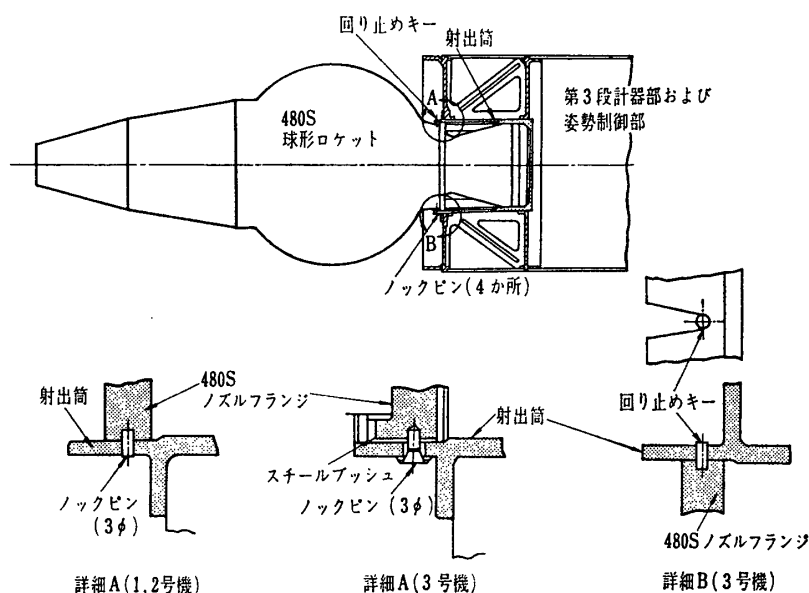


L-4S 第4段接手部の構造について

森 大吉郎・中野 旭・橋元 保雄

1. L-4S 第4段接手部の構造と作動状況

L-4S の第4段接手部（第4段エンジンと第3段の姿勢制御・計器部との接合部）においては、切離し装置として第1図に示すような火薬と射出筒による押出機構を採用している。



第1図 第4段接手部の構造

この方式はカップ K-9M などの二段ロケットの接手部に常用されているが、4段ロケットに用いるのは初めてである。

L-4S-1, 2, 3号機の実験を通じて、本接手部の飛しょうの際の作動状況はテレメータ等の記録を総合すると次のように推定される。

1号機……正常。

2号機……デスピナーモータ作動の頃に結合がはずれている。

3号機……姿勢制御開始前に結合がはずれている。

2・3号機における故障は3・4段の結合の役目をしているアルミ・ノックが正規の切離し時以前に切断したのが原因であると推定される。2号機における故障により、3号機においては第1表に示すように、ノック材質その他に改造を施したのであるが、結局は2・3号ともにノックのせん断強度を越す負荷が加わったのが事前切断の原因であって、その負荷の要

第1表 第4段接手部のおもな比較

項 目		1・2号	3号
1. シャノック	直径・本数 材 質 せん断強度	3mm 4本 A3B2-0 13 kg/mm ²	3mm 4本 A3B2-T4 26 kg/mm ²
2. ノックベース		アルミ合金	* 鋼座 (ブッシュとベース)
3. 回転止め		なし	* 6φ鋼ノック・2本
4. ノズル後端		2mm ゴム板	—
5. 第1段補助ブースタ		1号なし, 2号あり	あ り

*: 第1図参照

因としては下記があげられる.

- a. エンジン燃焼に伴う加速度・振動・衝撃.
- b. 下段の切断と補助ブースタの切離しに伴う加速度・振動・衝撃.
- c. 曲げ負荷とねじり負荷.
- d. 射出筒真空差圧.

以下には, これらの原因について検討した経過について概要を述べる.

2. 飛しょう中の負荷

L-3H および L-4S の飛しょう中の軸方向負荷についての実測値を要約し最大値を列記すると第2表のごとくである.

第2表 飛しょう中の軸方向加速度の最大値

静加速度 (g)	1段	8.3
	2段	10.5
	3段	16
	4段	36
振動・衝撃加速度 (g) (測定範囲, 90 c/s 以下)	1段	+1.7~-1.6
	補助ブースタ	-3.4
	2段	0.5
	3段	2.5
	1・2段切断	+8, -4
	2・3段切断	2.5

使用した加速度計は抵抗線型加速度計 (測定範囲-10~+40g, 90c/s) であるが, そのほか L-3H ではチタン酸バリウム加速度計 (測定範囲±10g, 450c/s) も併用している. 記録はペンレコーダおよびビジグラフによるものである. 速い衝撃の測定としては後述のようにその値は不十分である.

3. アルミノックの強度

第1図に示した第4段接手部については、構造全体としての軸方向引張圧縮・曲げ・スピン・軸および横方向の振動と衝撃等の諸試験を実施したが、アルミノック以外の個所においては規定負荷内では破損や有害な変形は見られなかった。

ノックについては静的および動的試験を行なったが、その結果を要約すると下記のごとくである。

(a) 静的せん断強度

1・2号機用：直径 3mm ϕ ，材質 A3B2—O材，せん断強度 13kg/mm²。

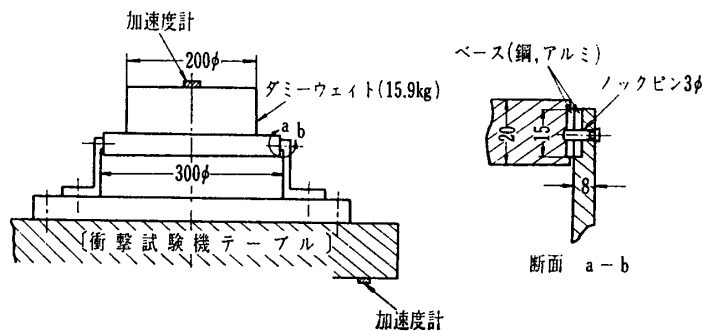
4本によるせん断強度 368kg，ねじり強度 36.8kg-mm

3号機用：直径 3mm ϕ ，材質 A3B2—T4 材，せん断強度 26kg/mm²。

4本によるせん断強度 736kg，ねじり強度 73.6kg-mm

(b) 動的強度

実機への使用条件になるべく相似した動的試験として2図に示す試験装置を用いて、振動および衝撃試験を実施した。1・2号機および3号機の状態での試験を行なった。

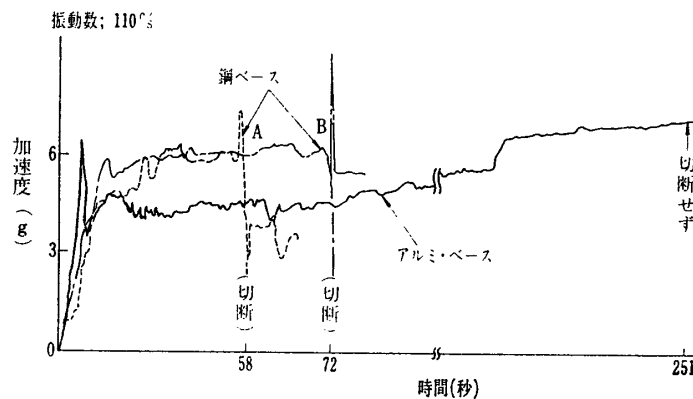


第2図 動的せん断試験用治具

b-1 衝撃試験においては、試験体加速度 25~35g，ノックせん断応力 27~38kg/mm²の範囲で 16 回の試験を行なった。結果は大略の傾向として、アルミと鋼ベース（座板）の比較ではアルミベースの方が切れにくいこと、特に2回目の負荷以後でベース穴が広がったのちは、ノックは変形はするが切れがたいことがわかった。

b-2 振動試験においては、アルミベースのときが鋼ベースのときよりノックが切れがたいという傾向がはっきり出ている。すなわち、6ないし7gで系の1次共振点 110c/sにて起振すると第3図に示すように、鋼ベースであると1回目 58秒，2回目 72秒でノック（O材）が切れた。次にアルミベースの場合であると4分 11秒に至るも切れず、試験装置の一部（ベース止めネジ）がゆるんだ。

以上の両動的試験から大略の傾向として、アルミベースの場合にノックが切れがたいこと、またノックが一度変形すると、穴の変形も加わってよいよ切れがたくなることがわか



第 3 図 振動せん断試験の結果

った。

(c) 負荷との対比

第 4 段を集中質量と仮定し、それに軸方向負加速度を乗じた力がシャノックに働くものとする。正加速度による力は、ノズル取付部のフランジ面にて受け持つので、シャノックへの負荷としては負方向の力のみを考えればよい。

◦ スピン・モータ作動によるねじり力：ノック 4 本でねじり強度は $36.8 \text{ kg}\cdot\text{m}$ (1・2号) $73.6 \text{ kg}\cdot\text{m}$ (3号) であり、2本のスピン・モータが作動したときのねじり力に対する安全率はそれぞれ 14 および 28 である。3号ではさらに鋼ノックと切欠溝で作った回り止めがあるから、ねじりに対する安全度は高い。

◦ 真空差圧：射出筒の内部は約 1 気圧に保たれるから、上空で周囲が低圧になることによって生じた差圧による力が発生する。周囲圧力を零（真空）とするとその力は 290 kg となるから、安全率はそれぞれ 1.3, 2.5 である。

◦ 火薬押出しの確度：切離し用火薬が点火されると最低 $2 \text{ kg}/\text{mm}^2$ の圧力が射出筒内で発生するから、ノックを切断して押出すときの確実度は、1・2号機で 4, 3号機で 2, その際の第 4 段の受ける加速度はそれぞれ 10 g および 21 g と計算される。

◦ 静加速度：飛しょう中の静加速度としては、エンジン燃焼中は大体は正加速度であり、燃焼終了前後に空気抵抗による負加速度が生ずるが、それは最大値で 1.5 g であるから安全率は 2.1 である。

◦ 各段切断に伴う衝撃：各段の切断のうちで最も影響の大きいのは第 1 段切断であるが、これについては、最初ペンオシロによる記録では第 2 表のように $+8 \text{ g}$, -4 g という記録がえられていた。 -4 g を規準とすると $S_1=1$, $S_2=2$ である。しかるにその後記録の再吟味を行ない、測定と記録系の特性とから逆に推定すると、 $+22 \text{ g}$, -14 g 程度が見込まれた。また別稿の切断地上試験により、この衝撃値がかなり大きいことが判明した。

4. 第 1 段切断試験による検討

前述の考察を通じてアルミノックを事前切断させた負荷としては、第 1 段切断に伴う衝撃がもっとも可能性が大きいと結論されたので、実機に相似した模型を用いて、第 1 段切断の

地上試験を実施した。概要は「ラムダロケットの第1段切断に伴う衝撃について」に報告してあるが、ここでは第4段に対する影響、特にアルミノックに対する衝撃について説明する。

42年10月と12月に実施した地上試験から、第4段接手に直接関係の深い2例を選んで、結果を第3表に概要を示す。

第3表 第1段地上切断試験におけるノックの切断状況

	A	B
相似させた機種 シャノック ノックベース	L-4S-1号 O材 アルミ合金	3号 T-4材 鋼
最大加速度 (g) (第4段)	+10.5, -5	+30, -0
ノック	変形あり, 切断せず	切断
ノック穴	少し変形	異常なし
試験	42年12月	42年10月

この試験においてA例は第4段接手部に関しては1・2号機と同一条件に、またB例は3号機と同一条件にしてある。試験の結果は、Aにおいてはノックは変形はするが切断せず、Bにおいてはノックはきれいに切断されている。

これは3の動的強度試験の結果と傾向として相似するばかりでなく1に説明した実機の1号機および3号機の結果と正確に適合する。これらを総合して、次の推論が下せる。

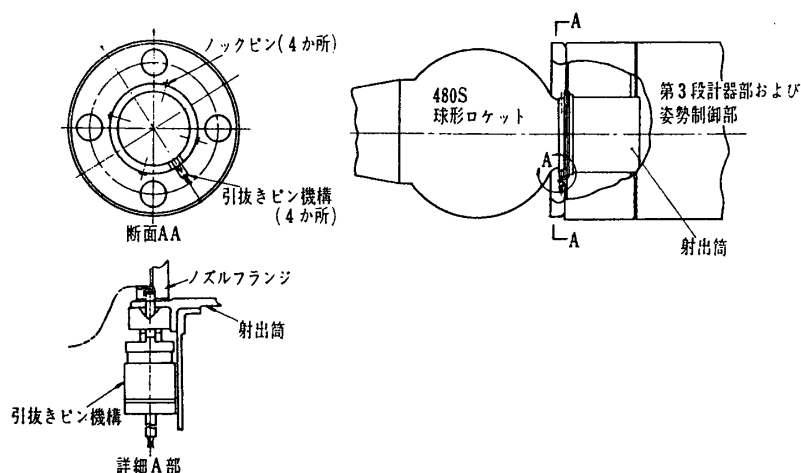
- a. 第4段接手部に与える軸方向負荷重としては、第1段切断に伴う衝撃が最も大きい。
- b. 第1段切断の際に第4段にかかる軸方向負荷重は、1号機の条件のノックを切断するには不十分で、3号機の条件のノックを切断するには十分な大きさであった。
- c. 3号機のノックは、第1表にあるようにノック自体の強度は高いが材質が硬く、かつ第1図にあるように鋼ブッシュおよび鋼ベースがあってせん断しやすい条件にある。(これは切断用の押出火薬作動時の切れ味をよくする効果はある)
- d. 1号機のノックはせん断強度は低い。延性が強く、かつベースもアルミ材であるから穴が変形しやすく、荷重を受けた際にはノックは変形こそするが、3-(b)にも記録されるように切れがたくなる。

5. 改 造

負荷の内容と故障の原因について前述のように推論が下せたのちは、必要な改造の方策は比較的簡単である。

要は軸方向負衝撃に対する強度を増せばよい。

このために2・3の案を比較検討の末、第4図に示すような4個の引抜きピン機構を取りつけることとした。これは6mmφの鋼棒を少量の火薬の力で引抜く機構で、第4段の切断用押出機構が作動する1秒前に、4本のこの鋼ピンを引抜く、その後の1秒間は従来からの



第4図 引抜きピン機構

アルミノック4本が真空差圧に対し第4段を保持しており、押出火薬が作動するとアルミノックは切断され、第4段は切離れ飛び出る。機構は複雑になったが、強度的には十分なものとなっている。

この改造型接手部については、軸方向静力・振動・衝撃・曲げ・ねじり負荷等の各種の強度剛性試験を実施し、またこれらの荷重の履歴を受けた系についての切断試験を実施し、その実用性を確かめ、次回の実験に備えている。

以上に述べた故障とその検討を通じて下記のごとく要約される。

- a. アルミノックに対する負荷としては、第1段切断に伴う衝撃についての算定値が低すぎた。
- b. 1号機は負荷にピンがようやく耐える状態であったが、3号機では改造がかえって逆効果であった。2号機ではピンを痛めはしたが、第1段切断の際には切れていないようである。
- c. 改造としては軸方向補強として、引抜きピン機構の増設で解決した。

これらの検討に際し、玉木章夫・野村民也・植村益次の各教授、富田文治・砂川 恵・岩間彬の各助教授の諸先生より多くの助言と協力をえた。また実験には日産自動車・森 研究室の方々はじめ多くの方が熱心に従事された。厚く謝意を表する次第である。

1968年10月31日 宇宙工学