

カッパ・ロケット翼の強度試験結果について

池 田 健・古 田 敏 康

1. ま え が き

ロケットの翼は静的および動的荷重に対する十分な強さがロケットの速度に応じて要求され、また同時に適当な剛性も必要である。そこでカッパ・ロケットの翼についてはあらかじめ実験室内にて強度および剛性試験を行った。

カッパ 128 J-S 型および T 型は厚さ 4 mm のジュラルミン中実翼を使用した。カッパ 128 J-TR 型では、ノッチアンテナを翼の中にとりつけることになったのと、軽量化のためにその構造はサンドウィッチ構造とした。特にノッチアンテナ付翼およびダミー翼（アンテナ付翼は 1 個のみで、反対側の翼は構造的にはアンテナ付翼と同様であるが、電気的にはアンテナの作用はしない dummy antenna を付けた）については、翼の心材のなかをアンテナのリード線を通す必要上複雑な構造となり、その製作はもちろん、重量および強度上につき十分に検討をする必要があった。

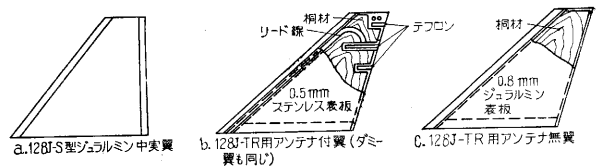
試験翼としては実際に飛しょう実験に使用するために作った翼の中から取り出し、剛性試験と破壊試験を行った。動の実験は無理であるから主として静的実験によりその強度を推察した。なお振動試験については森研究室にて行った別紙報告を参照されたい。

第 1 表 強度試験に使用した翼の種類

翼の種類	構 造	1 枚の重量	厚さ	摘 要
128 J-S 型用 ジュラルミン 翼	ジュラルミン 4 mm の 中実翼	530 g	4 mm	飛しょう実験 にも使用 (第 1 図 a)
128 J-TR 型 アンテナ付翼	表板ステンレス 0.5 mm コア桐材 6 mm サンドウィッチ構造	770	7	" " (第 1 図 b)
同上ダミー翼	"	770	"	" " (第 1 図 b)
同上ダミー翼	表板ジュラルミン 0.8 mm コア桐材 5.4 mm サンドウィッチ構造	500	"	強度試験用 (第 1 図 b)
128 J-TR 型用 アンテナ無翼	" "	"	"	飛しょう実験 にも使用 (第 1 図 c)
"	表板ステンレス 0.5 mm コア桐材 6 mm サンドウィッチ構造	710	"	強度試験用 (第 1 図 c)

カッパ・ロケット翼の製作について

128 J-S 型および T 型の翼は富士精密工業 K.K にて製作したものでジュラルミン 4 mm 板の中実翼である。128 J-TR 型翼は池田研究室にて製作したもので、その種類、構造は第 1 表、第 1 図に示す。そのおもな材質について説明すると、



第 1 図 カッパ・ロケット翼の構造

a) 心材 (コア)：心材に適する性質としてはまず軽量であることと、かつ剛性を有し、耐湿、均質性があることが望ましい。特にロケットの速度が増してくるにしたがって空力的加熱も無視できないから、耐熱性も必要になってくる。その種類もいろいろあるが現在最も入手しやすい桐材 (比重 0.25) を使用した。その厚さは 0.5 mm 18-8 ステンレス板サンドウィッチ構造翼に対しては 6 mm の心材を、0.8 mm ジュラルミン板サンドウィッチ構造翼に対しては 5.4 mm の心材を使用し、その翼の全厚さを 7 mm とした。

b) 表板 (フェースプレート)：表板は入手しやすくかつ剛性も強くて工作容易なステンレス板 (18-8, 0.5 mm 板)、また重量軽減のためジュラルミン板 (17 ST, 0.8 mm) の 2 種類を使用した。

c) 接着剤：最近合成接着剤は相当に進歩し、その種類も大部多くなった。代表的な接着剤としてアラルダイト TYPE 1, TYPE 15, および国産品としてはボンド E₃ 等を選び接着強度試験の結果、翼の製作には国産合成接着剤ボンド E₃ とその硬化剤 C を使用した。これは空力的加熱およびエンジンからの加熱に対する耐熱性を考慮したからである。

128 J-TR 型アンテナ付翼の構造は第 1 図 b に示す通りで、前縁は軟鋼にて 20 度の角度に仕上げ、前縁と心材の間に 10 mm の溝を設けてそこにアンテナ

からのリード線を通した。先端金具は軟鋼にて作り一番上のノッチ部に 33 mm×10 mm のテフロンをはめこみ、次の 64 mm×10 mm のノッチ部はジュラルミンにて作りその中にテフロンをはめ、最後のノッチ部は軟鋼にて作り 33 mm×10 mm のテフロンをはめこんだ。心材は 6 mm の桐材を所定の形に切り、0.5 mm ステンレス板と前掲表の各部品を合成接着剤にて接着し、最後に表板と前、後縁は 3 mm のアルミ鋸にて鋸接とし、鋸頭を平らに仕上げ、恒温槽中にて 100°C で 2 時間、60 kg 程度加圧しながら加熱した。なお接着剤自身の最高加熱温度は 200°C であるが、その温度では心材の桐が熱のために変形がひどく表板と心材とが剥離することが多いので 100°C の加熱温度とした。ノッチアンテナ部のテフロンは接着性がないので接着面をのこぎり状に仕上げ、さらにビス止めとした。この結果荷重倍数 100 程度でもとれないことが加速度試験（生産研究 Vol. 8 No. 6 参照）により確認できた。

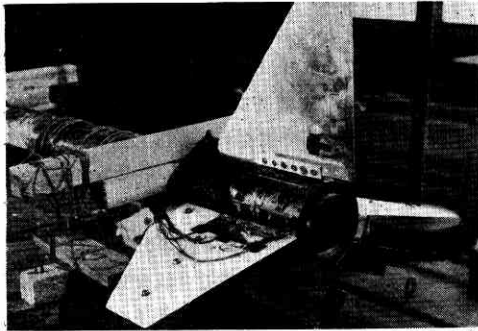
その他の翼もこれに準じて作製したが、128 J-TR 型表板 0.8 mm ジュラルミンアンテナなし翼では前縁、後縁をアルミニウム材にて作りさらに軽量化を計った。

3. 強度試験の方法および結果

a) 128 J-S 型翼の試験（ジュラルミン中実翼）

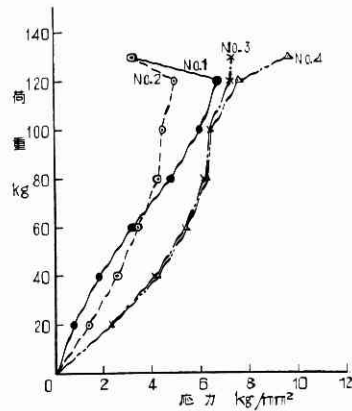
i) 翼をロケット機体に取り付けた時の荷重試験

128J-S 型翼は厚さ 4mm のジュラルミン中実翼で、その試験法は第 2 図に示す通りである。ロケット本体は道川実験場において地上燃焼実験をした 0 号機を使用し、翼が破壊するまでの応力および撓みを測定



(a) 第 2 図 128 J-S 型翼の試験法

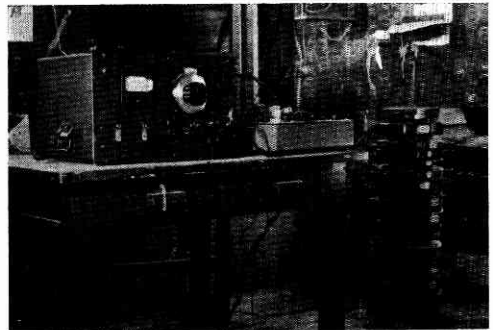
した。応力は抵抗線歪計により撓みはカセットメータにより測定した。翼に加える荷重はなるべく等分布荷重に近い状態にするため、図のようなリンクシステムによる荷重法を用いた。その結果は第 3 図に示す。ここで荷重は 130kg で根元で破壊変形した。翼の付根部の最大応力は 10 kg/mm² 程度であるから、これは翼自身の強度より翼の取付金具 L 鋼の強度が低いことを示す。図の No. 3, No. 4 の個所の応力は荷重が 120 kg~130 kg で急に低下しているのは、翼の先端部の付根をロケット本体の溝



第 3 図 128 J-S 型翼の荷重—応力線図（図の番号は第 6 図の位置を示す）

にはめこみとしたので、L 鋼の破壊と同時に翼の負担する荷重が減じたからである。しかし 120 kg 程度まではかなり荷重を受けもち、僅か 2 mm 程度のはめこみでもかなり有効に働いていることを示す。

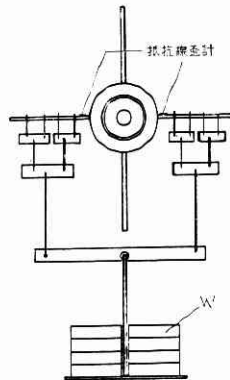
ロケットの飛



第 4 図 翼の強度試験

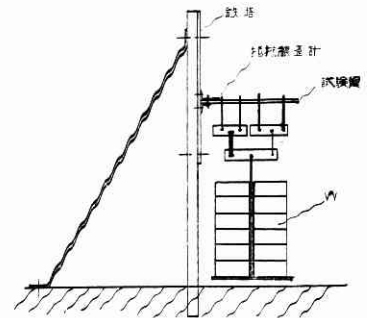
しょう実験においては燃焼後が翼に加わる荷重が大きい。その時のカップ・ロケットの重量は約 26 kg 程度であるから荷重倍数 1 は 26 kg 程度である。つまり荷重倍数 1 は 26 kg として 1 枚の翼当り 13 kg となる。そこでこの場合には最大強度は荷重倍数 5 以上である。

ii) 翼を試験用鉄塔に取り付けた時の試験 前回の方法では翼の取付け破壊のために翼自身の最大強度は求められなかった。第 4 図、第 5 図に示

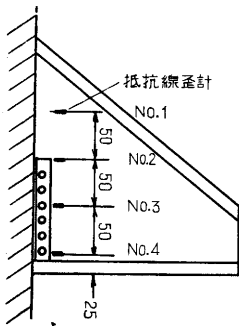


(b)

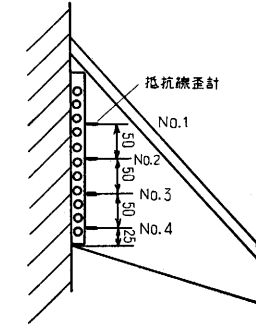
す装置で翼のみの強度試験を行った。翼取付けの L 鋼、ボルト等は実機と同じ条件とし、荷重装置はリンクシステムとした。応力測定は抵抗



第 5 図 翼の強度試験法

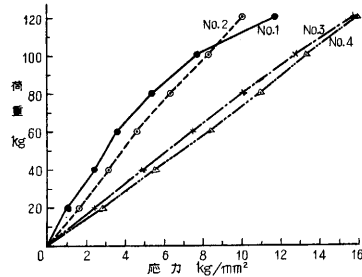


第 6 図 ジュラルミン中実翼の応力測定箇所



第 8 図 サンドウィッチ翼の応力測定箇所

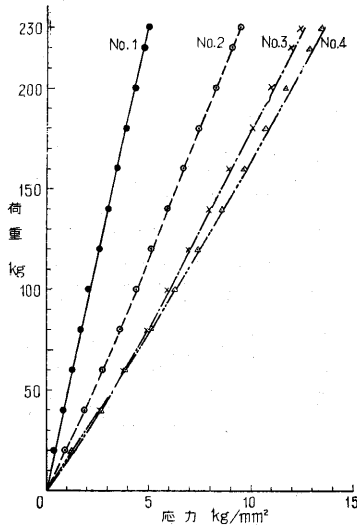
20 程度であるから十分である(ただし翼厚をこれ以上うすくすると、剛性の低下によりフラッタに対しては危険と思われる)。



第 9 図 128 J-TR 型アンテナ付翼 (表板 0.5 mm ステンレス)

b) 128 J-TR 型用翼の試験 (サンドウィッチ翼) 試験方法は前と同様

第 2 表 カップ 128 型 ロケット翼強度試験および振動試験結果



第 7 図 中実翼の荷重—応力線図

翼の種類	強度試験		振動試験 (cps)		
	破壊荷重 (kg)	荷重倍数1*の荷重における撓み (mm)	曲げ一次	曲げ二次	振り一次
128 J-S 型用ジュラルミン中実翼	250	2.6	72	238	190
128 J-TR型アンテナ付翼 ステンレス 0.5 mm サンドウィッチ構造	140	—	105	540	330
同上ダミー翼	130	0.6	85	248	205
128 J-TR 型ダミー翼 ジュラルミン 0.8 mm サンドウィッチ構造	185	1.4	—	—	—
128 J-TR型アンテナ無翼 ジュラルミン 0.8 mm サンドウィッチ構造	215	1.0	117	510	360
128 J-TR型アンテナ無翼 ステンレス 0.5 mm サンドウィッチ構造	180	0.7	—	—	—

〔註〕 表の数値は、片翼を試験用鉄塔に取りつけて荷重試験を行った結果を示す。

* 荷重倍数 1 の荷重は各ロケットにつき異なるが片翼につき 13kg とした。

線直ゲージを用い、測定位置は第 6 図に示す。強度試験結果は第 7 図、第 2、3 表に、その撓みは第 13 図に示す通りである。ここで翼そのものの最大強度は荷重倍数第 3 表 荷重 120 kg (荷重倍数約 9.25) における翼の最大応力

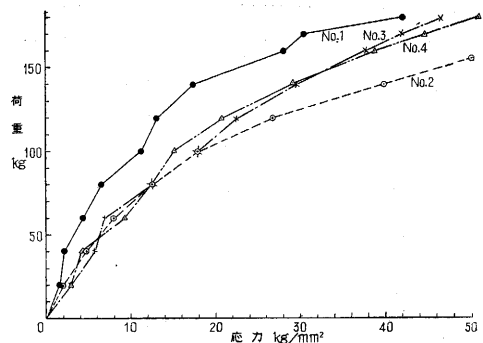
翼の種類	最大応力 (kg/mm ²)
128 J-S 型ジュラルミン中実翼	14.7
128 J-TR 型アンテナ付翼 ステンレス 0.5 mm サンドウィッチ構造	16.0
同上ダミー翼	27.0*
128 J-TR 型ダミー翼 ジュラルミン 0.8 mm サンドウィッチ構造	6.5~8.1
128 J-TR 型アンテナ無翼 ジュラルミン 0.8 mm サンドウィッチ構造	11.4
128 J-TR 型アンテナ無翼 ステンレス 0.5 mm サンドウィッチ構造	15.0

〔註〕 応力の測定は抵抗線歪計による。

* は表板の座屈の影響により見掛上は大きい値を示している。

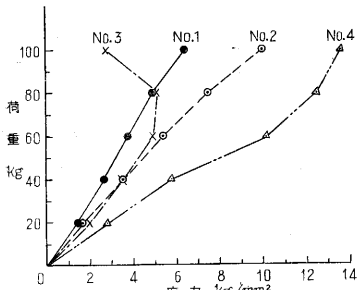
第 5 図に示す装置で行い、応力測定箇所は第 8 図の通りである。128 J-TR 型翼は第 1 表に示す通り数種類あり、そのおのおのについての強度試験結果は第 2、3 表、第 9 図より第 13 図に示す。

サンドウィッチ構造翼の強度は翼により多少の相違はあるけれども、第 2 表に示す通り表板が 0.5 mm ステンレスの翼は、破壊強度は 130~180 kg で荷重倍数は

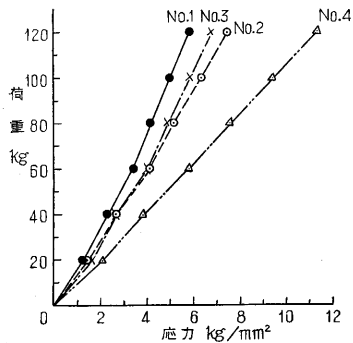


第 10 図 128 J-TR 型ダミー翼 (表板 0.5 mm ステンレス)

約 10~14 であり、0.8 mm のジュラルミンの翼は 180~215 kg で荷重倍数は約 14~16 でありその強度は十分である。アンテナ付翼と、ない翼との構造上の違いにより後者の方が約 15~30% の強度の増加を示している。剛性の強さの順を示すと 0.5 mm ステンレス板サンド



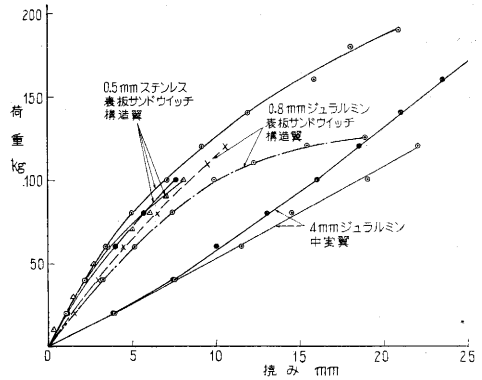
第11図 128 J-TR 型アンテナ無翼 (表板 0.5 mm ステンレス)



第12図 128 J-TR 型アンテナ無翼 (表板 0.8 mm ジュラルミン) の翼の撓みを記入したものである。撓みは翼の先端で計

ウイッチ構造翼, 0.8 mm 板サンドウイッチ構造翼, ジュラルミン中実翼となっている。また固有振動数を見てもサンドウイッチ構造翼の方が中実翼より一段と優れている。

第3表には荷重 120 kg (荷重倍数約 9.25) を加えた場合の翼の最大応力を示すものでかなりの安全性のあることを示している。第13図には荷重 200kg 程度までの各種類



第13図 翼の荷重—撓み曲線

りカセットメータを使用した。

4. あとがき

以上主として室内実験的に翼の強度および剛性試験を行った。これでサンドウイッチ構造翼は強さおよび剛性の点ですぐれていることがわかった。特に 128 J-TR 型用のようなアンテナ翼は他の構造法では不可能と思われる。なお、飛しょう実験では翼はエンジンからの加熱により約 170°C 程度になったことが計測されたが、心材および接着剤はこれに十分耐えた。

また以上の結果によれば、実機の翼で最も強度の弱いものは 128 J-S 型の 1 号機の場合で約荷重倍数 5 の強さを持っている。したがって 128 J-S の性能に対してはこの程度の強さおよび剛性で十分であることがわかった。なお、供試翼および実験装置の製作には長谷部秀二君の協力を、また、実験には富田文治、吉屋勲の両君の協力を得たことを付記する。(1957. 2. 4)

観測ロケット研究班 (SR 研究班) の構成

当所内の観測ロケット研究班の主要構成は下記の通りになっている。参考のためにここに掲載する。

教授	星 合 正 治 (所長)	助教授	齋 藤 成 文
"	池 田 健 (幹事)	"	植 村 恒 義
"	高 木 昇 (幹事)	"	勝 田 高 司
"	糸 川 英 夫 (幹事)	"	野 村 民 也
"	沢 井 善 三 郎	"	森 大 吉 郎
"	玉 木 章 夫	"	池 辺 陽
"	橘 藤 雄	"	丹 羽 登
"	平 尾 収	"	宋 岡 清 市
"	丸 安 隆 和	"	富 永 五 郎
"	坪 井 善 勝	"	山 田 嘉 昭
"	福 田 義 民	"	安 藤 良 夫
助教授	浅 原 照 三	"	武 藤 義 一

正 誤 表 (2 月号)

頁	段	行	種別	正	誤
5	右		第 1 図	天地逆	
"	"	7	"	約 100 db	約 120 db
6	"	7	"	…はずである	…はずである
7	"	10	"	130mm	180mm
10	左		第 2 図	KENDARAPARA CANAL	KENDRAPAR CANAL
"	"	28	本 文	50t 船程度	50t 船程度
11	"	6	"	e)	f)
"	"	13	"	f)	g)
20	右	25	"	…の平衡でも	…の平衡でも
"	"	26	"	平衡の場合と	平衡の場合と
23	"	27	"	Function	Functon