

V-1 空港滑走路面のプロファイル特性に関する研究

北海道大学工学部	学生会員	佐野香織
北海道大学工学部	正会員	姫野賢治
函館工業高等専門学校	正会員	川村 彰
日産化学工業(株)		柴崎隆次

1. はじめに

筆者らは、かねてより主に道路舗装を対象として、非接触型プロフィロメータを用いた路面のプロファイルの測定を実施し、その特性について乗り心地の評価を含めて解析を行ってきた。¹⁾

しかしながら、交通施設として道路と同程度重要な空港滑走路のプロファイルについては、交通の遮断が許されないこと、数kmに及ぶ延長を高速かつ正確に測定する道具が乏しかったことなどの理由により、注意深く測定された例がほとんど皆無であった。また、道路とは異なり空港の滑走路では、平坦性の基準や対象交通具に特徴があるため、そのプロファイルの特徴は一般道路とはかなり異なるであろうことは十分想像される。プロファイルが正確に測定されれば、滑走路のラフネスの評価が可能になるだけでなく、加速度のプロファイルとの相関関係を考察することにより、航空機の乗り心地、乗員に及ぼす影響、機体に及ぼす影響、あるいは舗装に及ぼす影響などの評価が可能になることが期待される。

今回、初めて利用頻度の高い実際の空港の滑走路のプロファイルの測定を試み、それについての種々解析および特性の評価をおこなったのでその結果を報告する。また、ほぼ同時期に測定された航空機の加速度データも得られたので紹介をする。

プロファイル測定した空港は関東地方および近畿地方にある2つの第一種の国際空港で、非接触型プロフィロメータをもとにしてプロファイル測定した。なお、一方については、測定されたプロファイルの長波長成分のもつゆがみを補正するために、GPS(Global Positioning System)を搭載した測定を実施した。ただし、ここでは、GPSを併用せずに測定をした関東地方の空港のプロファイルの測定結果および加速度データのみに基づいた報告を行う。

なお、プロファイルの解析に際して、MEM(最大エントロピー法)を用い、波のパワースペクトルを求め考察を行った。また従来一般道路対象のラフネス指標IRI(International Roughness Index)を用いて道路との違いを比較し考察した。

計測順序

2. 調査概要

滑走路面のプロファイルの測定は、平成5年の10月19日の深夜から早朝にかけて、図-1に示すように滑走路の中心線、左右に190cm離れた位置、および左右に550cm離れた位置の合計5測線について、プロファイル測定車を走らせて縦断のプロファイル測定した。これは、図-2に示すB-747型航空機の車輪の配置型式から決定したものである。計測走行スピードは全測線ほぼ

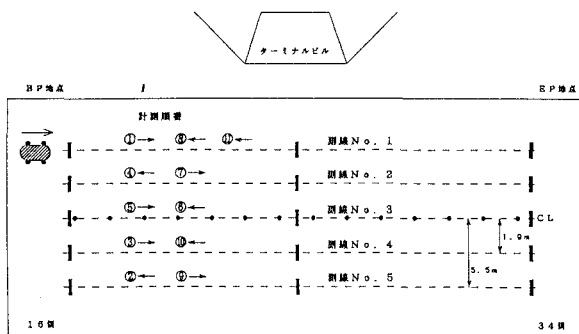


図1 計測測線

Characteristics of pavement surface profile on airport runways

By Kaori SANO, Kenji HIMENO, Akira KAWAMURA and Ryuji SHIBAZAKI

32km/hであった。なお、測線の位置を知るため車両に固定したレーザーポイントマーカの照準が常に滑走路の中央線を照射していることを確認しながら計測車を走行させた。

今回用いたプロフィール計測車に搭載している距離計は、NC工作機械の案内面と被削面の真直度の測定用に考案された逐次2点真直度測定法の原理を使用した¹⁾。

3. 解析方法

今回の測定は、滑走路全長約4kmにわたって連続して行ったものであり、しかも1cm間隔という短いピッチで行われ、非常に精度の高い、かつてない測定結果であると言い得る。このため、たとえば10mの部分的延長の1cm間隔の解析、または100mの延長の10cm間隔の解析など、視点を変えた解析が可能になる。特に、空港の滑走路の場合、道路と違って延長方向に使い分けられているため、このように区分けして解析することは非常に有効であると考えられる。すなわち、たとえば航空機がオペレートされる場合に、滑走路延長上で設計上もっとも重要なことは、離陸時に浮力がなく機体重量が最も大きくなり、また、着陸時に衝撃が加わり、安全性に強い影響を及ぼす滑走路端部(以下、ランディングポイントという)である。したがって、このようなランディングポイント一帯を重視してとりあげて解析し、他の部分の解析結果と比較することは非常に興味深い。

航空機が着陸する際には計器着陸システムを用いているので、滑走路のランディングポイントはほぼ一箇所に集中している。また、ランディングした後の航空機の運動はランディングポイントの前方の延長のラフネスにより左右され、そういった意味で重要視されるべき部分である。

航空機をオペレートするパイロットにとっての最大の仕事とは、安全に離着陸することであり、道路上を走行する車両ほど乗客、乗員の滑走時間中の乗り心地の影響は低い。しかし、滑走路面の平坦性は、タイヤの摩耗、サスペンションなど航空機のハードウェアやパイロットにとっての操縦安定性などに大きな影響を及ぼすものと思われる。

解析に用いる計算方法として、MEM法という情報理論におけるエントロピーの概念に基づいた資料解析方法を用いた。従来の方法(FFT、高速フーリエ変換)に比べて、少ないデータからもスペクトルの計算が可能であること、及びスペクトルの分解能がきわめて高いという優位性をもっている。MEM法によりPSD(Power Spectrum Density、パワースペクトル密度)が得られる。PSDとは、1954年に米国のHoulboltが空港の滑走路面に適用して以来、今日まで数多くの国で用いられ、基準化もされている。路面の凹凸は、一般には不規則であり、周期性がない。このような変動量は、フーリエ変換やMEM法などによって得られるスペクトルの考えにもとづいたPSDを使って表すことができる。路面の空間周波数(単位長さ当たりの波の数) n に対するPSD、 $S(n)$ は、両対数グラフ上では直線で近似することができ、これを基に路面の性状の評価をおこなっている。これらの間には次式の関係が成り立つ。

$$S(n)=S(n_0) \cdot \left(\frac{n}{n_0}\right)^{-w}$$

ここで、 n_0 は、基準となる空間周波数、 $S_0(n_0)$ は n_0 におけるPSDの大きさを表し、これが大きいものほどPSDが全体に大きくなることから、路面の粗さの尺度となる。今回は、コンピュータの容量の制限の

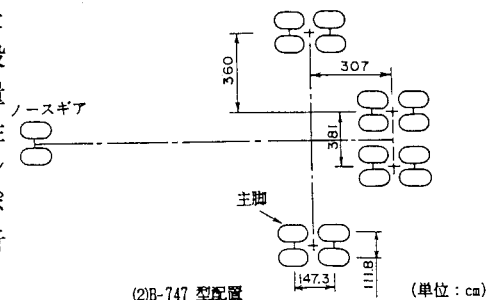


図2 B-747車輪配置図

ため、1000個ずつのデータ処理しか行わなかったが、上述のようにこのような、区分的、局所的な解析や、長波に着目した解析でも十分有効であるものと思われる。また解析した結果をISO(International Standard Organization)の道路舗装に対する基準と比較し考察した。

4. 解析結果及び考察

図-3に、一番外側の主脚が通過する中心線から5.5m離れた測線でのプロファイルを滑走路端部から中心部までの2000mにわたって示す。図-4は、この滑走路を使って離陸した航空機の鉛直方向の重力の加速度の変化を示したものである。加速度計は、外側の主脚のほぼ真上の翼の部分に取り付けられている。図-4の約1800m以上のデータがないのは、この地点で航空機が離陸をしたため、敢えて省略したものである。加速度データは1秒間に8回測定されているが、滑走時の速度が徐々に増加しているため、図の右側ほど単位長さ当たりのデータの密度は低くなっている。

図-5～7に、滑走路端部から0～100m、100m～200mおよび1900～2000mの区間の10cmピッチの区分的なデータに基づいて解析したパワースペクトル密度をISOの道路舗装用に作られた基準とともに示す。すなわち、縦断方向に見て、図-5、6は滑走路端部に、図-7は滑走路中央部に

対応することになる。

図5、6と図7を比較すると前者の方が明らかにPSDの値が全体として大きくなっており、さらに部分的にある周波数帯でスペクトルが卓越した部分も見られる。これらより、ランディングポイント付近は滑走路中央部に比べ、路面の凹凸が大きいことがわかる。路面のラフネスの状態のみから舗装の耐久性を論ずることは困難であろうが、離陸待機中の静止荷重などにより、相当長時間荷重が加えられていることによる目視で観察可能なほどのわだち掘れなどが原因と考えられる。ただし、図5～7はすべて空間周波数が大きくなればなるほどPSDの値がISOの基準を下まわり、空間周波数が小さい比較的長波長の成分にスペクトルが卓越した帯域が見られる。これは少なくとも解析対象となった部分には、比較的大きなラフネスのうねりがあるからであろう。

次に、比較的短波長の成分を無視し、2mおきのデータ1000個を用いて滑走路半分の2kmの延長に対してMEM法で解析した結果を図-8に示す。これは滑走路延長の路面の長波成分を取り出すという目的で行

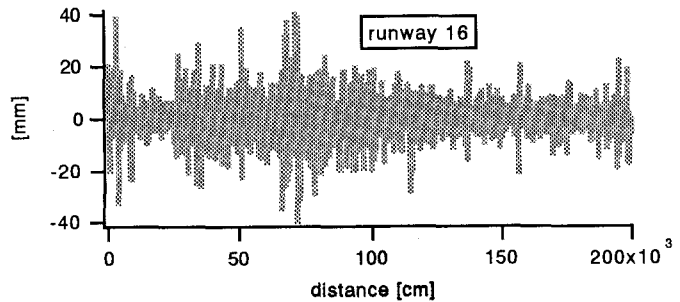


図3 ラフネスのプロファイル

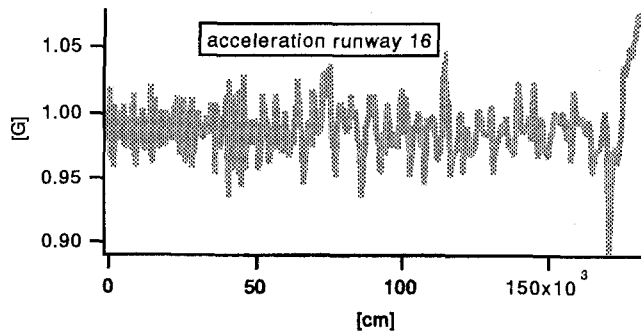


図4 加速度データ

われたものである。これから明らかなように、図6～8の逆の現象が起きている。すなわち路面は、短いインターバルで凹凸の変化が激しく全体として大きなうねりはないとみられる。

5. 今後の課題

今回はデータの豊富さにもかかわらず、一部の測線しか解析することができなかった。しかし、ここでのテスト解析を生かして今後は航空機のタイヤの荷重分布が異なる測線での比較解析を行ったり、また、航空機の運動モデルを考え、乗り心地、ラフネスの機体に与える影響を考察して行きたい。

謝辞

本研究を実施するに当たり、データの計測に快く応じて頂いた各空港管理者の方々および加速度のデータをご提供頂いた航空会社の方々に、心より謝意を表明する次第であります。

参考文献

- 1) 市橋茂紀他、非接触型高性能プロフィロメータの開発、1992
- 2) 戸沢幸一他、新たな真直度測定法とその応用に関する研究、1980
- 3) ISO, Proposals for generalized road inputs to vehicles, ISO/DIS 2631, 1972

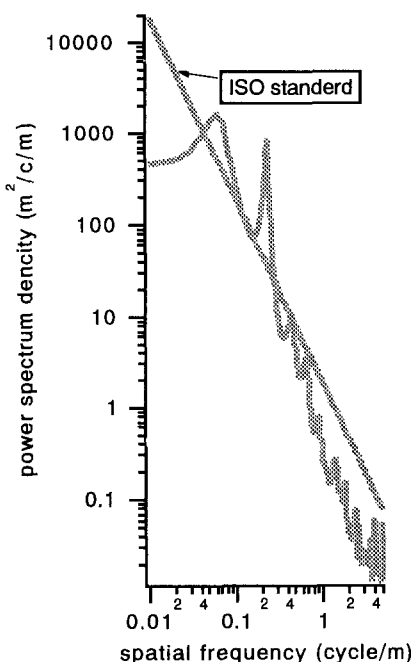


図5 解析1 (0～100m)

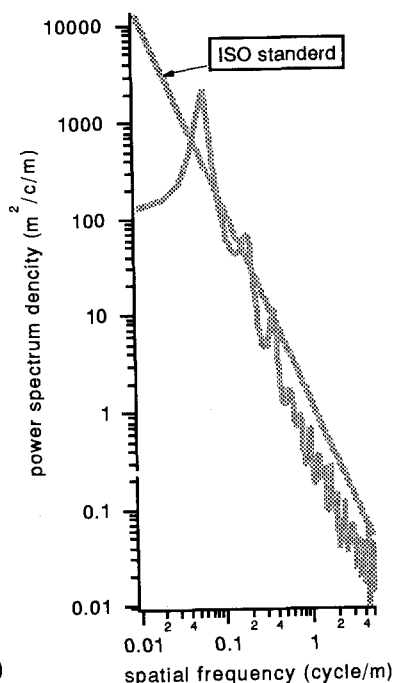


図6 解析2 (100～200m)

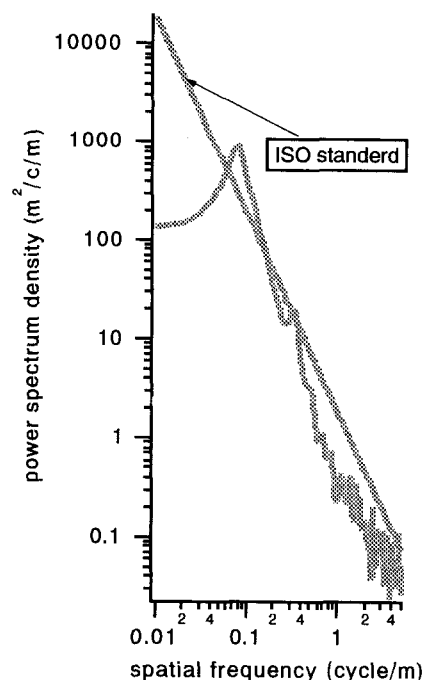


図7 解析3 (1.9～2.0km)

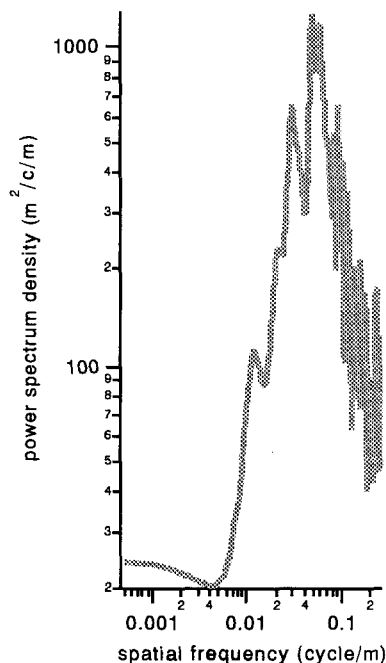


図8 解析4 (長波の解析)