

鋼溶接チャンバの開発

森 大吉郎・安藤良夫*・中野 旭

1. 鋼溶接チャンバの開発

固体燃料ロケット・チャンバを高抗張力鋼の溶接で製作することは現在でこそ常識であるが、筆者らが糸川英夫教授の提示を受けてその開発を始めた昭和 33 年の頃には「無謀無智もはなはだしい」との声が一部の専門家にあった。これは板巻きの溶接構造で薄肉の高圧容器を設計した例が国内では皆無であったためであろう。それと似た声は、昭和 39 年から 40 年にかけて、Mロケット用に 200 キロ級鋼によるチャンバーの開発に苦勞していた際にやはりあったようである。200 キロ級鋼は溶接部その他の靱性が著しく低いから構造物特に新ロケットに適用することは非常識であるとの説である。

われわれの一連のチャンバ開発においては、材料特性などについては海外の文献があるが、ロケットへの実際の適用についてはごく断片的な資料しか無いのが通例である。その状態において材料・工作法・溶接法・熱処理法の開発と選定、構造設計等を独力で行なうのであるから、メーカーと大学とが長年にわたって緊密な連絡をとってたゆまぬ努力を傾注し、一方ではときに思い切った実用化への判断をすることが必要であった。

鋼溶接チャンバの開発経過は第 1 表のごとくである。

第 1 表 鋼溶接チャンバの開発経過

鋼 種	年 度	使用 ロ ケ ッ ト
1 85 キロ級	昭和 35 年	カップ 8 型の直径 42 cm チャンバ
2 100 キロ級	昭和 37 年	ラムダ型の直径 73.5 cm チャンバ
3 150 キロ級	昭和 39 年	ラムダ型第 3 段の直径 42 cm チャンバ
4 200 キロ級	昭和 40~41 年	ラムダ 3 H 型第 3 段の直径 50 cm チャンバ ミュー型の直径 1.4 m チャンバ

固燃ロケットの場合には構造重量の 50~70% がケース重量であるから、その軽量化には最大の努力を払うべきである。ミューロケット用チャンバにおいては、最初から、当時未開発であった 200 キロ級鋼を用いることを決めていたが、ロケット設計と鋼溶接技術の進展との射程を合せた一つの勇断であったと言えよう。

本稿では 150~200 キロ級鋼チャンバの開発について述べる。85, 100 キロ級鋼については前に報告してある [1] [2]。

2. 低合金 150 キロ級鋼

第 1 表に見られるように 85 kg/mm² 鋼、100 kg/mm² 鋼はカップやラムダに実用された

*宇宙研究担当 (東大工学部教授)

が、同様な低炭素鋼の系列でさらに 150 kg/mm ないし 200 kg/mm² をねらった開発を昭和 37 年から始めた。

第 2 表に試験した材料の化学成分を示す。100 キロ鋼 (HT-100) は低炭素鋼であるが、HT-150 と HT-200 A はやや炭素量を増して強度を上げたマルテンサイト鋼である。HT-150 は A, B の 2 種類につき総合試験を行なった。熱処理はやはり第 2 表に見られるように、HT-100 が 890°C 水焼入, 570~620°C 焼準であるのに対し、HT-150, HT-200 A の場合は 870°C 油焼入, 200~300°C 空冷である。

第 2 表 低合金鋼の化学成分

材 種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Al	Cu	熱 処 理
HT-100	0.19	0.5	1.2	0.02	0.03	1.3	0.6	0.4	—	—	0.3	890°C水焼入, 570~620°C焼準
HT-150 A	0.34	0.3	0.7	0.02	0.02	1.8	0.8	0.3	0.2	0.02	—	
HT-150 B	0.23	1.5	0.9	0.01	0.01	1.8	0.9	0.4	—	0.08	—	870°C油焼入, 200~300°C焼準
HT-200 A	0.46	1.8	0.8	0.01	0.01	1.9	0.9	0.4	0.1	0.09	—	

第 3 表 低合金鋼の強度

材 種	σ_r 降伏点(kg/mm ²)	抗張力 σ_u (kg/mm ²)	E 伸び	曲 げ	硬度 (H _v)	衝 撃 値 (kgm/cm ²)
HT-100	95	100(100, 溶接試験片)	15	180°	350	8
HT-150 A	135	165(165, ")	9	150° 割れ	500	
HT-150 B	135	165(165, ")	8	180°	500	
HT-200 A	185	200(170, ")	4			

試験片による機械的特性を第 3 表に示す。溶接試験片の強度も併記した。溶接部の硬度は約 500 である。

溶接は母材相似の棒で被覆 TIG で行なう。焼準状態で溶接した後、母材と同一の熱処理を施す。

チャンバに仕上げるには、このような試験片による検討に引き続いてモデル・チャンバを製作して工作法、仕上り精度、剛性、内圧破壊強度などの総合試験を実施するのがわれわれの通常の方針である。

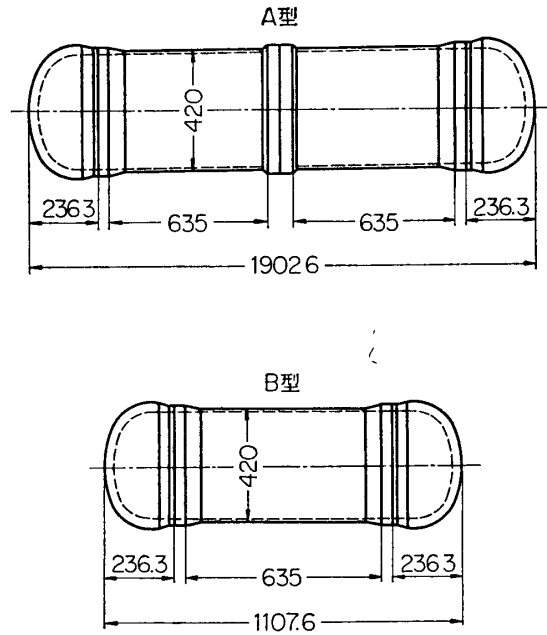
第 1 図にモデル・チャンバの外形寸度を示す。A, B の 2 種類を製作した。第 2 図は工作順序である。

苦心の末、工作法を確立し、製品精度も良好なものがえられた。

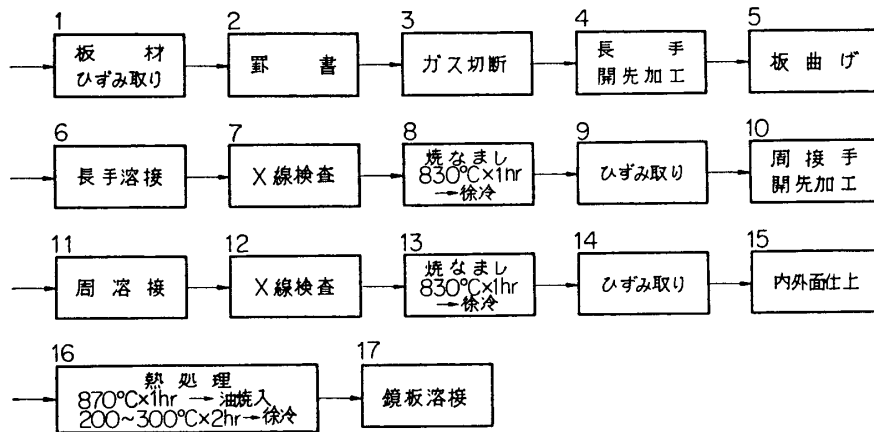
内圧破壊試験の結果は第 4 表のごとくで、結論として HT-150 B はすぐれた成績であるが、HT-150 A および HT-200 A はチャンバとしての実用性に疑問があることがわかった。

これにより HT-150 B を用いて直径 42 cm のチャンバを作りラムダ 3 型の第 3 段に用い 39 年 7 月の L-3-1 号機に実用して好成績をおさめた。

第 3 図はモデル・チャンバの写真である。



第1図 モデルチャンバ外形図

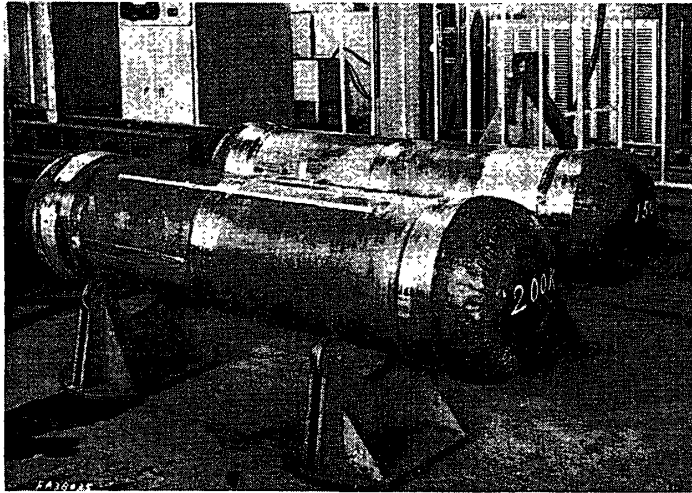


第2図 モデルチャンバ 工作順序

第4表 モデル・チャンバ内圧破壊試験結果

チャンバ形式	鋼 種	母材強度	破壊応力※	破 壊 部
A	HT-150 A	165	118	溶 接
	HT-200 A	200	107	母 材
B	HT-150 A	165	144	母 材
	HT-150 B	165	175	溶 接
	HT-200 A	200	118	溶 接
	HT-200	200	179	溶 接

※ 破壊時の内圧よりの計算値



第3図 モデルチャンバ

3. マレージング 200 キロ級鋼

前節の研究によって、HT-150 による 150 キロ級鋼チャンバは実用に達したが、それ以上は低合金鋼の線では実現不能であることがわかったので、別種材料を調査した末に、高 Ni-Co-Mo 低炭素鋼析出硬化形のマレージング鋼を研究開発することに決めた。昭和 38 年である。そしてミューロケットは本材料の使用を根本前提とした。未開発の材料を設計に組み入れるのは危険なことであるが、ミューロケットは衛星能力を持たせるための軽量化が強く要請されていることと、高抗張鋼チャンバの技術開発の進展速度とをあわせ考えて、あえてこの方針を採った。途中で多大の苦勞をしたが結果はよかったと思う。

マレージング鋼チャンバ (HT-200 チャンバ) の東大における開発は大きくわけて 2 段階がある。第 1 期は基礎研究から始まって 420φ, 500φ チャンバの実用の目途がついた 39 年末まで、第 2 期は M 用として厚板に関し、諸性能・工作法・設計までに至る大規模な開発研究とこれに応じて M チャンバの実用化に成功した現在までである。

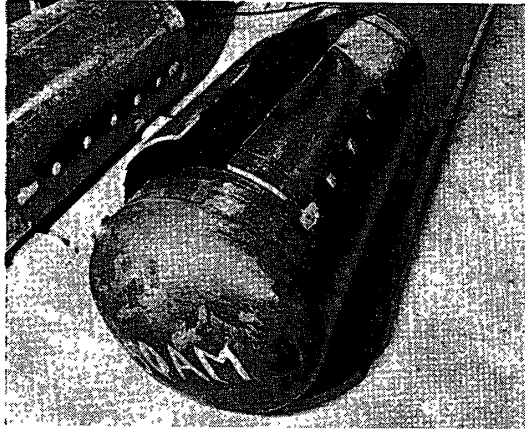
第 1 期における諸試験の概略を述べると、第 5 表には鋼材の 1 例の成分と機械的特性を示

第 5 表 マレージング鋼の特性例

成 分 表												降伏点 (kg/mm ²)	抗張力 (kg/mm ²)	伸び (%)	衝撃値 (kg/mm ²)
C	Si	Mn	P	S	Ni	Co	Mo	Al	Ti	Zr	B				
0.024	0.07	0.07	0.005	0.003	18	9	4.3	0.07	0.80	0.001	0.003	190	200	4	1~2 (0°C)

してある。本材は 18% Ni, 9% Co, 4% Mo で 820°C の溶体化処理ののちに溶接加工を行ない、次いで約 480°C ほどで時効処理を行なうことによって強度が約 200 kg/mm² になる。材種についての文献はあるが、ロケット・チャンバの加工設計についての資料は皆無に近いので、その開発は苦心の連続で精力的な研究 2 年の後に薄板について一応の技術がえら

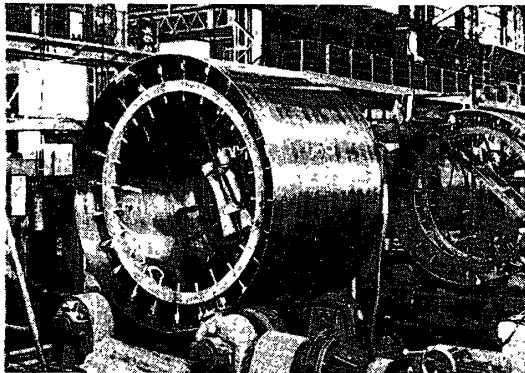
れた。HT-150と同様のモデル・チャンバを製作して内圧試験を行なったが、その結果は第4表に併記してある。第4図は試験後の写真である。そして40年3月のL-3-3号機第3段、40年8月のK-10S-1号機第2段、41年3月のL-3H-1号機第3段などへ実用して好成績を収めている。



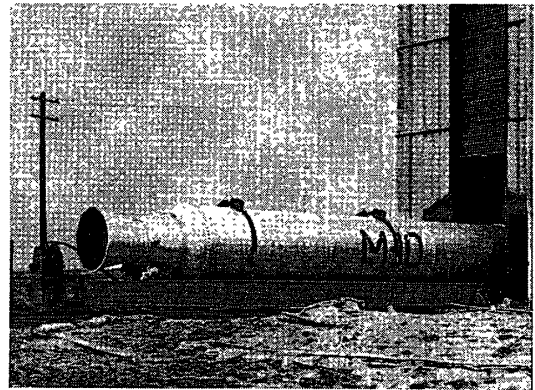
第5図 試験後のモデルチャンバ

しかし、M用として39年12月にモデル・チャンバを製作試験したところ、主として材料欠陥に基づく亀裂が発生したので、第2期においては改めて母材・溶接・熱処理、直径420mm級モデル、実寸モデルによる試験、各種構造試験、信頼性・安定性試験等にわたって広範囲かつ大規模な開発研究を東大・三菱神船・川鉄の3者協力して実施し、40年11月のM地上燃焼試験、41年10月のM-1号機などによりややく実用の域に達したが、現在なお諸研究を続行中である。

第5図は製作中のMチャンバ部品、第6図は地上燃焼試験時のMチャンバである。



第5図 製作中のMチャンバ



第6図 地上燃焼試験時のMチャンバ

4. むすび

チャンバはロケット構造重量の過半を占める重要部分であるので、その高性能軽量化を年来推進してきたが、鋼溶接チャンバは本来大型ロケット用として最も高性能で信頼度の高いものである。近年鋼以外にチタン・FRPなどを小型用に使う機会が増ってきているが、われわれとしてはこの3者につき手をゆるめないで開発を進めてゆく予定である。

1967年1月25日 宇宙工学

参考文献

- [1] 安藤良夫：生産研究 Vol. 13, No. 10. (1961), p. 48
- [2] 安藤良夫：生産研究 Vol. 15, No. 7. (1963), p. 53