



構 造 物 と アルミニウム

加藤正夫 (冶金)

◇はしがき

著者は先に本誌創刊號に「アルミニウムの新しい用途」と題してアルミの諸性質とその構造物への応用例について概説したが、今回はそれをふえんして展伸材について少しく詳しく述べることにする。

◇アルミ合金の諸性質

(1) 安全係数——種々の構造物の場合で、例えば建築船舶・橋梁等の構造様式によつて異なることはもちろんであるが L. Dudley 氏は他の材質と比較して次のような数字をあげている。

第1表

材 質	デッド・ロード	ライブ・ロード	ライブ・ロード+衝撃
アルミ合金	2~5	5~8	10~15
構造用鋼	2~4	4~7	10~14
鋳 鐵	4~7	10~15	15~20
木 材	6~8	10~15	15~20
石 材	12~15	20~25	30~35

L. Dudley, Light Metals in Structural Engineering
この場合の数字は破壊荷重/作用荷重であるが、構造用鋼とほとんど同程度であり他の材質に比して信頼性が高いことが諒解できるであろう。

(2) 耐 力——アルミとその合金においては鋼のように明瞭な弾性限または降伏点を示さない。ゆえに永久歪の一定量を生じる応力を規定してこれを耐力 (Proof stress) と稱し、設計の基礎の数字とする。英國では標點距離の 0.1%、米國では 0.2% とするのが普通である。わが國においては従來 0.2% を使用してきている。一般に耐力は冷間變形加工度が大きくなるほど抗張力の増加と共にそれに接近してくるものであり、熱處理材においては常溫時効材より高温時効材の方がはるかに高い値を示す。これらの関係を 52S と 14S について次に表示しておく。

第2表

材 質	抗張力 kg/mm ²	耐力 0.2% kg/mm ²	伸 び %
52S-0 (焼 鈍)	19.0	8.4	30
52S-1H (半硬質)	26.0	21.8	14
52S H (硬 質)	28.8	25.8	8
14S-0 (焼 鈍)	21.4	11.4	14
14S-T4 (常溫時効)	42.2	26.0	22
14S-T6 (高温時効)	47.8	42.2	13

(3) 弾性係数——アルミ合金は鋼の 21,000 kg/mm² に比して約 1/3 であることが缺點であるが、純アルミと合金の種類によつてまた冷間加工度や熱處理によつて多少異なる。すなわち純アルミ(焼鈍状態)の 6,500 kg/mm² から 75S の 7,500 kg/mm² まで變化する。第3表は數種の合金の 20°C における弾性係数と剛性率とポアソン比である。

第3表

合金の種類	E	G	ν
3S, 4S, 61S	7,000	2,650	0.33
A51S, 52S, 55S	7,200	2,700	0.33
14S, 24S	7,400	2,800	0.33

(4) 低温度における機械的性質——鋼と異り低温度の機械的性質が良いことはアルミ及びその合金の特徴で、寒冷地における構造物に、また化學工業における低温装置には適した材料である。

第4表

材 質	温 度 C°	抗張力 kg/mm ²	耐 力 kg/mm ²	伸 び %
2S (硬 質)	20	16.4	13.8	16.0
	-80	17.3	15.0	18.6
24S (常溫時効)	20	47.5	31.8	15.0
	-80	49.0	32.5	16.0
75S (高温時効)	20	58.6	51.4	11.0
	-80	65.7	57.1	12.0

第4表によれば75Sは温度の低下による強度の増加が大きい。また24S, 14S, 75S等の合金について行われた実験によれば弾性係数も -80°C においては 20°C の値の約8%の増加を示す。

◆熱処理合金と非熱処理合金

(1) アルミ合金の強度——純アルミでもその不純物(主としてFeとSi)の含有量によつて強度は變化する。すなわち2Sと稱して市販されている純度99.3%程度の板の機械材の抗張力は 9 kg/mm^2 前後であるが、99.9%になると 5 kg/mm^2 、99.99%では 4 kg/mm^2 になる。これらは冷間變形加工によつてのみ強度を高めることが出来る。このようなものを非熱処理材と稱する。非熱処理合金としては3S, (Mn 1.2%), 4S, (Mn 1.2%, Mg 1.0)及びヒドロナリウム系(Al-Mg)合金に屬する150S, (Mg 1.5), 52S (Mg 2.5), 56S (Mg 5)等であつて、いずれも耐蝕性は非常に良く、いわゆる耐蝕性合金である。加工度が大きくなるほど強度は直線的に高くなり延性は低下する。150Sは最近アメリカのアルミ會社カイザー社で賣出しているものであるが、その耐蝕性と強度は3Sに匹敵する。ところが、この150Sをはじめ4S, 52S等Mgを少量含む合金は加工硬化したものを長時間常温に放置しておくとも自然に強度を低下しこの低下率は25%にも達する。いわゆる時効軟化である。ゆえに豫め約 50°C で一定時間安定化処理をしてやる必要がある。

アルミ合金において熱処理合金とは時効硬化性合金のことである。これらは常温時効によつて著しく硬化するものと、焼入後 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ の適當な温度の高温時効によつて高い強度が得られるものとがある。Al-Cu-Mg系合金に屬する17S(デュラルミン)或は24S(超デュラルミン)は前者であり、Al-Cu系合金、Al-Mg₂Si系合金、Al-MgZn₂系合金は後者に屬する。實用合金としては25S, A 51S, 75S等がその例であつて、常温でもある程度時効硬化するものでそのまま使う場合もある。これらの熱処理後の抗張力は $30\sim 70\text{ kg/mm}^2$ の範圍にわたつている。熱処理合金の利點は熱間または冷間の軟質状態で變形加工を行つた後に、溶体化處理、焼入時効處理を行つて強度を附與することができることである。

(2) 強度と耐蝕性——數十年の長きにわたつてその耐用命數を必要とする構造物においては、それに使用する材料の耐蝕性が問題となる。アルミとその合金は一般に耐蝕性と考へてよいのであるが、抗張力 40 kg/mm^2 以上の高力アルミ合金はCu及びZnを主成分とするものであつて一般に耐蝕性は低下する。ゆえにこれらの合金に對しては純度の高いアルミまたは耐蝕性アルミ合金——前者にはMg 0.55, Mn 1.5, Al 殘, 後者にはZn 1.5,

Cr 0.3, Al 殘——を被せて合せ板として使用すればよろしい。皮材は兩面で板厚の10%になるようにする。ゆえに抗張力の低下は5%ぐらいですむ。しかし押出型材に對してはこのような方法は取れない。この場合耐蝕性のよいヒドロナリウム系合金を使うことも一應考へられる。Mg 7%を含むものは半硬質程度で強度は優に時効性高力合金に匹敵するのであるが、加工が非常に困難であるため使いにくい。またMg 5%を含む56Sは硬質で抗張力 40 kg/mm^2 は出るが更に曲げ加工等を施すことは困難である。この點で半硬質ならば使えるが強度は 35 kg/mm^2 ぐらいである。この程度のものでは耐蝕性もかなりよい。Al-Mg₂Si系合金がある。熱処理可能の合金であるから前述のように成形加工が便利であり、とくにこの系統の合金は加工性が大変良い。

(3) 熱処理と加工——主として軟質を取扱つていた構造屋さんが材料をアルミ合金に代えると、ことにそれらが熱処理材であれば非常に扱ひにくく感じられると思う。比較的狭い温度範圍の加熱處理が要求されるときか、また焼入處理をするとなつると、温度分布の均一な大きな熱處理爐を作りパイロメーターを使つて温度調節をやるときか焼入後の矯正を行うとか、まずこうしたことを苦に病むであろうがそれは止むを得ない。しかし馴ればそれ程厄介なことではないと思う。爐にしても電氣爐とか強制熱風循環爐を設備し、または自動温度調節機を用意すればよいのである。變形加工も容易であるし、加熱によつてスケールを生じることなく、輕くて取扱ひも便利ということになれば却つて利點の方が多しのではなからうか。

◆Al-Mg-Si-Mn 系合金

この系統の合金はかなり以前からペンタール(ドイツ)アルデュール(ドイツ)、アンチコロダール(スイス)等の名稱で實用に供せられているものである。イギリスではAW 10の合金名で最近特に廣く使用しており、その標準成分はMg 0.8, Si 1.0, Mn 0.7である。(合金一覽表參照)板材・型材・鍛造材等として廣い用途をもつている。その理由は比較的良い耐蝕性と比較的高い強度とを併せもつている外、加工性の非常によいことである。とくに押出加工が容易で非常に薄肉の型材も作り得ることである。建築におけるサッシュ、骨材その他の部分にできるだけこの合金を多く使うことを試みて結果が大變よかつたことが報ぜられており(ライト・メタルズ所載)船舶ではいち早くロイドールに56Sと共に板及び型材用として取入れられている。アメリカにおいてはこの系統の合金はMnをCrでおき換えA 51S, 61S, 53S等の名稱でやはり廣く使われている。61Sだけでバスのボディを作つたという例があるが(ライト・メタルズ・エージ所載)、その理由は異種合金を接觸させて使うこと

は腐蝕の點でよくないので、この合金は熱処理によつてその機械的性質をどのようにでも變更られるし、また耐蝕性もすぐれているからだとして述べている。著者はこの合金を日本においても各方面に使うことを提唱したい。材質を單一化することは、素材を安く提供するためにまた使用者の方でも使いやすいためである。

◇高力合金 14S

海外文献を見ていると高い強度を必要とする構造物、特に橋梁・車輛・クレーン等にはほとんどこの合金が使われているのである。何故であろうかということから考えてみたい。Alcoa 社の規格にはかなり以前からこの合金は戦つていた。しかし今次大戦が終るまでは餘り使われなかつたようであり、日本においても問題にしていなかったたので今日まで使用の経験がない。

第5表

合金	Cu	Mg	Mn	Si	Fe
17S	4.0	0.5	0.5	<0.8	<0.6
24S	4.2	1.5	0.5	<0.5	<0.5
ND	4.5	0.8	0.8	0.8	<0.8
14S	4.5	0.4	0.8	0.8	<1.0
25S	4.5	—	0.8	0.8	<0.8

第5表に5種類の高力合金の標準組成を表示してみた。これからわかることは、第一に14Sは25SにMg 0.4%を添加したものであり、また同時にND中のMg 0.8%を0.4%まで引下げたものである。NDとはNippon Duraluminの略稱であつて、戦時中一番地金の製錬がほとんど不可能となり、一方回轉する24Sのスクラップの不純化がはげしくなり鐵を極力許容してしかも24Sと同等の強度をもたせるようにと作られたものである。第二に不純物Feの許容量が高いからスクラップが多く使えることがわかる。第三に熱間加工性が25Sに次で良いであろうことが考えられる。25Sは熱間加工性が非常によいので苛酷な鍛造を行うプロペラに使われたのである。これは高温時効処理を必要とする。第四にMgの含有量からいつて或る程度の常温時効性はあつたが最高強度を出すためには高温時効を必要とすることも容易に考えられることである(合金一覽表参照)。第五に、古河電工田中浩博士の未發表の御研究によれば、14Sは15Sと同程度の切欠き衝撃値を有し他のいずれのデュラルミン系合金よりもそれがかなり大きいことが特徴の一つとなる。

以上の理由によりこの合金が近年海外で廣く使われていることがうなずけるのである。今日までにアメリカとイギリスで三つのアルミの橋が架けられているが、いずれも14Sの合せ板と押出型材を使つている。アメリカのグラスセ河とカナダのサガネー河の橋梁では高温時効

材(抗張力48kg/mm²、耐力42kg/mm²)をイギリスのウェー河の跳開橋では常温時効(抗張力42kg/mm²、耐力26kg/mm²)を使つている。日本でやるとすればやはり14Sを使うことが現状では最善であると考えられる。

◇銲 接

アルミ及びその合金の銲接には本来同じ材質の銲を使用するのがよい。例えば56S板の銲接には56Sまたは52Sの銲を使用すべきである。そうでないと折角の耐蝕性合金も銲の部分で局部電池作用により腐蝕を起すことになる。しかし接合すべき板材や型材の肉厚が非常に大きい場合には鋼製の銲を使用した例も見受けられるが、これに對しては直接に接觸しないようにその間に適當な物質または坐金を挿入する等の處置が講ぜられなければならない。加工硬化材や時効硬化材に對して鋼銲をホットリベットするとその部分が蝕されてしまうおそれがあるが、肉厚が6mm以上の場合はその心配はないとL. Dudley氏は述べている。しかしアルミの構造物に對して鋼製の銲を使用することは折角重量を軽くした効果を少しでも失う結果となり損である。ゆゑにできるだけ同質または同系統の合金銲を使用すべきである。例えば14Sの構造物に對してはデュラルミンまたはA17Sの銲を使えばよいのであるが、前者は鏡入直後に絞銲しなければならないので實際作業には取扱いにくい。したがつてA17Sの熱処理したものを使うことがよいのである。その抗張力は約30kg/mm²、剪斷強度は約18kg/mm²であり、冷間で絞銲するから加工硬化を受けてさらに強度は上る。

アルミ合金においては剪斷強度は抗張力の60%は出るものと考えてよい。またアルミ合金の銲接の際注意すべきことは一端から順次に絞銲すると少しずつ伸びて銲孔が合わなくなることがあるから、アットランダムに絞銲するか、または所々にあらかじめボルトで止めておいてからかかることが必要である。

53S, 17Sのホットリベットを使うことも今後の研究課題であらう。

◇む す び

以上斷片的記述であるが、今後日本でアルミ合金を構造物に活用する上に何らかの参考になれば著者の望外の喜びである。(1953, 2, 10)

☆

☆

☆

☆

第6表 (a) 鍛錬用アルミニウム合金化学組成一覽

鍛錬用合金 ⁽²⁾	化 学 成 分 ⁽¹⁾ %							摘 要 ⁽³⁾
	Cu	Si	Mn	Mg	Zn	Cr	Fe	
14S ⁽⁵⁾	4.5	0.8	0.8	0.4	—	—	<1.0	Alcan 26 S, AW 15
17S	4.0	<0.8	0.5	0.5	—	—	<0.7	Duralumin
A 17S	2.5	<0.6	—	0.3	—	—	<0.6	Alcan 16 S, DTD 327
24S	4.2	<0.5	0.5	1.5	—	—	<0.5	SD (日本航裕)
25S	4.5	0.8	0.8	—	—	—	<0.8	
A 51S	—	1.0	—	0.6	—	0.25	<0.6	
53S	—	0.7	—	1.25	—	0.25	<0.35	Alcan 55 S
61S	0.25	0.6	—	1.0	—	0.25	<0.7	Alcan 65 S
75S	1.5	<0.5	—	2.5	5.6	0.25	<0.7	ESD (日本航裕)
AW 10 ⁽⁴⁾	—	1.0	0.7	0.8	—	—	<0.6	Pantal, Aludur Anticorodal

(1) 標準成分と不純物の上限を示す。
 (2) 合金名は Alcoa 社の規格による。
 (3) 相當する別の名称を記載する。

(4) 英國規格には AW, BSS, DTD がある。
 (5) -S は鍛錬用合金の記號。

第6表 (b) 鍛錬用アルミニウム合金機械的性質一覽

合金と状態	引 張			ブリネル硬 度 500kg荷 重 10mm球	剪断強度 kg/mm ²	疲 勞 限 kg/mm ²	摘 要
	抗 張 力 kg/mm ²	0.2%耐力 kg/mm ²	伸 び %				
14S-0 ⁽¹⁾	21.4	11.4	14	45	12.9	7.9	
14S-T 4 ⁽²⁾	42.2	26.0	22	105	25.3	12.9	
14S-T 6 ⁽³⁾	47.8	42.2	13	130	29.5	12.9	
17S-0	18.6	7.1	22	45	12.9	7.9	
17S-T 4	42.8	25.4	22	100	25.0	10.7	
A 17S-0	15.7	5.7	27	38	10.7	—	
A 17S-T 4	30.7	17.3	27	70	17.8	9.6	
24S-0	18.5	7.1	22	42	12.9	8.6	
24S-T 4	48.5	31.4	22	105	29.2	12.9	
25S-T 6	>38	>22	>15	>95	—	13.7	
A 51S-T 6	33.7	30.2	17	100	22.5	7.7	
53S-T 4	23.6	14.2	30	65	14.2	7.1	
53S-T 6	27.8	23.7	20	80	17.1	7.9	
61S-T 4	25.0	15.0	22	65	17.1	8.9	
61S-T 6	32.1	27.8	12	95	21.4	8.9	
75S-T 6	60.7	64.3	9	150	33.5	16.0	
AW 10 A	19.2	11.2 ⁽⁴⁾	18	—	—	—	T 4 相當
AW 10 B	18.8	24.0 ⁽⁴⁾	10	—	—	—	T 6 相當

(1) 焼鈍状態。
 (2) 溶解化処理-焼入-常態時効。

(3) 溶解化処理-焼入-高温時効。
 (4) 英國では 0.1% 耐力を用いている。