

エレベーター機能試験

操舵班操舵設計 E.直弼

要旨

試験日 2024 年 11 月 28 日

310 から採用のワイヤーリネージ方式は TBT では前例がないためその機能、耐久性などのデータが少ない。そこでデータを集めるため実機と似た環境を作り機能試験を行った。試験結果から実用上の負荷に耐えることができるという確証と細部において新たに改善すべき点を得た。

1 目的

3D プリンターで製作したサイドスティック型操縦桿で発見した問題点が解決されたかの確認。

入力時のエレベーターホーンの FB 軸方向への変位の記録。

定常飛行時にエレベーターの舵角を変化させたときに発生する空気力によるモーメントが及ぼす入力感覚の変化の記録。

2 測定方法

2.1 使用する装置・器具

模擬フレーム：290 のフレーム桁を加工・接着(デナタイト、クロス)し、ワイヤー経路を再現できるようにした。(図 1)

操縦桿：端材桁、cnc で切り出したカーボンパーツで作成。回転部にはベアリングを取り付けた。寸法は仮スぺの値を使用した。

(図 2、3)

プーリー：ワイヤーを曲げるすべてのポイントにベアリングつきプーリーを配置。(図 4、5)

おもり：桁荷重試験用の 1L ペットボトルに水を入れたものを使用



図 1 模擬フレーム



図 2 操縦桿横から



図 3 操縦桿上から



図 4 ワイヤー進路変更部

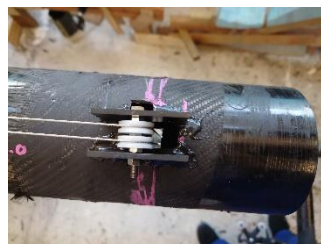


図 5 ターンプーリーとホーン接続部

2.2 測定の詳細

エレベーターホーンの長さを 0.15m とすると、図 6 の機速とトルクの対応表からワイヤーにかかる力の大きさ N はトルクを Q とおいて

$$N=Q \div 0.15$$

で求めることができる。また、おもりの重さを m、重力加速度を g とすると

$$N=mg$$

となり、これを先ほどの式と合わせトルク Q を求める形に変形して

$$Q=0.15 \times mg$$

となる。今回は 1L ペットボトルを 5 本用意した。5 本取り付けた時の相当トルク Q は図 6 の Q_E を参考にし

$$Q=0.15 \times 5 \times 9.81 - 2.0 = 5.358 \quad (g=9.81)$$

となる。図 6 の機速とトルクの対応表から機速 v=13.0m/s に相当する。(人力飛行機の設計機速は 8.0m/s 辺り)

2.2.1 測定の流れ

このペットボトルに水を入れそれぞれの重さを測り順番に番号をつける。
エレベーターホーン接続部に重り用ワイヤーフックを取り付け 1kg のおもりを追加していく。
各重さで各項目の測定を行い、これを 5kg まで繰り返す。

2.2.2 改善点の確認

ホーンの変位の測定時に操縦桿の角度を記録し、モーメント作用時の操縦桿の角度と比較する。

2.2.3 エレベーターホーンの変位の記録

モーメントを作用させ(無負荷時を含む)、ホーン接続部の変位を測定する。

$$\text{計算式は } Q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_m \cdot S \cdot e \quad (N \cdot m)$$

ε 周知

Q: 尾翼の空力中心まわりのトルク

ρ: 空気密度

v: 機体速度

C_m: 翼型のセグメント係数

S: 尾翼の面積

e: コト表

機速(v) [m/s]	トルク(Q) [Nm]
8.0	2.016
8.2	2.418
8.5	2.276
9.0	2.332
10.0	3.150
11.0	3.812
12.0	4.336
13.0	5.324
14.0	6.174
15.0	7.085

1. 垂直尾翼 (39%) にかかる想定トルク Q_R

・ 39% の重量はトルクは向きが垂直

トカビラ計算で考慮して

・ 最大機速は 14.0 m/s 辺りを想定

系 1 連と 1 の
C_m=0.0251, ρ=2.88, e=0.75
ρ=1.2 と 0.7

1.2 水平尾翼 (1L ペット) にかかる想定トルク Q_E

・ 1L ペットにかかる重力はトルクに影響する

・ 1L ペット 5 本の重量は 2.0kg とし、1L ペット 5 本の重心位置を

空力中心から 0.1m 後方とし、空力中心まわりのトルク Q_E=2.0×9.8×0.1=1.96 Nm

⇒ ほぼ 2.0 Nm と見積る。

・ 想定最大機速 v=14.0 m/s とし、空力中心まわりのトルク Q_{E2}=6.0 Nm

機速より時 (1L ペット) 最大トルク Q_{E1}+Q_{E2}=8.0 Nm と見積る

図 6 尾翼にかかる空気力によるトルク(モーメント)

出典 拙著 操舵提出資料 1.pdf

2.2.4 空気力のモーメントによる入力感覚の変化

数値測定ができないため操縦桿を自ら倒し、各負荷において舵がとれるか可否で記録する

3 結果

結果は表 1、2 に示す通りであった。

表中の押は機首上げ、引は機首下げの入力と一致する。

番号	重量(g)	総重量(g)
1	1000	1000
2	997	1997
3	991	2988
4	994	3982
5	1004	4986

表 2 ペットボトルの重さ

番号	ホーン接続部の軸方向変位 (mm)		操縦桿基準点の軸方向変位 (mm)		単位操縦桿基準点変位あたりの ホーン接続部変位(mm)	
	押	引	押	引	押	引
0	23.00	20.00	1	2.5	23.00	8.00
1	13.97	22.07	0	2.3		9.60
2	13.10	22.83	1.4	2.3	9.36	9.93
3	18.65	24.73	1.3	2.3	14.35	10.75
4	12.72	25.25	1	2.6	12.72	9.71
5	8.46	28.80	0.7	2.8	12.09	10.29

表 1 測定結果

4 考察

4.1 改善点の確認

表2の単位操縦桿基準点変位あたりのホーン接続部変位から押では長さのばらつきが見えたが、引ではおよそ8.0~11.0の範囲内に収まった。押引で範囲のばらつきが異なるのは限界角が固定されているかの違いによるものである。引はボルトで制限があるのに対し、押では操縦桿内のロッドが回転軸に接触するポイントを限界角としていたので押す人間の感覚に左右された。しかし操縦桿を動かしたときのホーンのうごきにワイヤーの摩擦などによる伝達ロスが見られず、改善すべき箇所は改善できていた。

4.2 エレベーターホーンの変位

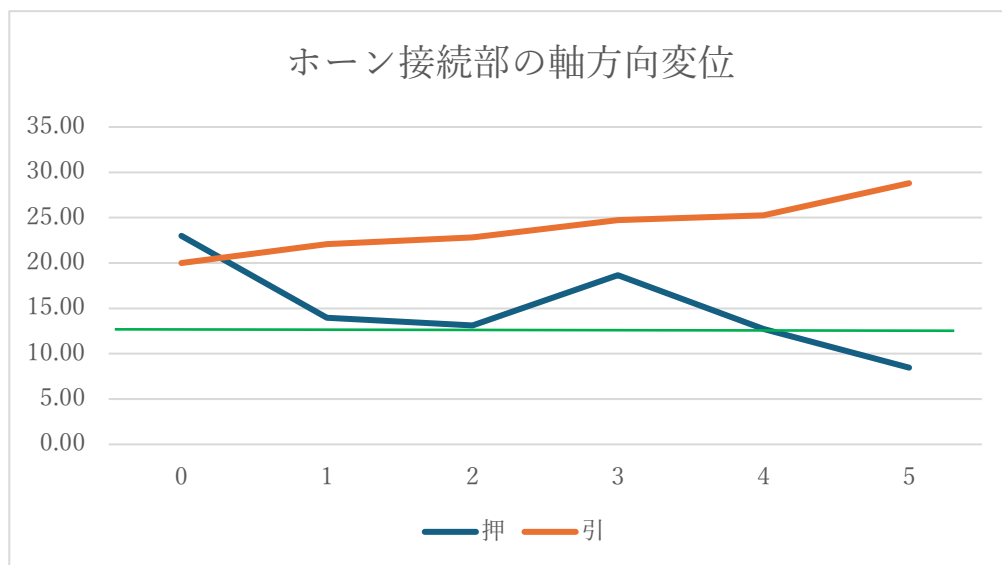
グラフ1からおもりが引っ張る方向へホーンが動く引ではおもりの重さが関係してかペットボトルを追加するごとに変位が大きくなった。グラフの線はおよそ直線で緩やかな右肩上がりになっていることが読み取れる。一方、押では引に対になるようにグラフの線がだいたい同じ傾きの大きさを右肩下りの直線になることが予想されたが、先述の通り明確な限界角が設定されていなかったために予想と反した。

いまおもりを加えた時の変位について着目したが、今回の本当の目的は最大舵角5度をとるために必要なホーン接続部の変位が見られるかどうかである。ホーンの長さを150mmとすると、最大舵角5度を得るために必要なホーンの変化量X(mm)は

$$150 \times \sin 5 = 13.07$$

である。(グラフの緑線)

引は勿論のこと、押も定常飛行の速度域での相当トルクではこのXを上回っているので必要な変位量は満たしているといえる。



グラフ 1 測定結果から作成したホーン接続部の変位

4.3 入力感覚

右の模式図から N1 と F の比は 3 : 1 なので表 3 より 5 本のペットボトルをつけた時 N1 は 16N ほど入力されていると推測される。6月に行った入力値試験(報告レポート無し、データが記載されたスプレッドシートはドライブにて保管)では搭乗姿勢で入力値 20N までは可能であることを確認済みである。今回の測定では 5kg のとき操作軽快まではいかないが苦心するほどではなく片手で操作可能であった。定常飛行速度域相当の 3kg のとき操作軽快であった。

5 おわりに

今回の測定を通じて得られた成果も多いが、今まで見えてこなかった懸念点、改善点も多く見つかった。

ワイヤーをつなぐ部品のターンバックルでテンション調整を行ったが時々ターンバックルのねじが緩みテンションが戻ってしまうこと。

当たり前であるがおもりをつけるとワイヤーが引っ張られてしまうこと。最低限エレベーターには自重キャンセルばねを取り付ける必要があること。

主にこれらが具体例として挙げられる。操舵全体の大まかな形は決まったので3月入るあたりまではテストパーツを作りデータを集めていきたい。

操縦桿模式図

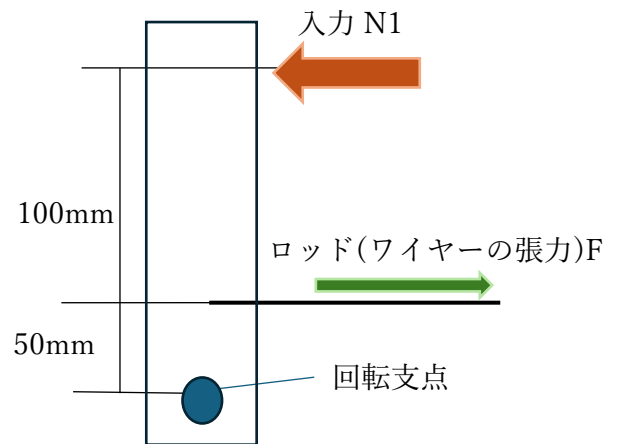


図 7 操縦桿模式図

番号	重量(g)	総重量 (g)	力
1	1000	1000	9.81
2	997	1997	19.59
3	991	2988	29.31
4	994	3982	39.06
5	1004	4986	48.91

表 3 ワイヤーで伝達されるおもりによる力