

航空機の運動を考慮した空港滑走路面の評価

Evaluation of Airport Runway Surface taking Account of Aircraft motion

北見工業大学大学院 ○学生員 榊本 友紀 (Yuhki Sakakimoto)
 北見工業大学 正員 川村 彰 (Akira Kawamura)
 北見工業大学 正員 高橋 清 (Kiyoshi Takahashi)
 中央大学 フェロー 姫野 賢治 (Kenji Himeno)

1. はじめに

滑走路のラフネスが、航空機の安全性や乗り心地に影響を及ぼし、機体にダメージを生じさせることは周知の事実である。路面の平坦性の、それを利用する交通具に対する標準的な評価基準については、道路と空港滑走路の間には、大きな違いが存在する。近年、道路における評価基準は確立されてきているのに対し、空港滑走路に関しては、平坦性の基準や対象交通具に特徴があるため、指標の開発までに至っていない。滑走路のプロファイルが正確に測定されることにより、滑走路のラフネスの評価が可能になるだけでなく、加速度とプロファイルとの相対関係を考察することにより、航空機の乗り心地、乗員に及ぼす身体的な影響、機体に及ぼす力学的影響、あるいは機体が舗装に及ぼす力学的影響などの評価が可能になる。

本研究では、非接触プロフィロメータ¹⁾を用い、関東地方の主要空港において航空機の車輪配置から考慮して、選ばれた7測線のプロファイルデータを用いて、滑走路面のプロファイルを IRI (International Roughness Index), RN (Ride Number) などの指標を用いて平坦性を評価した。

また、測定路面に対応して、航空機の運動シミュレーションソフト APRas²⁾を使用し、滑走路を滑走中の航空機の重心位置とパイロットの座席位置の上下方向加速度や、RQF (Ride Quality Factor) などにより乗客の乗り心地の観点から評価し、滑走路面のプロファイルによって機体の振動に及ぼす影響について検討を行った。

2. 滑走路の縦断プロファイル

2001年2月5日から6日にかけて関東地方のある主要空港において行われたプロファイル測定により得られたデータを使用した。測線は、図-1に示すように滑走路の中心から左右にそれぞれ1.92(m)、4.65(m)、5.50(m)離れた位置の7線であり、延長3000(m)である。この測線の位置はボーイング747型航空機の車輪の配置から決定したものである。なお、測定は1つの測線を往復して行っており、測定時の速度は約50km/hである。

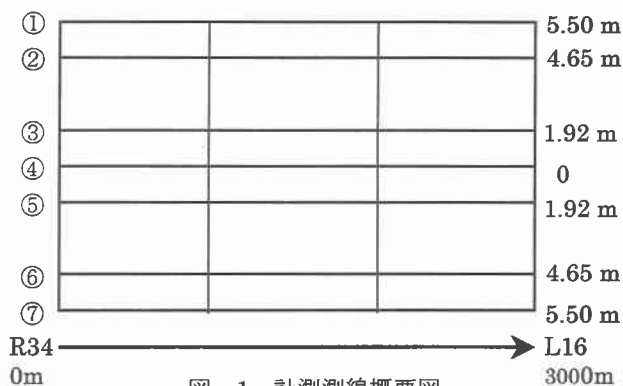


図-1 計測測線概要図

3. IRI と RN による評価

路面性状を評価する尺度として世界銀行が提唱している IRI (International Roughness Index) によって評価を行った。これは各国や機関によって異なるラフネスを共通化する目的で、1986年に提案された評価基準でクォーターカーを一定の速度で路面上を走行させた時に車を受ける上下方向の運動変位の累積値と走行距離との比で定義したもので、路面の平坦性をその上を走行する車両の上下加速度の大きさを評価しようとするものである。数字が大きいくほど路面の凹凸が大きく、悪い状態であるといえる。滑走路において、状態が悪いであろうと思われる中心線(図-1で④となっている)についてデータ収集間隔を100mとして算出した IRI を図-2に示す。

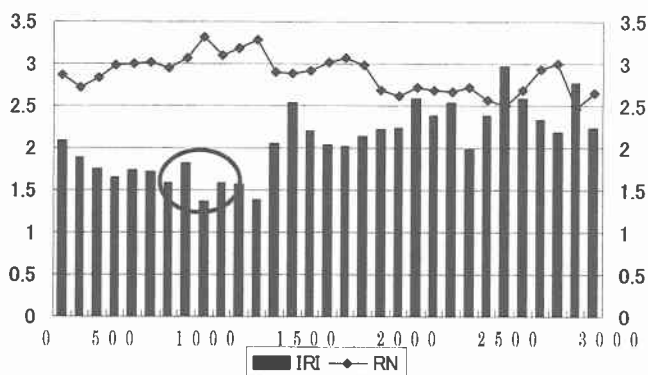


図-2 中心線(④)における IRI と RN

IRI 尺度では、空港滑走路における IRI 値は0~2とされており、おおそ満たしてはいるが中央部からL16にかけて値が大きく出ている。これは滑走路の使用頻度の違いによるものと思われる。800~1000mの部分に前後との大きな値の差が見られる。

4. RN による舗装表面のラフネスの評価

RN (Ride Number) とは、路面のラフネスを物理的に表現した Profile Index (PI) から導かれ、利用者の快適さを表したもので以下の式で表される。

$$RN = 5e^{18.65PI^{0.94}} \quad (1)$$

RN は、その値が大きいくほど路面性状が良いことを表している。図-2において中心線の RN は3前後となっており、この滑走路を道路用の舗装として評価した場合、快適な道路であると言える。

5. 航空機の運動シミュレーション

滑走路のプロファイルは、着陸時やタクシー操作時、離陸時における航空機の安全性・快適性を保持する上で極めて重要である。そのため、これらの影響を考慮した滑走路の維持管理計画を構築することが必要である。

一般道路の維持管理計画では、車の運動モデルによる理論的裏付けのなされた指標が鋭意開発されている。これに対し、航空機の地上操作に関する航空機モデルの作成例はいくつか存在するものの、滑走路の維持管理計画と直接結びつくまでには至っていない。

本研究では、APRas (Aircraft Pavement Roughness assessment software) というソフトを用い、空港舗装の維持管理計画に関連した舗装の平坦性評価に結びつく指標の開発を目標として、地上操作時の滑走路における航空機シミュレーションを行った。APRas ソフトは、滑走路面のプロファイルデータを取り込むことにより、離着陸時の航空機のパイロット座席における上下方向加速度 (PSA) と重心位置の上下方向加速度 (CGA) を算出するシミュレーションソフトである。航空機の種類、起点、向かい風、気温を設定することができる。

安全性・快適性を評価するには、特に、パイロットの座席における上下方向加速度 (PSA) がとても重要となり、値が 0.4 以内である時に安全で快適であると評価できる。

図-3、図-4において中心線 (④) におけるボーイング 747 の離着陸時のシミュレーション結果を示す。グラフは上から順に、PSA(g's)、CGA(g's)、速度(Knot)、プロファイルが表示されている。両図からわかるように、速度に応じて PSA,CGA が変化しており、さらにプロファイルの極端な変化も影響している。両図○印において PSA の値が振幅の変化が見られた。これは、図-2 で示した IRI 値の前後の差が大きく出ている部分と一致することから路面の平坦性が影響していると思われる。

次に、一定速度 45(knot)で滑走路を滑走した場合のシミュレーション結果を図-5に示す。PSA, CGA は速度に変化がないことから極端な振幅の変化は見ることができないが、プロファイルに影響を受けていると思われる変化がでていることが確認できる。

APRas ソフトでは、RQF(Ride Quality Factor)を航空機の乗り心地の指標として提示している。この RQF は、PSA と CGA の RMS 値であらわされ、値が高いほど快適ではないことを意味する。図-3 では 1.2822、図-4 では 1.4185、図-5 では 1.4744 と 3 つとも低い値を示しているので快適であると言える。

6. おわりに

今回は、IRI と RN,そして航空機運動シミュレーションの結果から空港滑走路面の評価を試みた。

IRI と RN による滑走路面の評価からは、滑走の起点となる滑走路端部から中央部にかけては平坦性が良いが、中央部以降は徐々に平坦性が悪くなっていることが両指標の結果から読み取ることができた。これは、滑走路使用頻度の違いによるものと考えられる。

一方、航空機運動シミュレーションにおける上下方向加速度は、航空機の速度が増すことにより、プロファイルによる影響が大きくなると思われる。これは、高速で滑走する航空機には大変重要なことである。

また、APRas ソフトが提唱している航空機の乗り心地の指標 RQF(Ride Quality Factor)と滑走路面プロファイルとの関係を明確にすることによってさらなる評価が可能になるであろう。

今後の課題として、現実の滑走路面では測線によって凹凸状況の違いが生じていることから横断プロファイルの影響を考慮できる運動モデルの作成と航空機運動シミュレーションにより得られる結果に基づく、舗装の維持管理計画に結びつくような滑走路面の平坦性評価指標の作成などがあげられる。

Takeoff: Class E Aircraft 285768.00 kg GW

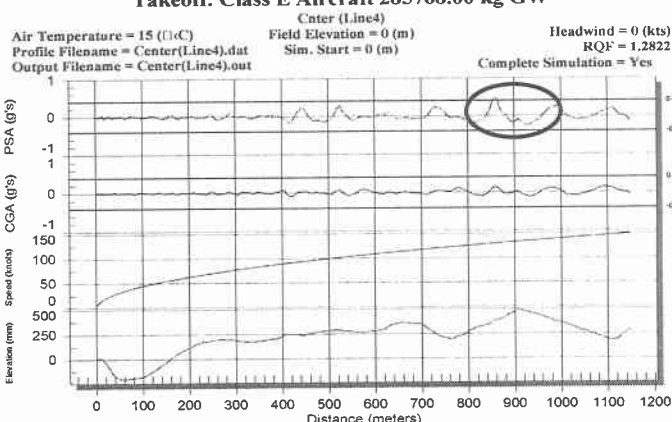


図-3 離陸時におけるシミュレーション結果

Landing: Class E Aircraft 255830.40 kg GW

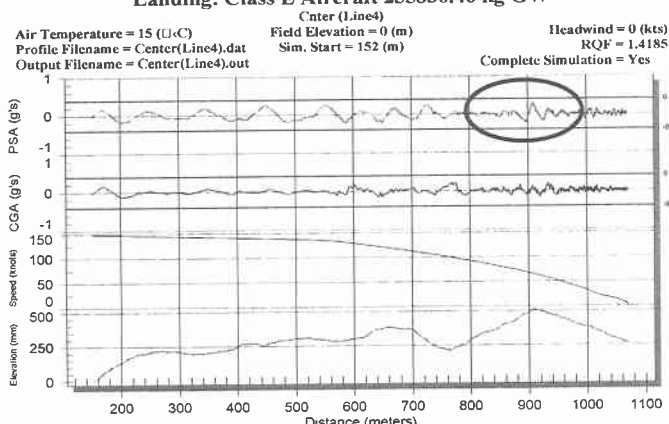


図-4 着陸時におけるシミュレーション結果

Taxi: Class E Aircraft 285768.00 kg GW

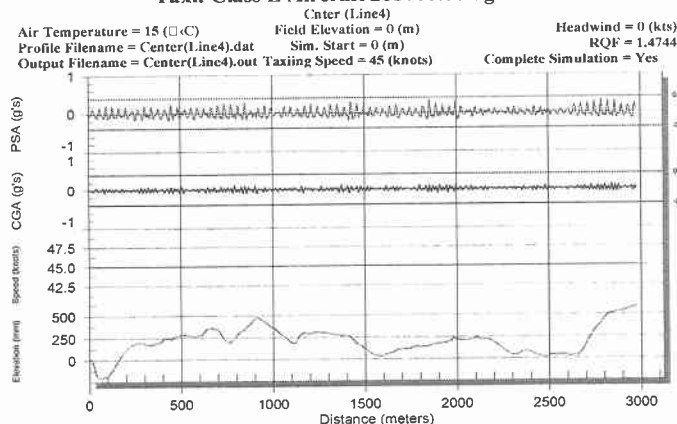


図-5 定速滑走時のシミュレーション結果

参考文献

- 1) 姫野賢治、秋本隆、川村彰、福原敏彦：空港滑走路面のプロファイル特性に関する研究、土木学会論文集、No.606/V-41、pp.43-51、1998.11
- 2) APR Consultants, Inc. : Airport Pavement Roughness Assessment Software Help, version 2.2.3.