

# 航空機の応答を考慮した 空港舗装の平坦性評価に関する研究

坪川将丈<sup>1</sup>・八谷好高<sup>2</sup>・董 勤喜<sup>3</sup>・姫野賢治<sup>4</sup>・川村 彰<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所 空港施設研究室(〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所 空港施設研究室(〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

<sup>3</sup>正会員 Ph.D 中央大学 理工学部土木工学科(〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

<sup>4</sup>フェロー会員 工博 中央大学 理工学部土木工学科(〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

<sup>5</sup>正会員 工博 北見工業大学 工学部土木開発工学科(〒090-0857 北見市公園町 165 番地)

本研究では、空港舗装上を走行する航空機の操縦安全性、走行快適性を確保するために、誘導路ならびに滑走路を走行する航空機の鉛直加速度に着目した空港舗装の平坦性評価基準について検討した。誘導路と滑走路を走行する航空機の応答特性と路面の平坦性の関係を明らかにして、それに基づいて、航空機の応答を考慮した平坦性評価基準として、航空機に生じる代表鉛直加速度が $\pm 0.4g$ 以下となるような許容凹凸量を得た。また、国内主要空港の滑走路において三カ年にわたり測定した縦断プロファイルデータを用いて、路面の凹凸量による空港舗装の平坦性評価手法の妥当性について検討した。

*Key Word* : pavement roughness, airport, aircraft response, vertical acceleration, height of bump

## 1. はじめに

空港舗装を適切に維持管理するために、舗装の路面性状評価と構造評価を行い、補修を行う時期や補修程度を決定している。アスファルト舗装の場合、路面性状評価としては、舗装表面のひび割れ、わだち掘れ、平坦性に関する調査結果を元に、路面性状評価指標である PRI (Pavement Rehabilitation Index) が算出される。また構造評価としては、FWD による非破壊調査や解体調査が実施されている。しかしながら、PRI に基づく路面性状評価は、あくまで技術者の主観的評価を数量化したものであることから、空港舗装上を走行する航空機の操縦安全性や走行快適性は考慮されておらず、これらの項目に着目した空港舗装の平坦性評価は現状では実施されていない。

車両の乗り心地を評価する指標としては、世界銀行が提唱している IRI (International Roughness Index) があるが、車両と航空機では運動特性や走行速度が異なると考えられること<sup>1),2)</sup>から、IRI を用いて航空機走行時の操縦安全性や走行快適性を評価することは難しいと考えられる。

井上<sup>3)</sup>はパイロットに対するアンケート調査、ならびに滑走路において測定した縦断プロファイルに対してウェーブレット理論による空間周波数分析を行うことで、滑走路における航空機の乗り心地と走行安全性には、路面の特定の波長が影響していることを明らかにしている。また、遠藤<sup>4)</sup>は、航空機の乗り心地を表わす指標として、

航空機の応答シミュレーションによる航空機の鉛直加速度から算出した Ride Quality Factor を用いて、乗り心地に影響を及ぼす路面の波長に着目した滑走路の平坦性評価について検討している。このようなことから、航空機走行時の操縦安全性や走行快適性を評価するためには、航空機の運動特性と路面の平坦性を直接結びつけることが必要であると考えられる。

以上のような背景から、空港舗装上を走行する航空機の操縦安全性と走行快適性を確保するために、航空機の鉛直加速度に着目した平坦性評価基準を作成することを目的として本研究を実施した。この場合、大規模空港だけではなく、中・小規模空港に対しても適用可能な平坦性評価基準が必要となることから、大型機ならびに中型機の鉛直加速度と路面の平坦性の関係を明らかにした。

具体的な検討手法としては、空港舗装上を走行する航空機の鉛直加速度を実際に計測することは困難であることから、空港舗装上を走行する種々の航空機の応答が計算可能であり、汎用性が高いと考えられる市販の航空機応答シミュレーションソフト APRas を使用して解析を行い、空港舗装の平坦性が航空機の鉛直加速度に及ぼす影響を検討した。

一連の解析結果から得られた平坦性評価基準の妥当性については、国内の主要空港において三カ年にわたり測定した空港滑走路の縦断プロファイルデータに対して、本研究で得られた航空機の応答を考慮した平坦性基準を

適用することにより評価した。

## 2. 航空機走行時の応答と路面の平坦性の関係

航空機の応答シミュレーションソフト APRas を用い、航空機の種類や走行速度、路面の波長や振幅を変化させて解析を行い、航空機の鉛直加速度と路面の平坦性の関係について考察した。

### (1) 誘導路走行時の航空機の応答

#### a) 検討手法

航空機が誘導路を一定速度で走行する場合を想定して解析を行い、航空機の鉛直加速度に影響を及ぼす要因について検討した。

解析に用いる縦断プロファイルとしては、波長を 1～50m、振幅を 2～10mm とした連続サイン波形を用いた。縦断プロファイルの入力間隔は 0.01m とし、全長は 300m とした。

解析に用いる航空機の種類としては、表 - 1 に示すとおり、大型機としてボーイング 747-400 型機（以下、B747）を、中型機としてマクダネルダグラス DC-9-40 型機（以下、DC-9）を選択した。

航空機が誘導路を走行する際の速度としては、既往の研究<sup>5)</sup>を元に、日中に直線誘導路を走行する際の速度を最大値として、45km/h、30km/h、15km/h の三種類とした。また、路面の標高は海拔 5m とし、気温は 15℃ で無風条件としている。

航空機の鉛直加速度としては、航空機の重心位置とパイロット位置において計算されるものに着目した。以下では、航空機に瞬間的に発生する最大鉛直加速度だけではなく、走行中に生じる鉛直加速度全体の大きさを定量的に評価するために、これらの鉛直加速度の代表値として、計算された鉛直加速度の 85 パーセンタイル値<sup>2)</sup>を採用した（以下では、代表鉛直加速度と記す）。この 85 パーセンタイル値は、鉛直加速度が正規分布すると仮定した場合、その平均値に標準偏差を加えたものにほぼ相当する値である。

#### b) 各種要因が航空機の代表鉛直加速度に及ぼす影響

振幅が 10mm である縦断プロファイルを有する誘導路を走行する際に航空機に生じる鉛直加速度を図 - 1 に、代表鉛直加速度と波長の関係を図 - 2 に示す。

重心位置とパイロット位置の代表鉛直加速度を比較すると、B747 ではパイロット位置における代表鉛直加速度が重心位置のそれよりも大きい、DC-9 では、両位置の代表鉛直加速度に差は見られない。両航空機の代表鉛直加速度を比較すると、重心位置では DC-9 の方が、パイロット位置では B747 の方が、代表鉛直加速度は大きいようである。

代表鉛直加速度は路面の波長により大きく異なり、代

表-1 検討した航空機種

機種名	総質量 (kg)	ホイールベース(m)
B747	362,880	25.60
DC-9	51,710	17.07

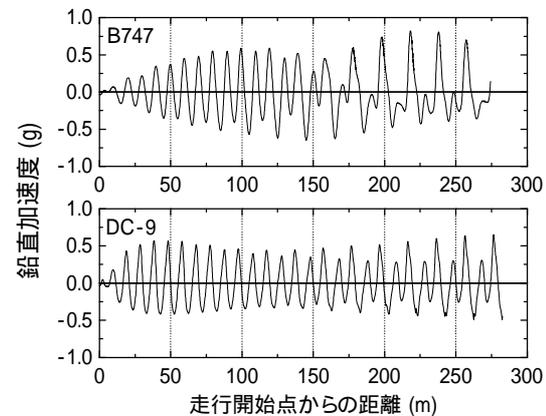
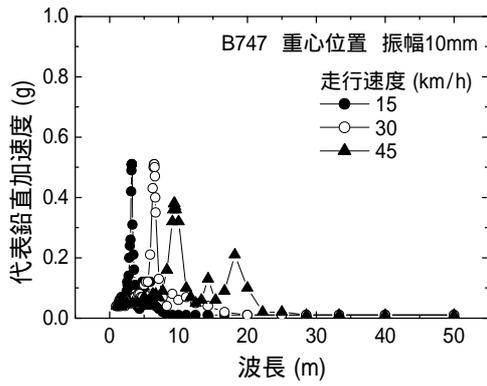


図-1 誘導路走行時の鉛直加速度（波長 10m、走行速度 45km/h、パイロット位置）

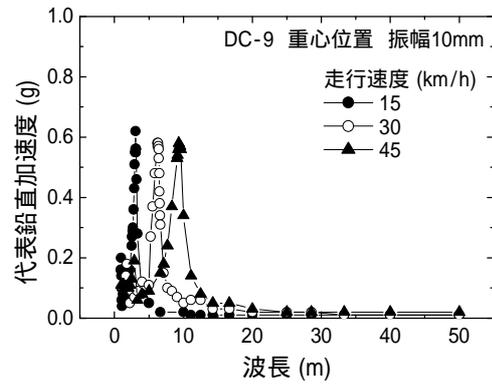
表鉛直加速度が最大となる時の波長は、航空機の走行速度が小さいほど短いことがわかる。誘導路を航空機が走行する速度が 45km/h 以下であるとすると、航空機の代表鉛直加速度が大きくなるのは、波長が 20m 以下の路面を走行する場合であるといえる。また、代表鉛直加速度は、特定の波長では非常に大きくなるが、それ以外の波長では、非常に小さいことがわかる。

図 - 2 に示した結果を、航空機の走行速度を路面の波長で除すことにより算出した時間振動数を用いて整理したのが図 - 3 である。この図から、航空機に生じる代表鉛直加速度は、走行速度によらず、特定の時間振動数の場合に最大となり、その他の時間振動数の場合には非常に小さいことがわかる。この特定の時間振動数は航空機の種類により異なり、B747 では 1.3c/s 程度、DC-9 では 1.5c/s 程度であることがわかる。これらの時間振動数は航空機の固有振動数に相当すると考えられるが、これら以外の航空機種（大型機としてマクダネルダグラス MD-11 型機、中型機としてボーイング 737-200 型機）についても解析した結果、走行速度によらず、概ね同程度の時間周波数において代表鉛直加速度が最大となった。これらのことから、誘導路走行時の航空機の応答を考慮した平坦性の基準を考える場合は、航空機の走行速度によらず、特定の時間振動数の場合に発生する代表鉛直加速度に着目すればよいことがわかる。

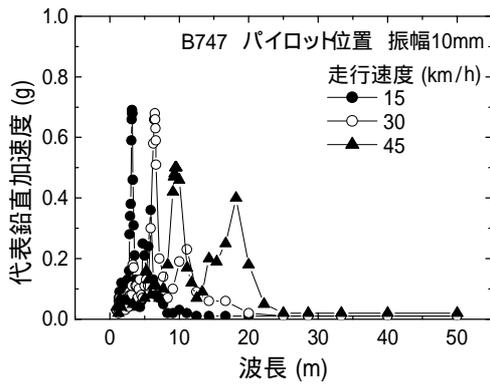
図 - 4 に、一連の計算から明らかになったパイロット位置の代表鉛直加速度の最大値と走行速度の関係を示す。B747 では、振幅の大きさにより若干傾向が異なるが、走行速度の大きいほうが代表鉛直加速度が小さくなる傾向がみられる。一方、DC-9 では、走行速度によらず、代表鉛直加速度はほぼ一定であることがわかる。



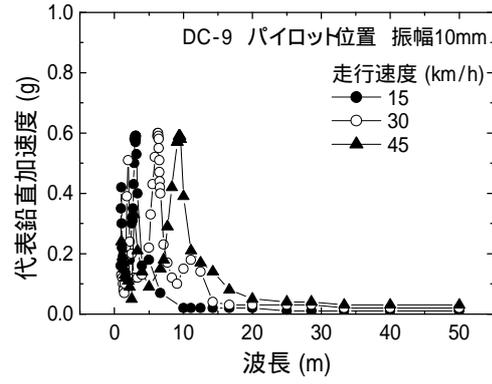
(a) B747 の重心位置



(c) DC-9 の重心位置

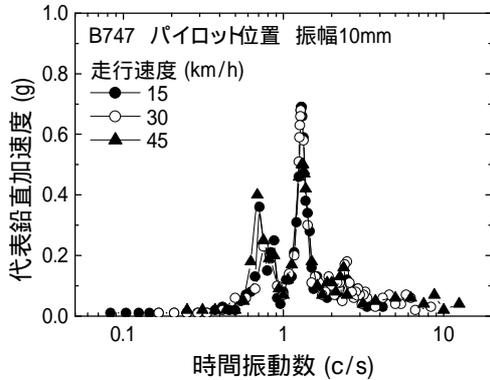


(b) B747 のパイロット位置

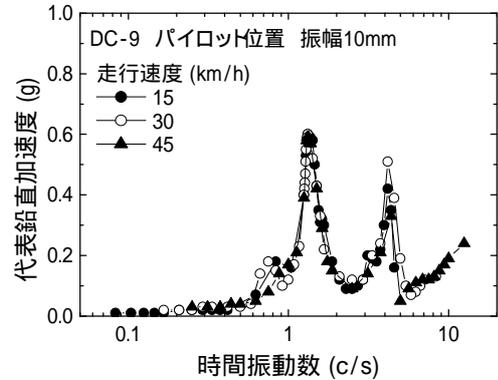


(d) DC-9 のパイロット位置

図-2 代表鉛直加速度と波長の関係



(a) B747 のパイロット位置



(b) DC-9 のパイロット位置

図-3 代表鉛直加速度と時間振動数の関係

(2) 滑走路走行時の航空機の応答

a) 検討手法

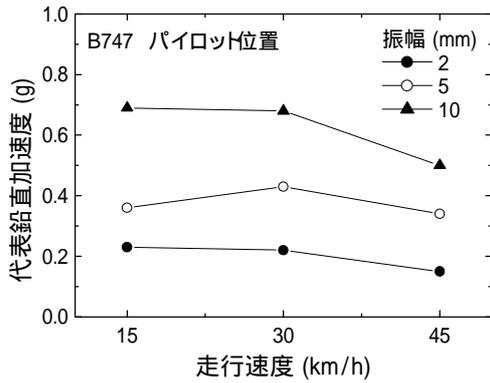
航空機が滑走路を加速しながら走行し、離陸に至るまでを想定して解析を行い、航空機の鉛直加速度に影響を及ぼす要因について検討した。

解析に用いる縦断プロファイルとしては、対象とする航空機の離陸に必要な走行距離（B747 で 2,700m 程度、DC-9 で 2,000m 程度）を考慮して、全長を 3,000m とし、入力データ量の制限からプロファイルの入力間隔を 0.1m とした。また、路面の波長を短くした場合、このデータ入力間隔では、一つのサイン波形を構成するデータ点数

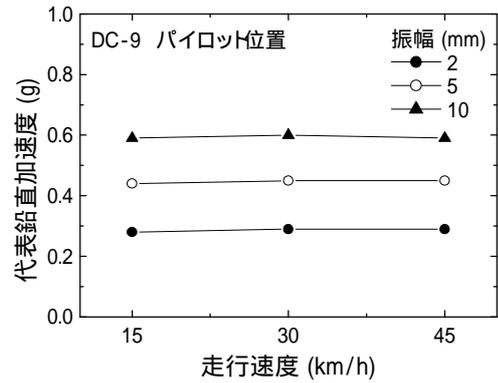
が少ないために滑らかな連続サイン波形とならないこと、誘導路走行時において検討した振幅の範囲では、滑走路を走行する航空機の代表鉛直加速度が小さいことを考慮し、波長を 2.5~100m、振幅を 10~50mm とした連続サイン波形を用いた。

解析で対象とした航空機は、前節に示す航空機と同一とし、航空機が滑走路末端から走行を開始して離陸に至るまで解析を行った。また、路面の標高は海拔 5m とし、気温は 15 で無風条件としている。

b) 各種要因が航空機の代表鉛直加速度に及ぼす影響  
振幅が 10~50mm である縦断プロファイルを有する滑

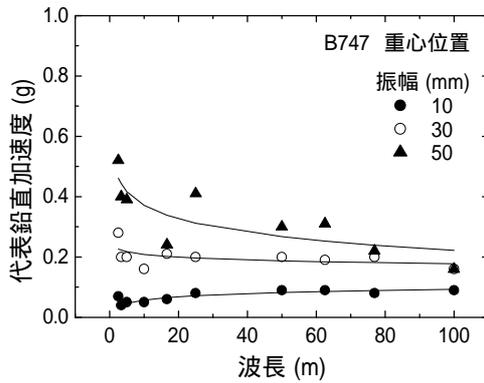


(a) B747 のパイロット位置

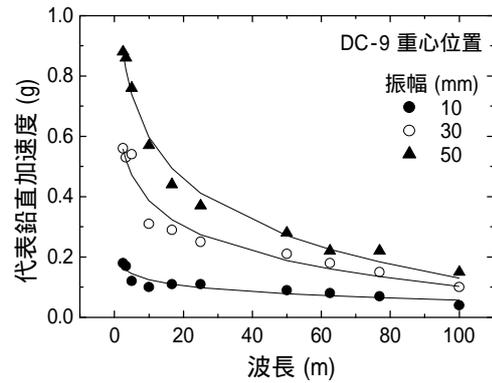


(b) DC-9 のパイロット位置

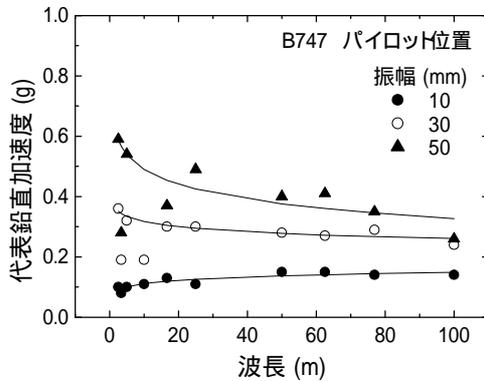
図-4 代表鉛直加速度と走行速度の関係



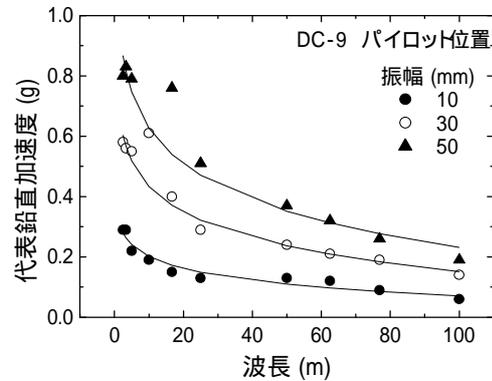
(a) B747 の重心位置



(c) DC-9 の重心位置



(b) B747 のパイロット位置



(d) DC-9 のパイロット位置

図-5 代表鉛直加速度と波長の関係

走路を走行する際に、航空機に生じる代表鉛直加速度と波長の関係を図-5に示す。重心位置とパイロット位置の代表鉛直加速度を比較すると、航空機の種類によらず、パイロット位置の方が重心位置よりも代表鉛直加速度が大きく、また、代表鉛直加速度は概ね振幅に比例して大きくなる。

代表鉛直加速度と波長の関係を見ると、誘導路走行時では、特定の波長以外では代表鉛直加速度が非常に小さいのに対し、滑走路走行時では、短波長領域から長波長領域にかけて、比較的広い範囲で同程度の代表鉛直加速度の値となっており、B747で振幅が小さい場合を除いて、

特に短波長の路面を走行する際の代表鉛直加速度が大きいたことがわかる。また、短波長領域ではDC-9の方が、長波長領域ではB747の方が代表鉛直加速度は大きいことから、航空機種により路面の波長に対する航空機の応答が異なるものと考えられる。

滑走路走行中に航空機のパイロット位置の(85パーセントイル値ではない)鉛直加速度が最大となる時の走行速度と波長の関係を図-6に示す。短波長の路面では、低速で走行する場合、すなわち滑走開始直後の比較的早い段階に鉛直加速度が最大となるが、長波長の路面では、高速で走行する場合、すなわち航空機の離陸に近い段階

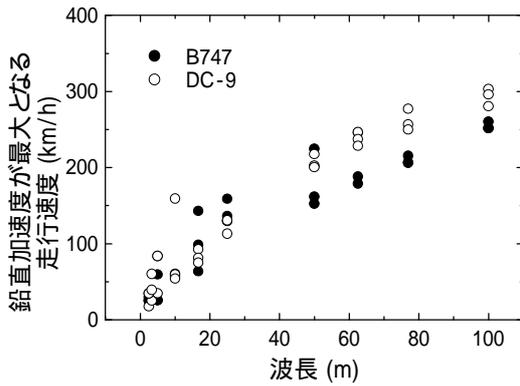


図-6 鉛直加速度最大時の走行速度

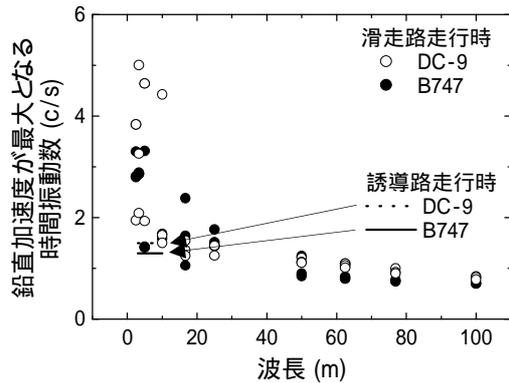


図-7 鉛直加速度最大時の時間振動数

で鉛直加速度が最大となる。

図-6に示した結果を(85パーセンタイル値ではない)鉛直加速度が最大となる時の時間振動数と波長により整理したのが図-7である。誘導路走行時には、図-3に示した時間振動数において、代表鉛直加速度だけではなく、(85パーセンタイル値ではない)鉛直加速度も最大となることから、このときの時間振動数を比較のために示した。誘導路走行時には、特定の時間振動数の場合に鉛直加速度が最大となるのに対し、滑走路走行時には、路面の波長により、鉛直加速度が最大となる時の時間振動数は変化しているのがわかる。誘導路走行時の場合と比較すると、短波長路面を走行する場合は、誘導路走行時よりも高い時間振動数のときに、また長波長路面を走行する場合は、誘導路走行時よりも低い時間振動数のときに、鉛直加速度が最大となる傾向がある。これは、誘導路では航空機は一定速度で走行しているのに対し、滑走路では航空機は加速して走行していることから、航空機の応答特性が異なるものと推測される。

### (3) 航空機の応答を考慮した平坦性評価基準

航空機を操縦するパイロットが、計器を正確に視認できる鉛直加速度の範囲は $\pm 0.4g$ 以下とされていること<sup>6)</sup>から、航空機の応答を考慮した空港舗装の平坦性評価基準として、走行中の航空機に生じる代表鉛直加速度を $\pm 0.4g$ 以下に抑制するために許容される路面の凹凸量を計算し

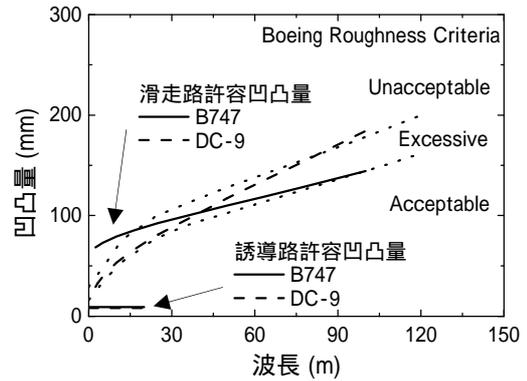


図-8 許容凹凸量と波長の関係

た。航空機の代表鉛直加速度は、パイロット位置のものが重心位置のものと同等か若干大きくなる傾向があることから、ここではパイロット位置の代表鉛直加速度に着目した。

図-4、図-5に示した代表鉛直加速度と振幅の関係から計算した、誘導路走行時と滑走路走行時の許容凹凸量(サイン波振幅の二倍)を図-8に示す。

誘導路走行時には、20m以下の波長に対して許容凹凸量を示しているが、滑走路走行時のものと比べると許容凹凸量は非常に小さく、B747で9mm、DC-9で8mmであり、航空機種による差は小さいことがわかる。

一方、滑走路走行時の場合は、長波長よりも短波長の路面を走行する方が大きな代表鉛直加速度が生じることから、路面の波長が短いほど許容凹凸量が小さくなる。

航空機種の違いをみると、図-5で示したように、短波長路面と長波長路面に対する航空機の応答は、B747とDC-9とで異なることから、短波長領域ではDC-9の方が、また長波長領域ではB747の方が許容凹凸量は小さくなる。このことから、空港舗装の平坦性については、対象となる空港に乗入れる航空機種を考慮して総合的に評価する必要があると言えよう。

ボーイング社が定めた滑走路の平坦性基準<sup>9)</sup>を併せて図-8に示した。この基準では、波長ごとの凹凸量に対する判定を「Acceptable」、「Excessive」、「Unacceptable」の三段階で定めている(図中の破線はそれぞれの領域の境界線を示している)。今回検討した許容凹凸量とボーイング社の基準を比較すると、B747とDC-9の応答から求めた許容凹凸量曲線の包絡線として、「Acceptable」と「Excessive」の境界を示す曲線が存在することがわかる。しかしながら、ボーイング社の基準で「Unacceptable」と判定される凹凸量であっても、今回検討した許容凹凸量を適用すると、機種と波長の組み合わせによっては許容される場合もある。

既往の研究において、航空機走行時の鉛直加速度から算出された誘導路ならびに滑走路の許容凹凸量と比較した。Hachiyaら<sup>2)</sup>が算出した許容凹凸量と比較すると、短波長領域では同程度であるが、長波長領域に関しては、

本研究において算出した許容凹凸量の方が若干大きい。これは、許容される代表鉛直加速度を  $0.35g$  としている点で本研究とは異なることが原因と考えられる。また、後藤ら<sup>7)</sup>が算出した許容凹凸量と比較すると、誘導路走行時の場合は同程度であるが、滑走路走行時の場合は本研究において算出した許容凹凸量の方が大きい。これは、航空機のパイロット位置に生じる（85パーセンタイル値ではない）鉛直加速度の最大値を用いて許容凹凸量を決定していることが原因と考えられる。このように、航空機に生じる鉛直加速度の代表値や、許容される代表鉛直加速度の設定方法により、許容凹凸量が異なってくると考えられることから、今後、操縦安全性や走行快適性と鉛直加速度との関係を詳細に検討して、基準値の信頼性を高める必要があるといえる。

### 3. 許容凹凸量による空港舗装の平坦性評価

国内主要空港の滑走路において三ヵ年にわたり測定した縦断プロファイルを用い、前章で示した許容凹凸量を用いた平坦性評価手法の妥当性について検討した。

滑走路の縦断プロファイルは、ボーイング 747 型機と 767 型機の主脚中心位置を参考に、滑走路中心線ならびに滑走路中心線より左右に 1.92m, 4.65m, 5.50m 離れた位置の合計 7 測線においてレーザープロフィロメータにより測定された。測定時期は 2001 年 2 月, 2001 年 12 月, 2003 年 1 月であり、各回の測定位置は同一である。

7 測線において測定された縦断プロファイルを用い、APRas により航空機の代表鉛直加速度を計算した結果、測線による代表鉛直加速度の差は小さいこと、既往の研究において同データに対する空間周波数解析を実施した結果でも測線による差は小さいこと<sup>3)</sup>から、以降では、ボーイング 747 型機の主脚中心位置にあたる、滑走路中心線から 5.50m 離れた測線において測定された縦断プロファイルについてのみ検討した。滑走路中心線から 5.50m 離れた測線において測定された縦断プロファイルを図-9に示す。図には滑走路南端と滑走路北端から測定を開始したプロファイル（それぞれ測定開始点の路面高さを原点とした）を示しているが、両プロファイルはほぼ完全に一致することから、滑走路の短波長成分および長波長成分を正確に測定することが出来たといえる。

測定により得られた縦断プロファイルを、前章で示した許容凹凸量を用いて評価するためには、特定の波長ごとの凹凸量を定量化する必要がある。ここでは、図-10に示すような定量化方法を用いた。すなわち、縦断プロファイル上で特定の波長の区間を順次移動させて凹凸量を算出した。測定した縦断プロファイルを用いて平坦性を評価する場合、特定の波長成分がどの位置で卓越しているのかを検討する方法としては、ウェーブレット理論を用いた空間周波数分析による方法<sup>8)</sup>があるが、ここでは、

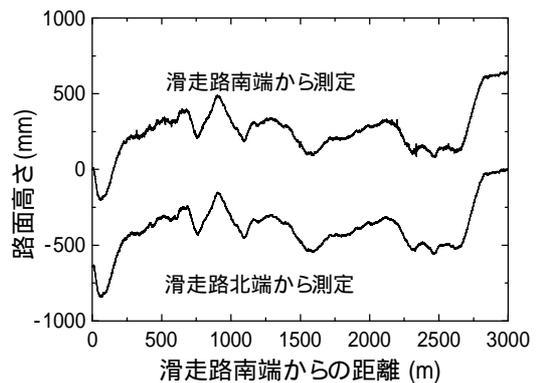


図-9 滑走路の縦断プロファイル

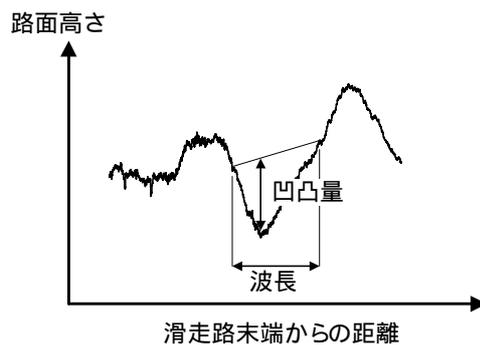


図-10 波長と凹凸量の定義

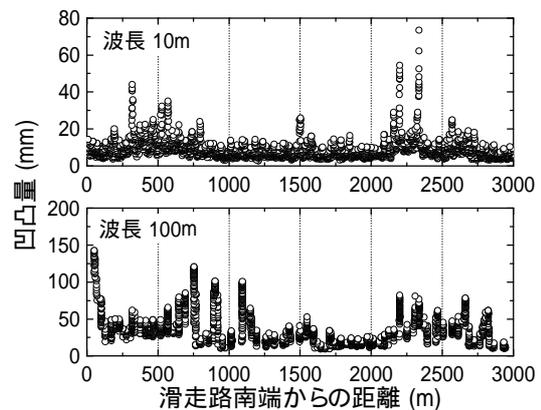


図-11 滑走路の凹凸量の分布

上記の理由により、このような凹凸量の定量化方法を採用した。

滑走路南端からの距離と凹凸量の分布を図-11に示す。波長は 10m, 100m としたが、着目する波長が異なると、凹凸量が大きくなる箇所が異なることがわかる。すなわち、波長が 10m の場合は、滑走路南端から 300m~600m, 2,200m~2,400m 付近で、波長が 100m の場合は、滑走路南端付近と 700m~1,200m 付近で凹凸量が大きくなっている。

次に、滑走路の短波長成分と長波長成分が航空機の応答に及ぼす影響を検討するために、図-9に示した縦断プロファイルを用いて、B747 と DC-9 が滑走路南端から離陸走行を開始する場合の鉛直加速度を計算した。

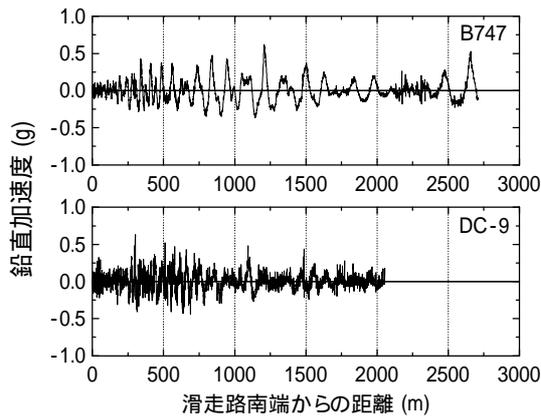


図-12 滑走路走行時の鉛直加速度

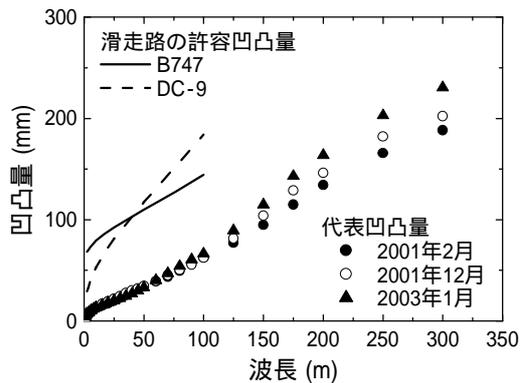


図-13 滑走路の代表凹凸量と波長の関係

表-2 滑走路走行時の代表鉛直加速度

縦断プロファイル 測定月	パイロット位置の 代表鉛直加速度 (g)	
	B747	DC-9
2001年2月	0.18	0.15
2001年12月	0.14	0.17
2003年1月	0.23	0.21

パイロット位置における鉛直加速度を図-12に示す。同一の縦断プロファイルを用いているにもかかわらず、航空機種の違いにより、鉛直加速度が大きくなる位置が異なることがわかる。これは、図-11に示したように、短波長成分と長波長成分の凹凸量の分布が異なることが原因と考えられる。すなわち、図-5に示した連続サイン波形による解析結果から、短波長の路面を走行する際はDC-9の方が、長波長の路面を走行する際はB747の方が鉛直加速度は大きくなるため、滑走路の中で短波長成分の凹凸量が大きな箇所を走行する際にはDC-9の、長波長成分の凹凸量が大きな箇所を走行する際にはB747の鉛直加速度が大きくなると考えられる。

以上の結果から、航空機の応答特性と波長ごとの路面の凹凸量を考慮することで、航空機の鉛直加速度が大きくなる箇所を推定することができると考えられる。

次に、三カ年にわたり測定した滑走路の縦断プロファ

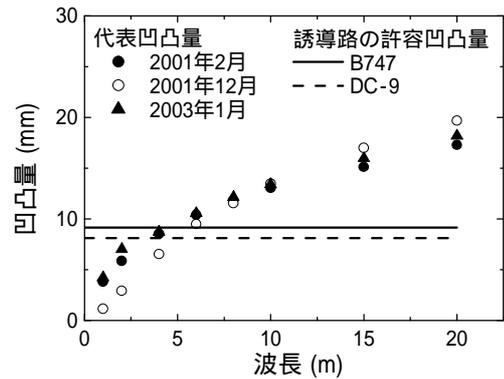


図-14 20m以下の波長に対応する代表凹凸量

表-3 一定速度走行時の代表鉛直加速度

縦断プロファイル 測定月	パイロット位置の 代表鉛直加速度 (g)	
	B747	DC-9
2001年2月	0.17	0.21
2001年12月	0.20	0.23
2003年1月	0.21	0.23

イルを用いて、波長ごとの凹凸量の85パーセンタイル値（以下では代表凹凸量と記す）を整理した結果を図-13に示す。これによると、100m以上の波長に対応した代表凹凸量が二年間で増大していることがわかる。この原因は明確ではないが、この滑走路が埋立地盤上に建設された施設であることから、不同沈下の影響があるのかもしれない。

しかしながら、前章で示した許容凹凸量と滑走路の代表凹凸量を比較すると、この滑走路の代表凹凸量は波長によらず大きくはないと考えられる。また、表-2に、この滑走路を離陸走行した場合のパイロット位置における代表鉛直加速度を示すが、最大でも0.2g程度であることから、今回縦断プロファイルを測定した滑走路は、本研究で提案した許容凹凸量の基準を当てはめると、現時点では良好な路面状態を保っているといえる。これは、この空港を利用するパイロットに対して実施したアンケートにおいて、当該滑走路の舗装状況評価に問題がないとされる結果<sup>3)</sup>からも裏付けられる。

次に、今回測定した縦断プロファイルを、誘導路のもののみならず、誘導路走行時の平坦性について検討した。

誘導路走行時の航空機の応答に影響を及ぼさずと考えられる20m以下の波長について、代表凹凸量と波長の関係を整理したのが図-14である。代表凹凸量は5m以下の波長では許容量より小さいが、波長が比較的長い場合には許容量を超過していることがわかる。

この縦断プロファイル上を、航空機が45km/hの一定速度で走行する場合の代表鉛直加速度を表-3に示す。縦断プロファイルの代表凹凸量は許容量を超過しているにもかかわらず、航空機の代表鉛直加速度は最大でも0.2g程

度であることがわかる。このことから、連続サイン波形による一連の解析から算出した誘導路の許容凹凸量は過小である可能性がある。これは、航空機の運動特性の時間依存性のために、特定の波長の波が連続した場合について算出した許容凹凸量を様々な波長の波が複合している実際のプロファイルの評価に使用する場合には、当てはまらないという危険性を示唆しているのかもしれない。

#### 4. まとめ

航空機走行時の応答を考慮した平坦性評価方法について、航空機に生じる鉛直加速度に着目して検討した結果は次のとおりまとめられる。

- (1) 航空機種の違いは滑走路走行時の航空機の応答で顕著であり、B747 は長波長の路面を、DC-9 では短波長の路面を走行する際に代表鉛直加速度が大きくなる傾向にある。
- (2) 誘導路走行時の場合、走行速度によらず、特定の時間振動数のときに鉛直加速度が最大となる。これに対して、滑走路走行時の場合、鉛直加速度が最大となる時の時間周波数は一定ではなく、波長により変化する。
- (3) 一連の解析結果をまとめて、誘導路ならびに滑走路の平坦性評価基準を提案した。
- (4) 実際の空港舗装の波長ごとの凹凸量の分布と航空機の応答特性を考慮することで、航空機の応答を考慮した空港舗装の平坦性評価が可能である。

#### 5. おわりに

以上で示したように、航空機走行時の応答を考慮した許容凹凸量の基準を提案した。今回提案した誘導路の許容凹凸量は過小である可能性があることから、今後さらに検討する必要がある。また、今回用いたシミュレーションソフトによる結果の妥当性についても、実際の航空

機の応答と比較して検証する必要があることはいうまでもなく、今後の検証を経て、最終的な平坦性評価基準について取りまとめる所存である。

#### 参考文献

- 1) (社)土木学会舗装工学委員会：路面のプロファイリング入門，舗装工学ライブラリ1，54p.，2003.
- 2) Hachiya, Y., Yin, J., Takahashi, O. and Himeno, K. : Aircraft Response Based Airport Pavement Roughness Evaluation, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, No. 634 / V-45, pp. 403-411, 1999.
- 3) 井上要人, 川村彰, 八谷好高, 姫野賢治：パイロットの意識調査に基づく空港舗装平坦性の評価 - 航空機の地上走行挙動に着目して - , 土木学会舗装工学論文集第7巻, pp. 12.1-12.10, 2002.
- 4) 遠藤桂, 姫野賢治, 川村彰, 八谷好高, 松井邦人：滑走路の乗り心地に着目した路面プロファイル解析, 土木学会舗装工学論文集第7巻, pp. 13.1-13.8, 2002.
- 5) 青木義郎, 豊福芳典, 塚田由紀：航空機の自動地上誘導管制の最適化 (独)交通安全環境研究所 研究発表会概要集, 2001.
- 6) K. J. DeBord : Runway Roughness Measurement, Quantification and Application - The Boeing Method, *Boeing Document D6-81746*, Boeing Commercial Airplane Company, 1990.
- 7) 後藤謙太, 川村彰, 八谷好高, 姫野賢治, 近藤智史：航空機シミュレーションを用いた滑走路の波状特性評価に関する研究, 土木学会第58回年次学術講演会概要集, pp. 1343-1344, 2003.
- 8) 川村彰, 姫野賢治, 藤原隆, 秋元隆：ウェーブレット解析の路面評価問題への適用性について, 土木学会舗装工学論文集第2巻, pp. 23-28, 1997.

## Study on Roughness Evaluation of Airport Pavements Based on Aircraft Response

Yukitomo TSUBOKAWA, Yoshitaka HACHIYA,  
Qinxi DONG, Kenji HIMENO and Akira KAWAMURA

The purpose of this study is to develop roughness criteria of airport pavements based on aircraft response to ensure the safety in operation and the ride comfortability of aircraft. As the results, relationship between aircraft vertical acceleration and roughness of pavement was clarified using simulation program of aircraft response, APRas, and the roughness criteria in order to keep aircraft vertical acceleration under 0.4g for both runway and taxiway were obtained. To verify these roughness criteria, longitudinal profile was measured on runway of major domestic airport for three years, and roughness evaluation of the airport pavements was carried out using these criteria.