

航空機の揚力が滑走路の設計舗装厚に及ぼす影響

東洋大学大学院 学生会員 ○中島 宗嗣
東洋大学 非会員 木戸 崇史
東洋大学 フェロー会員 福手 勤

1. はじめに

我が国の従来の空港舗装厚の設計は、米国の CE 法を使用した経験的な CBR 設計方法であった。2008 年 7 月に新たな空港設計要領が制定され、疲労度を算定して評価する性能照査型設計が定められた。従来の経験的設計法では滑走路の中間部の舗装厚は端部の 90%の厚さで設計されていた。これは、滑走路中間部を走行している航空機は端部を走行している時よりも揚力が働く影響で、舗装に加わる荷重が減少するからと経験的に考えられていたからである。

本研究では、まず滑走路中間部を走行中の航空機の揚力を算定し、その場所で航空機の脚荷重に対して何%減少しているかを求める。次に、先程求めた割合で滑走路中間部の疲労度解析をすることで航空機の荷重と舗装の関係について考察する。

2. 航空機の揚力の算定

揚力 (L) の算定には、以下の式を用いる。

$$W - L = W - \frac{1}{2} C_L \rho S V_i^2 = 0 \quad (1)$$

ここに、

L : 揚力 (N)、 C_L : 揚力係数、 ρ : 空気密度 (kg/m^3)、
S : 翼の面積 (m^2)、W : 機体荷重 (N)、 V_i : 速度 (m/s)

3. 航空機の加速度の算定

空港にて航空機が離陸体制に入ってから離陸するまでをビデオで撮影し、その時間をストップウォッチで計測することで加速度を求めた。

なお、加速度の算定は以下の式を用いる。

$$l = \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (2)$$

ここに、

l : 滑走開始からの走行距離(m)、 α : 加速度(m/s^2)、t : 走行時間(s)

4. 結果

算定には LA-1 の代表機種である B747-400D を使用した。

(1) 揚力係数の算定

揚力係数は式(1)を用いて、表 1 のようになった。 ρ は気温ごとに変化する。

なお、計算には B747 の翼の面積 $541.16(\text{m}^2)$ とビデオ撮影から算定した最大速度 $87.5(\text{m/s})$ を用いた。

表 1 揚力係数 C_L の算定

温度($^{\circ}\text{C}$)	密度 ρ (kg/m^3)	C_L
-10	1.342	0.0996
0	1.292	0.1035
10	1.247	0.1072
20	1.204	0.1110
30	1.164	0.1148
40	1.127	0.1186

(2) 加速度、揚力の算定

ビデオ撮影は羽田空港にて行った。なお、撮影した機体は全て札幌・沖縄行きのため、燃料を満載しているものとした。

撮影の結果、全て滑走開始後 1300(m)以内で離陸したことから、走行区間を A 区間(433(m))、B 区間(433(m))、C 区間(400(m))の 3 つに分け各々の平均の加速度、速度を算定した。結果を表 2 に示す。

表 2 加速度、速度の算定

	A	B	C
加速度(m/s^2)	0.74	8.24	16
速度(m/s)	18	60	80

表 2 の条件をもとに、式(1)を用いて揚力を算定した。算定後、航空機の脚荷重(W)から揚力(L)を引き脚から舗装に加わる力を求めた。20($^{\circ}\text{C}$)の場合を図 2 に示す。

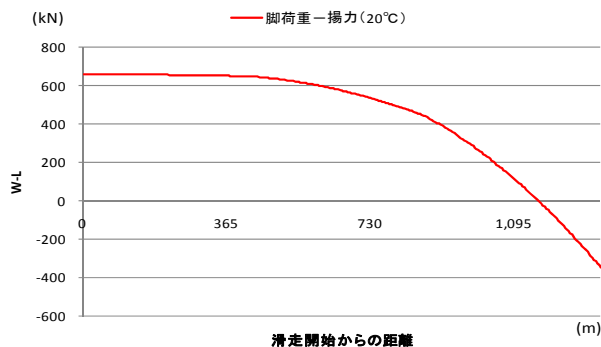


図2 気温 20(°C)の場合の減少荷重

(3) 照査条件の設定と舗装構造の仮定

設計条件を表3に示す。

表3 設計条件

計算施設	滑走路中間部中央帯
走行条件	中間部載荷時間 0.01(sec) 断面方向標準偏差 60(cm)
温度条件	東京地区の月別平均気温を用いる
基準舗装厚(端部)	99(cm)
粒状路盤弾性係数	200(MPa)
路床弾性係数	100(MPa)
舗装断面(端部中央帯)	表・基層15(cm)、上層路盤15(cm)、 下層路盤65(cm)

(4) ひずみ算定および疲労度解析

まず、表3の条件で滑走路端部の疲労度を算定し、この疲労度が1.0になる時の設計交通量を求める。なお、ひずみ算定には多層弾性解析プログラム(GAMES)を用いた。

アスコン下面の疲労度が1.0となる交通量は1,272,000(回)となった。それを月別に振り分けて示すと表4のようになる。

表4 滑走路端部の変形係数と累積疲労度

温度(°C)	10	15	20	25	30	35	累積
対象月	1,2	3,12	4,11	5,10	6,7,9	8	
変形係数(MPa)	8804	5892	3603	1942	865	280	
路床疲労度	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.07	0.13
アスコン疲労度	0.08	0.09	0.10	0.11	0.08	0.01	1.00

次に、航空機が滑走路中間部進入地点(600(m))での揚力を算定し、脚荷重(W)からその揚力(L)を引く。

算定した W-L を舗装に加わる力とする。アスコン層の弾性係数は表2に示す速度(V=80(m/s))を考慮して与えた。これより滑走路中間部の疲労度を算定する。算定結果を表5に示す。

表5 変形係数と累積疲労度

温度(°C)	10	15	20	25	30	35	累積
対象月	1,2	3,12	4,11	5,10	6,7,9	8	
変形係数(MPa)	12100	8300	5100	2800	1300	400	
路床疲労度	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03
アスコン疲労度	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.02	0.58

このことから、中間部での累積疲労度は0.58となることがわかり、滑走路端部に比べて減厚が可能であることがわかる。

5. まとめと今後の課題

航空機の揚力を考慮した疲労度計算を用いると、滑走路中間部の舗装厚を端部の90%より減厚できる可能性があることがわかった。

今後の課題として以下の点が挙げられる。

- ① B747-400D 以外についても検討が必要である。特に国内線のB777-300はB747-400Dと比べても離陸までの滑走路の走行時間が長いことから、今後の研究材料としたい。
- ② 揚力算定において、滑走路縦断方向にさらに細かく分割することによって、詳細な速度の算定ができる。
- ③ 航空機の水平方向の力である推力・抗力についても、舗装に対してどのような影響があるのかも検討する必要がある。
- ④ 着陸の場合ではどのような照査方法があるのか検討していきたい。

謝辞

本研究では、揚力算定にあたり東洋大学工学部機械工学科 加藤洋治教授から、丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局：空港舗装設計要領、2008.7
- 2) 土木学会：多層弾性理論による舗装構造解析入門、舗装工学ライブラリー3、2005.4
- 3) 水上純一：性能規定型の新しい空港舗装設計法について、港湾空港技術講演会講演集、2008.10
- 4) 水木新平、桜井一郎：図解雑学飛行機のしくみ、ナツメ社、2003.12