し苦勞というべきであろうか。

(1961. 3. 22)