

# カッパ 7, 8, 9 型のロケット・チャンバ

安 藤 良 夫

## 1. ま え が き

直径 18 mm のペンシルから、245 mm の K-6 型までのロケット・チャンバは材料の点ではステンレス鋼、Cr-Mo 鋼、Al 合金と種々異なっているが、いずれも押出管のような継目のない素材を用いて造られた。ところが K-7, 8, 9 型用として直径 420 mm のブースタを開発することとなり、従来のような押出材は製造できないため、鋼板溶接構造を採用することとなった。本報告はこれまでに製造された溶接チャンバについてまとめた。

## 2. 材 料

ロケット・チャンバは相当高い歪速度で加わる高応力に耐えなければならないので、溶接性とくに切欠靱性の高いことが必要である。K-7, 8, 9 型のブースタの材料の引張り強さは  $85 \text{ kg/mm}^2$  が要求され、この要求を満たすものとして HT 85 調質鋼と SAE 4130 Cr-Mo 鋼が候補に上がった。

HT 85 (日本製鋼所製, 2H-Ultra modified) は溶接後応力除去以外の熱処理を必要としない点が製作上の大きな利点で、新三菱重工神戸造船所で製造された 10 本余りのチャンバはすべてこれを用いており、日本で開発された調質鋼が全溶接チャンバを可能ならしめたことは特に意義がある。

4130 は溶接後焼入れ焼戻しをしないと強度が要求を満たさないので、熱処理を必要とする。新三菱重工名古屋航空機製作所で製造されたものは川鉄製の材料を、プリンス自動車で製造されたものは三菱製鋼製の材料を用い、前者は 3 分割、後者は 2 分割して溶接後熱処理を行ない、ねじ接合により各 1 機が造られた。

使用鋼材の化学成分および機械的性質の例を第 1 表および第 2 表に示す。

## 3. 溶 接 継 手 試 験

HT 85 調質鋼用被覆メタルアーク溶接棒として LBK 85 が神戸製鋼所溶接棒事業部で試作された。交直両用ライム低水素型で、溶着金属の成分は第 3 表に示すように Mn-Ni-Mo 系、全溶着金属引張試験の結果を第 4 表に示す。目標の伸び 17% 以上はすべて満足するが、層間温度の高くなる連続溶接では引張り強さ  $85 \text{ kg/mm}^2$  をわずかに下回る場合がある。

各種材料を第 5 表に示す溶接条件で溶接し、第 1 図のような継手引張り試験片を採取し、試験した結果を第 6 表に示す。N 5 T だけは仕様書の要求値  $85 \text{ kg/mm}^2$  を満足しなかったが、これは焼戻し温度が高すぎたためではないかと思う。

## 4. 切 欠 靱 性 試 験

第 1 表 使用 鋼 材 の 化 学 成 分

鋼 種	チャージ番号	製 鋼 所	化 学 成 分 (%)							
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
HT85	spec	—	≤.18	≤.55	≤1.35	≤.04	≤.05	≤1.0	≤.60	≤.50
	34E751	日本製鋼所	.15	.35	1.06	.010	.008	.81	.43	.40
4130	spec	—	.28—.33	.20—.35	.70—.90	≤.040	≤.040	—	.80—1.10	.15—.25
	D4-7181	川 鉄	.29	.23	.56	.012	.007	.04	1.06	.19
	I-charge	"	.308	.29	.64	.016	.019	.045	1.06	.22
	37121	三菱製鋼	.32	.26	.70	.014	.006	—	1.06	.34

第 2 表 使用 鋼 材 の 機 械 的 性 質

鋼 種	チャージ番号	熱 処 理	板 厚 mm	降 伏 点 kg/mm <sup>2</sup>	引張り強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸 び % (G. L. mm)
HT85	spec	焼入れ焼戻し	—	≥65	≥85	≥18 (50)
	34E751	850—900°C 焼入れ, 600°C 焼戻し	6	90.8	95.0	18.3 (200)
	"	"	"	87.4	91.4	20.8 (200)
	"	"	10	84.4	89.9	24.0 (50)
	"	"	"	92.3	94.8	19.7 (50)
4130	spec	焼入れ焼戻し	—	≥70	≥85	≥18 (50)
	"	焼 鈍	—	—	≤59.8	—
	D4-7181	"	2.8	—	63.0	26 (50)
	"	"	"	—	62.8	25 (50)
	I-charge	焼入れ焼戻し	3	77.0	89.2	11.0 (100)
	"	"	"	77.0	87.2	12.0 (100)
	37121	焼鈍 (850°C 炉冷)	12	43.1	69.6	25.0 (50)

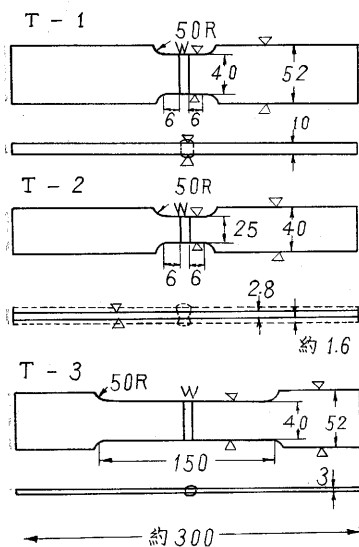
第 3 表 L BK85 溶着金属化学成分の分析結果

成分	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo
%	.07	1.46	.60	.012	.010	1.83	.05	.65

第 4 表 L BK 85 全溶着金属引張り試験結果

棒 径 mmφ	層間温度 °C	降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	引張り強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸 び % (GL=25mm)	絞 り %	備 考
3.2	25(室温)	88.0	94.9	18.4	63.9	溶接のまま
2.6		83.1	92.8	18.0	66.0	
3.2	100	86.7	92.2	20.0	66.0	"
2.6		80.3	89.0	20.4	69.7	
3.2	200	86.0	86.3	20.0	68.6	"
2.6		76.7	86.3	23.2	70.5	
3.2	連続	80.7	86.3	21.2	68.6	"
2.6		—	84.3	23.0	71.0	
E12016*	—	≥75.2	≥84.4	≥14 (GL=50mm)	—	—

\* 参考値, AWS-ASTM 規格.



第 1 図 溶接継手引張り試験片形状

使用鋼材とそれらの溶接継手の切欠靱性を求めるために V シャルピ試験を行った。HT85 については標準シャルピの板厚だけを 10, 5, 2.8 mm と変化させ、4130 については板厚のままで試験した。この詳細については別に発表したので<sup>1)</sup>、ここではその遷移温

第 5 表 溶 接 条 件

鋼 材	HT85	4130			
試験記号	10W10 * 6W2.8	N 5 T	I 5 T	I S T	I 5 C
施工工場	新三菱神戸	新三菱名古屋	石川島	石川島	石川島
板厚 mm	6~10	2.8	3	3	3
溶接方法	被覆メタルアーク	Tig	Tig	Tig	被覆メタルアーク
溶接棒または溶加材	L BK85	ER 502	ER 502	共 金	E 502
電流 A (直径 mm)	1層 80 (2.6) 2層 130 (3.2)	170 (2.4)	130 (2.6)	130 (2.6)	75~80 (2.0)
極 性	DC-RP	DC-SP	DC-SP	DC-SP	DC-RP
Ar 流量 (l/min)	—	7	7	7	—
予熱 °C	—	—	250	250	250
後熱 °C	—	—	450	450	450
熱 処 理	575±25°C 2 hr	870°C OQ 620°C T	870±20°C OQ 610±10°C T	870±20°C OQ 610±10°C T	870±20°C OQ 610±10°C T

\* 板厚 10 mm より 10 mm 厚, 板厚 6 mm より 2.8 mm 厚の溶接継手試験片を採取.

第 6 表 溶接継手の引張り試験結果

試験記号	試験片形状	引張り強さ kg/mm <sup>2</sup>	破断位置
10W10	T-1	89.5	溶 接 部
"	"	90.2	"
6W2.8	T-2	91.1	"
"	"	91.0	"
N 5 T	T-3	72.5	母 材 部
"	"	82.5	"
I 5 T	"	89.2	"
"	"	89.2	"
I S T	"	87.5	"
"	"	89.2	"
I 5 C	"	89.6	"
"	"	82.5	"

第 7 表 切欠靱性試験結果

鋼材	板厚 mm		切欠位置	溶接方法	試験記号	遷移温度 °C		
	当初	試験片				Tr15	TrE	TrS
HT85	10	10	P	—	10P10	-65	-60	-40
	10	10	W	L BK85, 被覆	10W10	-65	-15	-20
	10	5	P	—	10P5	-100	-85	-65
	10	5	W	L BK85, 被覆	10W5	-95	-50	-45
	10	2.8	P	—	10P2.8	-140	-120	-95
	10	2.8	W	L BK85, 被覆	10W2.8	-150	-110	-105
	6	5	P	—	6P5	-95	-85	-65
	6	5	W	L BK85, 被覆	6W5	-90	-55	-45
	6	2.8	P	—	6P2.8	-125	-115	-100
	6	2.8	W	L BK85, 被覆	6W2.8	-145	-115	-90
4130	2.8	2.8	P	—	N P	-190	-160	-155
	2.8	2.8	W	502 Tig	N 5 T	-170	-115	-100
	3	3	P	—	I P	-175	-155	-155
	3	3	W	502 Tig	I 5 T	-130	-105	-90
	3	3	W	共金 Tig	I S T	-190	-150	-160
	3	3	W	502 被覆	I 5 C	-130	-105	-100

\* P: 母材, W: 溶接部

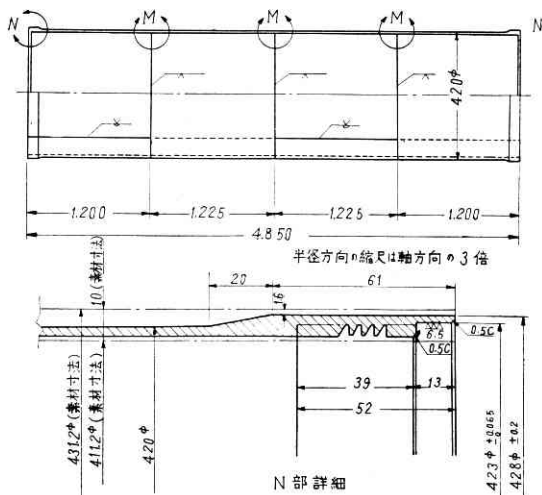
度を取りまとめた第 7 表に示す。

ロケットチャンバの材料および溶接継手の靱性を、使用応力の加わった状態でも脆性破壊を停止しようというところまで安全性を考えると、第 7 表のデータはおそらくすべて満足するのではないかと考えられる。これは伝播試験を行なって立証しなければならないが、ごく大まかに造船用鋼材では V シャルピの Trs より約 20°C 高いところに脆性亀裂停止温度があるので、薄板についても、材質が異なってもあてはまると考えれば、将来のチャンバ材料として強度を上げて、多少靱性をおとしてもなお使用にたえるものが得られるのではないかと想像されるが、この点についてはなお研究の余地がある。

## 5. チャンバの製作

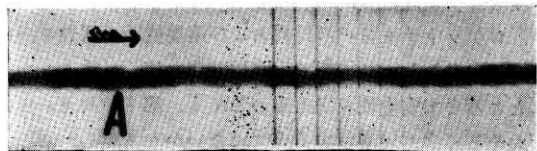
〔a〕新三菱神戸造船所における施工 HT85 製チャンバの形状を第 2 図に示す。後に補強のため中央に厚板部を残すなどわずかな変更はあ

ったが、主要部はほとんど変更されなかった。製作要領は大略つぎのとおりである。



第2図 神戸造船所施工のチャンバ

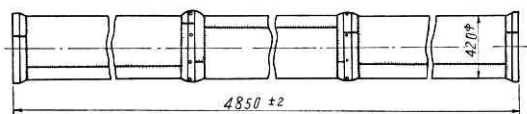
(1) 板厚 6mm および 10mm の HT 85 調質鋼板をローラにより円筒状に成形の後、縦継手を内外面より溶接し、長さ 1,300m の単輪を製作する。(2) 各単輪の溶接完了後、全線X線透過検査を行ない、拘束して応力除去焼鈍を行なう。(3) 各単輪を機械加工により内外面を切削し、板厚約 3mm の所定寸法の円筒に仕上げる。(4) 各単輪を拘束治具により計4本をつぎつぎに芋継ぎ溶接を行なう。(5) 芋継ぎ溶接部のX線透過検査を行なう。第3図はその例で JIS 1 級の品質である。(6) 寸法検査の後に 60 kg/cm<sup>2</sup> の水圧試験を实



第3図 溶接継手, X線写真の例

施する。(7) 諸試験を完了したチャンバは内面油引き、外面錆止めペイントにより仕上げ塗装を行なう。

〔b〕 新三菱名古屋航空機製作所における施工 4130 薄板製のチャンバは第4図に示すように、両端にねじを切った3個の単管からなっており、E502 溶加材による Tig 溶接後焼入れ焼戻しの熱処理を行なうため、変形がやや大きいことと水圧試験時にねじ部が若干漏洩がみられるという欠点があった。しかし、内面をレストリクターでおおうので実用上差し支えないとも考えられ、伊勢湾台風による被害を乗り越えて完成された努力は大いに

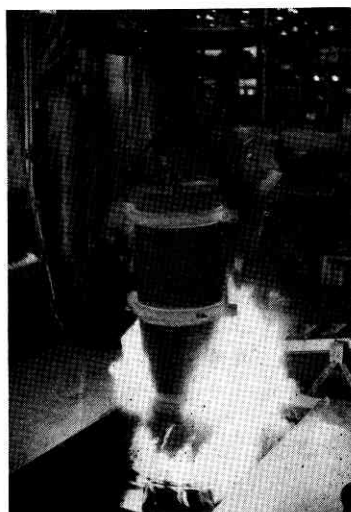


第4図 名古屋航空機製作所施工のチャンバ

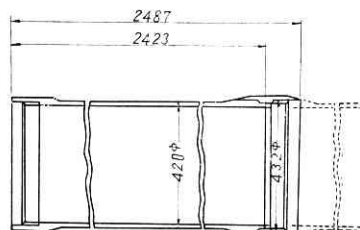
認められてよい。第5図に焼入れの作業状況を示す。

〔c〕 プリンス自動車工業における施工 このチャン

バは変形の問題をさけるため 12m の 4130 鋼板を巻いて溶接した後、焼入れ焼戻し処理を行なった。溶接は石川島播磨重工が担当し、第1層はアーコス社クロメナーMを溶加材とした Tig 溶接、第2層以下は E11016 溶接棒アトムアークTによる被覆メタルアーク溶接を行なった。形状は第6図に示すように2個の単管を切削によって加工し、中央をねじで接合、コーキングの意味で Tig 溶接を行なっている。このチャン



第5図 4130チャンバの油焼入れ状況

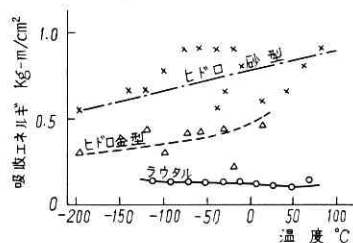


第6図 プリンス自動車工業施工のチャンバ

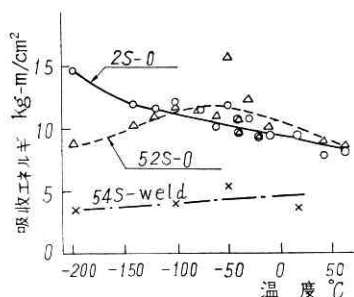
バは 1961 年7月飛しょうの K-8-7号機のブースタとして使用された。

## 6. 尾翼筒

K420 ブースタの尾翼筒ははじめ Al 合金ラウタルの鋳物で計画されたが、その後 Al 合金ヒドロナリウムの鋳物におきかえられた。第7図はこれらの鋳物のプレスシャルピ試験における吸収エネルギーを示すもので、多少改良されてはいるがいずれもきわめて低い。第8図は2Sおよび52S, Al 合金板および54S による Mig 溶接部から採取した同じ試験の吸収エネルギーである。これらの成分は第8表に示すとおりで、分かりやすく比較するため 0°C における吸収エネルギーをとって比較したのが第9図の棒グラフで、展伸材は鋳物に比して数十倍の衝撃値を有することが分かる。



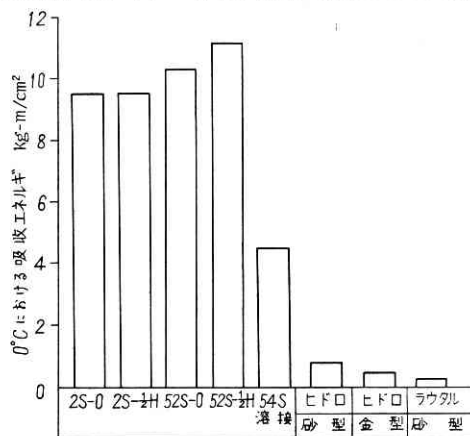
第7図 Al 合金鋳物のプレスシャルピ遷移曲線

第 8 図 Al 合金展伸材のプレス  
シャルピ遷移曲線

## 7. あとがき

引張り強さ 85 kg/mm<sup>2</sup> の高張力鋼を用いた溶接チャンバはわが国でははじめての試みであったけれども、これまでの地上ならびに飛しょう実験の結果チャンバに関しては全然問題がなかった。とくに調質鋼による構造は、溶接後熱処理を必要としない点が製作上の大きな特長で大部分のチャンバがこの方式によって製作され、今後のラムダ型、性能向上型もこの方法の改良をもって進むこととなろう。

4130 は溶接後熱処理を必要とし、設備の関係から 5 m の長さのものを全溶接で造ることは不可能であったが、これを用いたチャンバも十分使用に耐えることが確認さ



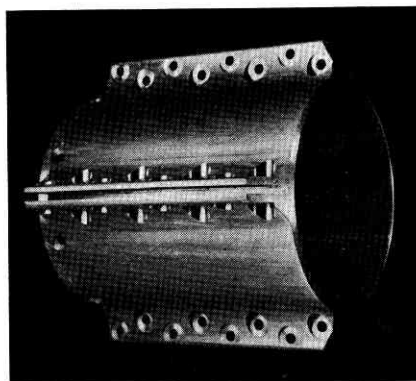
第 9 図 吸収エネルギーの比較

第 8 表 供試 Al 合金の化学成分と機械的性質

\* 前の値は 0 材、後は 1/2 H 材

合 金	種 別	化 学 成 分 (%)								引張り強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸 び %
		Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Cr	Ti		
ラウタル鋳物	規 格	3.5—4.5	4.0—5.0	<0.2	<1.0	<0.8	<0.5	—	<0.2	>28.0	>1
	供試材	4.07	4.56	0.03	—	0.18	0.02	—	—	35.3	3.2
ヒドロ鋳物	規 格	<0.1	<0.15	4.3—4.7	<0.1	<0.3	0.25—0.35	—	—	—	—
	供試材	Ni1	0.14	4.42	Ni1	0.29	0.35	—	—	24.0	18.8
2 S 板	供試材	0.03	0.28	—	0.01	0.41	0.01	—	—	8.3, 9.6*	40.5, 51.7*
52 S 板	規 格	<0.10	Si+Fe <0.45	2.2—2.8	<0.10	—	<0.10	0.15—0.35	—	—	—
	供試材	0.03	0.08	2.5	0.01	0.15	0.02	0.25	—	21.1, 25.5	20.5, 10.0*
54S 溶接部	供試材	0.01	0.07	3.5	Ni1	0.16	Ni1	—	—	—	—

尾翼筒は将来展伸材の溶接構造とすることが望ましく、小型および実物大の試験尾翼筒が製作されて目下試験中である。第 10 図は小型模型で、きわめて好成績であった。



第 10 図 Al 合金溶接尾翼筒の小型模型

が、その破面はいずれも繊維状破面を呈し、高い荷重の下においても脆性破壊をしないことが立証された。

尾翼筒については試験の結果 Al 合金鋳物はきわめて衝撃値が低いことが分かったので、近い機会に Al 合金展伸材の溶接構造に変える方針である。



第 11 図 回収した K-8 型チャンバ

製鋼所に対し厚く感謝する。(1961 年 7 月 27 日受理)

## 文 献

- (1) Ando, Y. Notch Toughness of Rocket Structural Materials and Their Welded Joint, 2nd ISRA Tokyo Proceedings (1960)

れた。第 11 図は道川ロケット・セントラ沖の海底から回収された HT 85 製チャンバで、水面衝撃のために大きく破れている

終わりに、チャンバ製作に関して直接および間接に協力された新三菱重工神戸造船所、同名古屋航空機製作所、プリンス自動車工業、石川島播磨重工、日本製鋼所、神戸