

テクニカル・ノート／失敗から学ぶ モデルロケット 講座 #1 — 「取れないランチラグを考える」 —

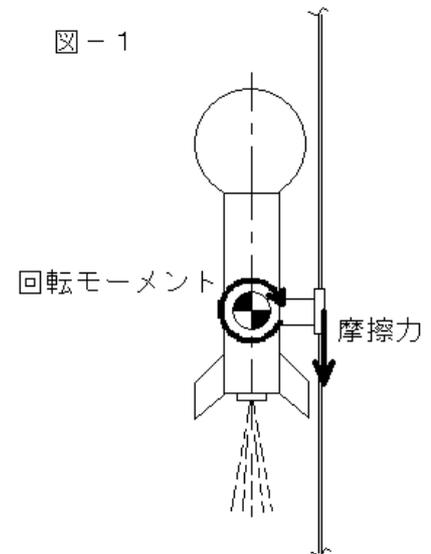
(失敗をたのしめ！予想外の失敗は最大の収穫です。)

ペイロード定点競技で 機体が発射台上昇する時、ランチロッドに引っ掛かったり、ランチラグが外れてしまったりする失敗を多く見かけました。なぜ、このようなことが起きるのでしょうか？その原因を究明し、どのようにランチラグを付けるかなど、成功する機体作りの参考となるような指針を示したいと思います。

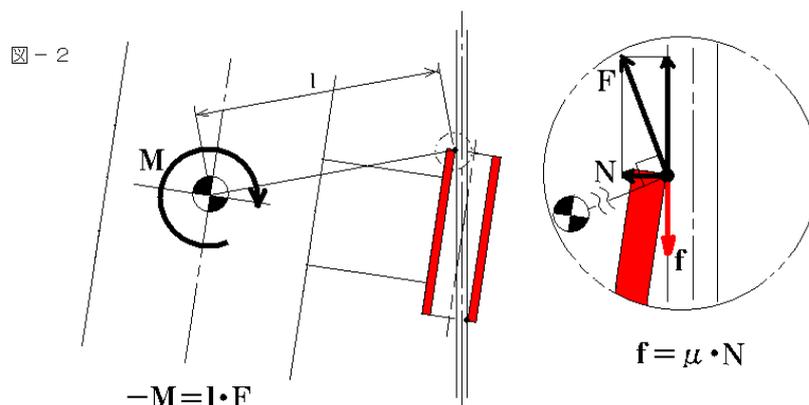
まず、モデルロケットは離昇を始めると、ランチラグがランチロッド上を滑走します。ラグとロッドの擦れ合う所に、摩擦力が発生します。その力で機体の重心回りに、回転モーメント（回そうとする勢い）が生じます。（図-1）

この回転モーメントの大きさは摩擦力の大きさと、重心から摩擦力の作用線までの距離に比例します。

ペイロード定点競技の機体はペイロード部を逃げる為、ラグパイロンを介してラグを取り付けるので、どうしても、重心～作用線の距離が離れて、大きくなってしまいます。



そのモーメントでランチラグとロッドのガタ分だけほんの少し回転します。ラグのエッジがロッドに当たった所で回転が止まります。（図-2）



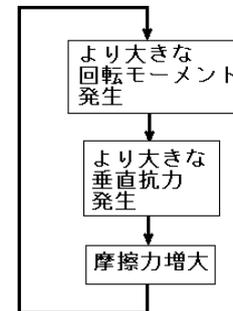
この時ロッドからラグに、はじめの回転モーメントを打ち消す逆モーメント $-M$ を生じる為の抗力 F が発生します。その抗力 F のロッド面に垂直な分力を N とします。このロッドがラグに押し当たる垂直抗力 N により新たに摩擦力 f が発生します。

この接触点での摩擦係数を μ と表すと、 $f = \mu \times N$ となります。

摩擦係数は接触表面の状態異なる値になります。

滑り易さを表す数値で、小さいほど滑り易いと言えます。

この摩擦力が初めの摩擦力より大きくなった場合、さらに大きな回転モーメント、垂直抗力、摩擦力の発生へとつながり、摩擦力増大のループ（右図）



に陥りどんどん摩擦力が増えて行きます。

この摩擦力が推力まで増大すると、滑走が止まります。（＝ロッドに引っ掛かる）全推力をラグの取り付け部で支えるかたちになります。

ラグの取り付けが弱いとそこから壊れます。（＝ラグが外れる）

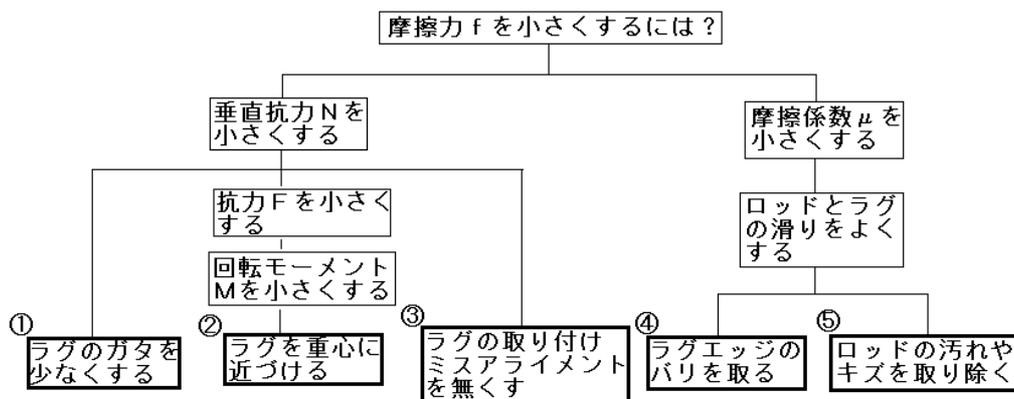
以上から、a. 摩擦力 f を小さくすることと、b. ラグの取り付け強度を上げることが必要だと分かります。

ラグにかかる摩擦力を小さくするには

図-3はラグにかかる摩擦力を小さくするには、どうしたら良いかを、考えてみた結果です。

他にも有るかもしれませんが、考えてみて下さい。

図-3



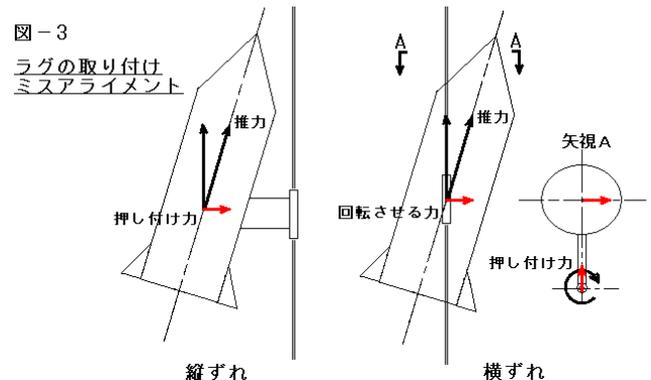
①ラグのガタが極端に大きいと、推力の横分力が増大し、垂直抗力（押し付ける力）が大きくなる為に、摩擦力が増大します。

②ラグを重心に近付けると、どうなるか？

部材に掛る回転モーメントは、同じ大きさの力でも、回転の中心（支点）から、力の作用線へ、垂直に降ろした線の長さが、長いほど大きくなります。逆に、ラグを重心に近付けると、回転モーメントは小さくなります。

③ラグとロッドのミスアライメントが大きい（取り付けがずれている）と、ラグのガタが大きい時と同様に、摩擦力が増大します。

ラグの取り付けが真直ぐ（機軸と平行）でないと、エンジンの推力の横分力が、縦ずれの場合は、ラグをロッドに押し付ける力として働きます。横ずれの場合には、ラグ軸を中心に機体を回転させる力として働きます。その結果として生ずる遠心力がラグをロッドに押し付ける力となります。ずれ角が大きいほど、その力は増大します。いずれにしても、ラグを推力軸（＝機軸）と平行に取り付けないと摩擦力が増える原因となります。（図-3）



④ストローを切り出す時にどうしてもバリ（端部のギザギザ）が出てしまうこ

とがあります。これが内側に出てしまうと摩擦力が増える原因となります。バリの凸部に力が集中し、ロッドと擦れ合う時に、凸部が変形したり、剥ぎ取れたり、するときに力がかかる為です。



バリのあるストローの端部

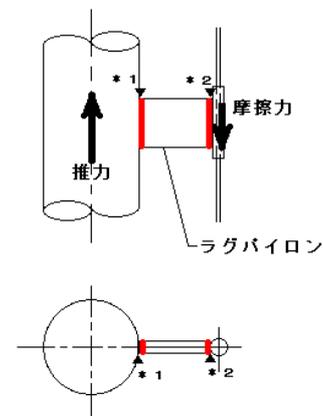
⑤ロッドの汚れやキズの影響は？

滑らかな面より、汚れやキズの有る面の擦れ合いは摩擦が増える原因となります。

ラグの取り付け強度はどれくらい必要か

図-4

ラグの取り付け部に（*1、*2）にどんな力がかかっているのでしょうか？モデル化して考えて見ましょう。（図-4）簡略化するとラグパイロンを方持ち梁のように考えることができます。（図-5）



状態によって2つのモードが考えられます。

1. 滑走中は→推力より小さい摩擦力がラグのあたりに作用しています。
2. 引っ掛かると→ラグが固定端の方持ち梁となり機軸位置に推力が作用するかたちになります。

力のかかる梁には、せん断と曲げモーメントの2つの荷重が部材に作用します。さらに曲げモーメントにより部材の曲がる外側には引っ張り、内側には圧縮の荷重がかかります。（図-5右図）

せん断はかかる力と等しい荷重が梁全域にかかっています。

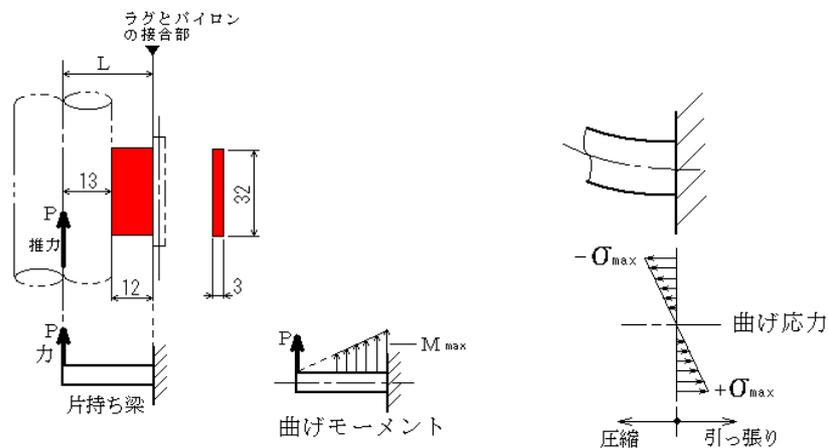
物の強さを考える時には、使用中にかかる可能性のある最大荷重に着目します。この場合の接合部の荷重がどうなるかを考えてみましょう。

最大曲げモーメント M_{\max} は固定端、この時ラグとパイロンの接合部あたりに掛かります。(図-4の*2) その大きさは、力の作用線～梁の固定端までの距離 L と力の大きさ P で決まります。

$$M_{\max} = P \times L$$

仮にラグパイロンを図-5のようなサイズとして荷重（応力）を求めてみましょう。

図-5



A. 最大曲げ応力 σ_{\max} は最大曲げモーメント M_{\max} を断面係数 Z で割った値になります。

$$\sigma_{\max} = M_{\max} / Z$$

断面係数 Z は梁の断面形状で決まります。まがりにくさを表す値です。矩形断面では断面の高さ h と幅 b で決まります。

$$Z = b \times h^2 / 6$$

A8-3 エンジンを使ったとすると、最大推力は 10.7[N] です。

式に数値を入れて計算すると

$$L=25 \times 10^{-3}[\text{m}]$$

$$P=10.7[\text{N}]$$

$$M_{\max}=267.5 \times 10^{-3}[\text{N} \cdot \text{m}]$$

$$Z=3 \times 10^{-3}[\text{m}] \times (32 \times 10^{-3}[\text{m}])^2 / 6 \\ =512 \times 10^{-9}[\text{m}]$$

$$\sigma_{\max}=267.5 \times 10^{-3}[\text{N} \cdot \text{m}] / 512 \times 10^{-9}[\text{m}] = 0.5224609375 \times 10^6[\text{Pa}] \\ =0.5224609375[\text{N}/\text{mm}^2]$$

B.せん断応力は梁の断面の上と下で小さくなり矩形断面ならば中心で最大になります。(図-6)

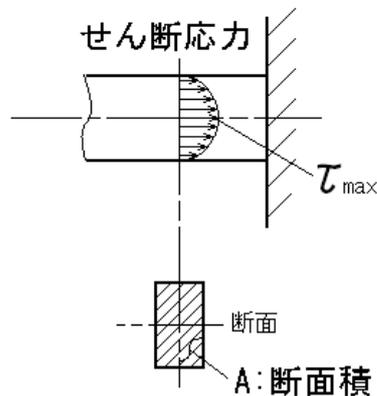
せん断力を W 、梁の断面積を A 、最大せん断応力を τ_{\max} で表すと

$$\tau_{\max} = \kappa \times P / A$$

となります。

κ は形状係数で矩形断面なら $\kappa=1.5$ です。

図-6



式に数値を入れて計算すると

$$P=10.7[\text{N}]$$

$$A=3 \times 10^{-3} [\text{m}] \times 32 \times 10^{-3} [\text{m}] = 96 \times 10^{-6} [\text{m}^2]$$

$$\begin{aligned} \tau_{\max} &= 1.5 \times 10.7 [\text{N}] / 96 \times 10^{-6} [\text{m}^2] = 0.1671875 \times 10^6 [\text{Pa}] \\ &= 0.1671875 [\text{N}/\text{mm}^2] \end{aligned}$$

したがって、この場合は、

ラグがロッドに引っ掛かって止まった時の、ラグとラグパイロンにかかる曲げ応力が、部材にかかる最も大きな負荷であると考えられます。

それに耐える強さにしてやれば良いことが分かります。

接着力を試す実験

ストローを使った自作ランチラグを数多く、見かけました。

ほとんどのストローはポリプロピレン製です。

一般に、ポリプロピレン樹脂はその分子構造から接着剤による直接接着が困難な材料だと言われています。

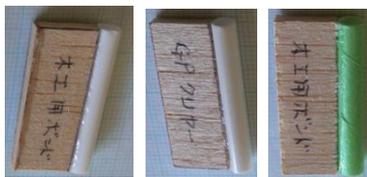
ランチラグが外れる原因として接着不良が考えられます。

そこで、前記の計算例で使ったサイズのラグパイロンをバルサ材(t3 mm)で作成し、ストロー(φ4 mm)を接着したテストピースを試作して評価実験を行いました。

荷重は前記の計算例と同様、A8-3 エンジンの最大推力が接着部から 25 mm 離れた位置に掛かったとした場合の曲げモーメントを模擬しました。

試験パラメータは接着剤と接着面を変えて5ケースとし、耐久性を評価しました。

・ テスト方法



テストピース



接着部から 25 mm離れた位置に砂袋を吊るして
10.7N の荷重を、負荷しました。

・テストピースと結果

テストピース No.	接着剤	接着面の状態	評価	備考
# 1	スチレンブタジエンゴム系 (GP クリヤー)	ストロー地のまま	×	耐久性無し
# 2	酢酸ビニル樹脂系 (木工用ボンド)	ストロー地のまま	×	耐久性無し
# 3	シアノアクリレート系 (瞬間接着剤 EXTRA 速効多用 途)	ストロー地のまま	△	少し耐久性有り
# 4	エポキシ系 (ボンドクイック 5)	ストロー地のまま	×	耐久性無し
# 5	酢酸ビニル樹脂系 (木工用ボンド)	ストローに紙粘 着テープ巻き付 け	○	耐久性有り

・結論

ランチラグを接着する場合は接着面積を大きく取ることが困難です。
従って、高強度の接着が必要となって来ます。

ポリプロピレン製のストローを流用してランチラグを作製した場合には
本質的に高強度で接着することが出来ないことが分かりました。

ポリプロピレンを接着出来ると謳っている接着剤でも、粘着性で接着する
タイプなので接着剤自体の強さが得られず 0.5MPa を越えるような高
強度接着には不向きでした。

従って、ポリプロピレン製のストローを使ってランチラグを作る場合の解決策は外側に薄い紙粘着テープ（マスキングテープなど）を巻いてから木工用接着剤で付けることを推奨します。米国 ESTES 社製のランチラグをよく見ると内側はプラスチック製（ポリプロピレン？）チューブで外側には何か薄い紙のようなものが巻き付けられています。これには何か意味があるはずですが、おそらく接着性を向上させる為に ESTES 社が開発した技術であると推測します。

いずれにしても ESTES のランチラグは木工用接着剤でよく付きます。

まとめ

ランチロッドに引っ掛かったり、ランチラグが外れてしまったりする失敗をしない為には、以下を試してみてください。

1. ランチラグを太くし過ぎないこと。
2. ランチラグを出来るだけ機軸に近付けて取り付けること。
3. ランチラグを出来るだけ機軸と平行に取り付けること。
4. ランチラグとランチロッドの滑りを良くする工夫をすること。
5. ポリプロピレン製ストローのランチラグを取り付ける際は紙粘着テープ（マスキングテープなど）を巻いて接着すること。

この講座は主に指導講師以上を対象としました。指導講師の方は内容を良く理解していただき指導に活かしていただければ幸いです。

以上、まとめてみましたが、ひょっとして間違っただけを言っているかも知れませんが、違うと思う方は自分で研究したり、調べたりしてみてください。そうすれば、モデルロケットは、もっと面白くなるはずです。

(J00005/GT0075) 濱田