

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-1216

湿潤滑走路面の粗さ評価法に関する研究

外崎得雄・山根皓三郎

1993年12月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. はじめに	1
2. 滑走路面粗さ測定の意義	2
3. 従来の滑走路面粗さ測定および評価法	3
4. 滑走路面粗さ測定装置および評価法の開発	3
4-1. 滑走路面粗さ測定装置	3
4-2. グルーピング路面の評価法	4
4-3. 非グルーピング路面の評価法	5
5. 滑走路面粗さ測定試験	5
6. 滑走路面粗さ測定結果への新評価法の適用	7
6-1. グルーピング路面の評価	7
6-2. 非グルーピング路面の評価	8
7. その他	9
8. おわりに	10

湿潤滑走路面の粗さ評価法に関する研究*

外崎 得雄*¹・山根 皓三郎*²

Study on the Evaluation Method of Wet Runway Surface Texture*

Tokuo SOTOZAKI, Kosaburo YAMANE

Abstract

It is well known that the grooving on runway surfaces is highly effective to prevent the hydroplaning during the airplane take-off and landing on wet runways. But, the initial performance of the grooving deteriorates due to the rubber deposits on runway surfaces. Therefore, a new method of measuring and evaluating the runway surface texture was developed. Using this new method, surface texture measuring tests of the grooved runway at Tokyo International Airport were conducted right before and after rubber removal. The operational runway texture data obtained can be used as a reference to provide safe management of grooved runways.

Key Words : Average texture depth, Grooving, Runway surface, Measurement

概要

滑走路面のグルーピングは、良く知られている通り、航空機が湿潤滑走路へ離着陸する際のハイドロプレーニングを防止する上で非常に効果的である。しかし、滑走路面に航空機タイヤのゴムが付着すると、グルーピングの初期の性能が低下してしまう。そこで、滑走路面の粗さを測定し評価するための新しい方法を開発した。さらに、この方法を用いて、東京国際空港（以下、羽田空港と略記する。）においてゴム除去直前および直後における滑走路面粗さ測定試験を実施して、グルーピング滑走路安全管理のための参考資料を提供した。

1. はじめに

湿潤時における航空機タイヤと滑走路面との間のすべり摩擦力の減少は、タイヤと路面間に介在する水により両者の真の接触が妨げられることによる。そこで、雨水を迅速に排水させるために、滑走路には通常約1.5%の横断勾配が付けられているが、降雨強度、路面粗さ、風向き等によっては滑走路面が冠水する恐れがある。そのような場合に航空機が離着陸すると、制動時にタイヤがハイドロプレーニングを起こして事故等に繋がりがかねない。このような事態を防止して、湿潤時の滑走路における航空機の安全性を確保するため、我が国では昭和51年度より滑走路舗装面へのグルーピングの設置を開始し、現在では定期便の運用に供されているほとんどの

主要空港に普及している。

グルーピングとは、図1に示すように滑走路面の排水性を向上させるため、横断勾配の方向に櫛の目状に設けた排水溝であるが、大型旅客機が頻繁に離着陸する空港では、接地帯附近の舗装表面に航空機タイヤのゴムが付着して、折角のグルーピングの機能が低下してしまう。このため、空港管理者は、滑走路面の目視観察や摩擦係数の測定を行い、その結果に基づいて舗装表面に付着したゴムの除去を行っている。しかし、グルーピング機能の低下を的確に把握して、ゴム除去をより効果的に行うためには、舗装面の粗さ測定も重要であると考えられる。そこで、滑走路面の粗さに関して、従来の測定および評価法に含まれる問題点を検討して新しい方法を開発するとともに、この新方法を用いて現在運用中の滑走路面の

* 平成5年8月25日 (received 25 August 1993)

*¹機体部 (Airframe Division)

*²構造力学部 (Structural Mechanics Division)

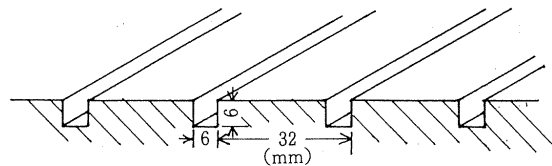


図1 グルーピング滑走路面（羽田空港）

粗さ測定および評価を行い、滑走路安全管理のための参考資料を得た。

2. 滑走路面粗さ測定の意義^{1), 2), 3)}

図2は、航空機タイヤが湿潤路面を高速で走行する際のハイドロプレーニングの発生を説明している⁴⁾。タイヤはその前面の水を排除しながら前進するが、水の慣性のため走行速度の増加とともにタイヤ前面の動圧が上昇し、動圧がタイヤの接地圧を越えると、タイヤは上方に変形して、路面とタイヤとの間にあたかも水の楔が打込まれたような状態となる（図2の領域1）。その後、タイヤ／路面間の水はフットプリントの後方に行くに従い徐々に排除され、タイヤと路面との真の接触が得られるようになる（図2の領域3）。しかし、舗装面が滑らかな場合には、水の粘性のために遅い速度でも薄い水膜が残って、タイヤと路面との真の接触が断たれる（図2の

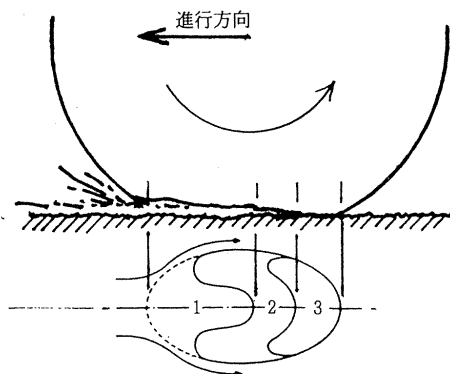


図2 ハイドロプレーニングのモデル

領域2)。この領域1および領域2の現象がそれぞれ動的ハイドロプレーニングおよび粘性ハイドロプレーニングと呼ばれるもので、いずれにおいてもタイヤ／路面間の水は剪断力を伝えないため、摩擦力は発生し得ない。

動的ハイドロプレーニングは舗装面上の水深が1～2 mm 以上になると発生しやすいと言われており^{5), 6)}、これを防止するためには路面に良好なマクロな粗さ（図3の(A)参照）を持たせて、排水性能を向上させることが肝要である。一方、粘性ハイドロプレーニングに対しては路面のミクロな粗さ（図3の(B)参照）が重要な役割を果し、舗装骨材の角や骨材表面のざらざらしたシャープさがタイヤ通過の際に接地圧を部分的に高め、薄い水膜を破ってタイヤ／路面間の真の接触を確保する。

グルーピングは滑走路の表面に排水溝を設けて積極的に排水性能の向上を図るもので、特に動的ハイドロプレーニングの防止に効果がある。しかし、重量の重い大型機が頻繁に離着陸する滑走路では、タイヤのスピンナップ時の摩擦により接地帯付近の舗装面にゴムが付着してグ

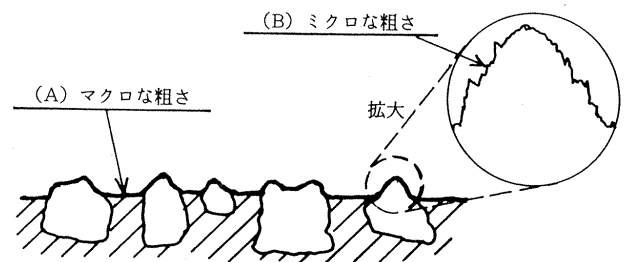


図3 路面粗さ（テクスチャ）

ルーピングの機能が次第に低下する。このため、空港管理者は滑走路面の目視観察や摩擦係数の測定を行い、その結果に基づいて舗装表面に付着したゴムの除去を行っているが、目視観察には経験を要し、客観的な判断も難しい⁹⁾。また、グルーピングの排水機能の低下を摩擦係数から推定するためには、ある程度以上の降雨強度の自然降雨のもとで摩擦係数の測定を行う必要があり、実際上非常に困難である。これに対して、路面の粗さは摩擦係数や航空機の制動距離と一義的に関係づけられるものではないが、適切な間隔でこれを測定および評価することによりグルーピング機能低下の進行状況を把握でき、ゴム除去のタイミングを予測することができる。

3. 従来の滑走路面粗さ測定および評価法

滑走路面の粗さ測定および評価の方法には、代表的なものとしてグリース・スメア法またはサンド・パッチ法によるATD (Average Texture Depth, 平均テクスチャ・デプス)がある^{9), 8)}。ATDとは、前者の方法では一定量のグリースをゴムへらを用いて舗装表面の凹凸を埋めながら押し広げ、また、後者の方法ではグリースの代わりに、砂をストレート・エッジを用いて舗装面上に広げて、使用したグリースまたは砂の体積をその広がり面積で除した値である。概念として、ATDの値が d の路面は、冠水すること無く、面積 A の路面に体積 Ad の水を含むことができる。従って、ATDの値が大きい程、降雨の際に路面が冠水しにくく同時に排水機能も高い。

ATDの定義を定量的に云い表すとすれば、“舗装表面の凹凸の頂点を連ねる面と舗装表面との間隙の体積を舗装面の面積で除した値”と云える。しかし、実際の舗装面は不規則な凹凸をもつため、“舗装表面の凹凸の頂点を連ねる面”は一義的には定まらず、グリース・スメア法およびサンド・パッチ法で求めたATDの値が信頼性に欠ける原因もこの辺りに在ると考えられる。

この事と関連して、すべり特性の向上に寄与する路面粗さは十数ミリ以下の波長の凹凸⁹⁾で、それ以上の長い波長の凹凸は、むしろ舗装面上に水たまりを形成してダイナミック・ハイドロプレーニングの発生を助長することもあるが、ストレートエッジを用いるサンド・パッチ法ではこのような長波長の凹凸をATDとして評価する恐れがある。一方、ゴムへらを用いるグリース・スメア法では、ゴムへらの硬さや押しつけ圧力がATDの値に影響を及ぼす恐れがあり、測定後の路面に付着したグリースの清掃も問題である。

ATDの他には、針状のものを路面に接触させながら一方向に移動させて路面の断面形状を測定し、これを解析して粗さの評価を行う方法、路面の立体写真を解析して評価を行う方法、カーボン紙またはアルミ фоль 等

を路面に押し付けて路面との接触部分と非接触部分の比を評価に用いる方法、両端開放のシリンダーを路面に立て、水を満たし、その下端と路面との間から水が洩れる速度を測って路面の排水性を評価する方法等、種々の方法が考えられている^{9), 10)}。しかし、いずれも粗さ評価に用いる指標の有効性、測定および評価に要する作業量、測定結果の信頼性等に問題を残しており、ごく限られた範囲で試験的にしか使われていないのが現状である。

また、従来の路面粗さ評価法は、ATDも含めてほとんどがマクロな粗さを評価するものであって、ミクロな粗さの評価は人間の手の感触に頼っているのが現状である。

4. 滑走路面粗さ測定装置および評価法の開発

前述のように、滑走路面の粗さは、湿潤時のすべり特性を決定づける重要な要因¹¹⁾でありながら、その粗さを測定評価する有効な方法は未だない⁹⁾。また、粗さ評価のための代表的な尺度であるATDの定義は極く概念的で定量的な明確さに欠ける。そこで、先ず光学式変位計を用いることにより滑走路面の断面形状を測定者の技倆に左右されず非接触で精度よく測定できる滑走路面粗さ測定装置を開発した。

次に、その測定結果から路面粗さを定量的に評価する方法を開発した。すなわち、グルーピング路面に対しては測定された路面断面形状からグルーピングの溝面積を合理的に算出して、評価者の主観に影響されることなくATDを求める方法である。また、グルーピングの山の部分、あるいは非グルーピング路面の粗さの評価にはPSD (パワースペクトルデンシティー)¹²⁾法を適用する方法を検討した。

4-1. 滑走路面粗さ測定装置

滑走路面粗さ測定装置の開発に際して留意した点は次の通りである。

- ① 舗装骨材の表面に存在する短い波長の凹凸を十分な精度で測定可能
- ② 小型軽量でライトバン型車両に搭載可能
- ③ 測定に熟練を要せず測定時間が短い
- ④ 測定結果を容易にパーソナルコンピュータで解析でき、結果の信頼性が高い

本装置は、測定路面に対してほぼ平行に固定した基準線と路面間の距離を連続的に測定することによって路面の断面形状を得るものである。構成は、図4に示すように、基準線と路面間の距離を測る光学式変位計、変位計を基準線に沿って等速度で移動させる移動台、変位計のアナログ出力をA/D変換して3.5"フロッピー・ディスクに収録するデータロガー、収集したデータの内容を

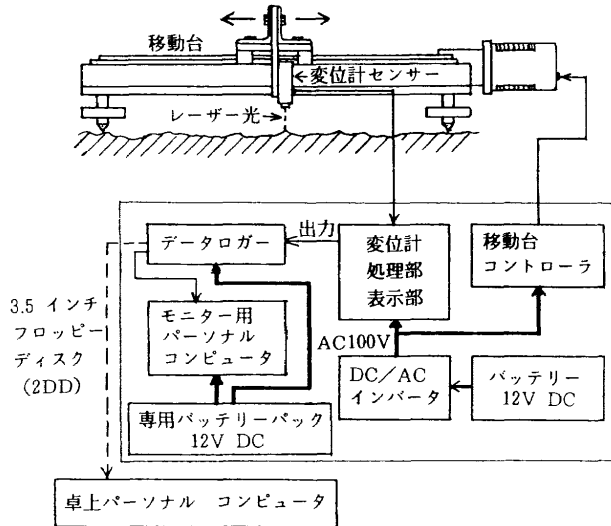


図4 滑走路路面粗さ測定装置の構成

その場で確認するためのノート型パーソナルコンピュータ並びにこれらを駆動するためのバッテリーとDC/ACインバータから成っている。

変位計センサーの移動スパンは400mm、移動速度は120mm/s、データロガーのサンプリング間隔は0.05mm(いずれも変更可能)とした。今回使用した光学式変位計の原理を図5に示す。レーザー光を投光レンズを通して照射し、被測定面からの乱反射光を受光レンズにより受光素子上に結像させる。投光レンズから被測定面までの距離が変わると受光素子上の像が移動するため、その位置に応じた電圧出力を得ることによって変位量を知ることができる。変位計の測定精度は±10μm、応答周波数は4kHz(-3db)、レーザースポット径は100~150μmである。

4-2. グルーピング路面の評価法

新しく開発したグルーピング断面積算定装置の構成と

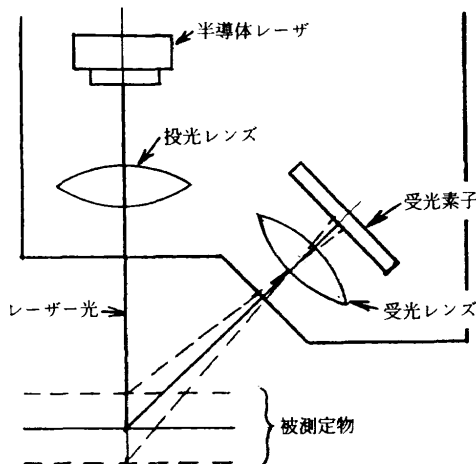


図5 光学式変位計の原理

その算定方法をそれぞれ図6および図7に示す。図7の $f(x)$ は溝寸法入力部から入力されたグルーピング断面形状、 $f(x+p/2)$ は半ピッチ移動部によって左へ半ピッチ $p/2$ 移動したもの、 $g(x)$ は差分検出部によって得られた $f(x)$ と $f(x+p/2)$ の差の絶対値である。

いま、 $f(x)$ の溝①に注目すると、 $g(x)$ の⑤および⑥に斜線で示す部分は、溝①をそれぞれ、左隣の山②および右隣の山③で蓋をした場合に形成される閉じた溝の断面積を表わしている。即ち、⑤と⑥の面積の和の1/2は、溝①の上方開口部に関して、左右両隣の山の中央部分の平均高さを溝の範囲の上限と定めた場合の溝面積を与える。

しかし、溝①の両隣の山②と③の高さが等しくなかったり、山の部分に④のような凹凸が有ると、 $g(x)$ の⑦および⑧のように溝面積と関係のない部分を溝面積として余分に加算してしまうことになる。そこで、 $f(x)$ と $f(x+p/2)$ の差を求める際に、閾値 Δ を設けて、差の絶対値が Δ より小さい場合は零として求めた $h(x)$ を $g(x)$ の代りに用いればよい。区間 np について、溝断面積の総和 S およびATDはそれぞれ次式で求められる。

$$S = \frac{1}{2} \int_0^{np} h(x) dx \tag{1}$$

$$ATD = S / (np) \tag{2}$$

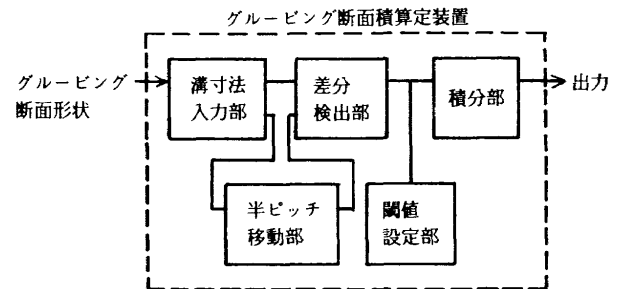


図6 グルーピング断面積算定装置の構成

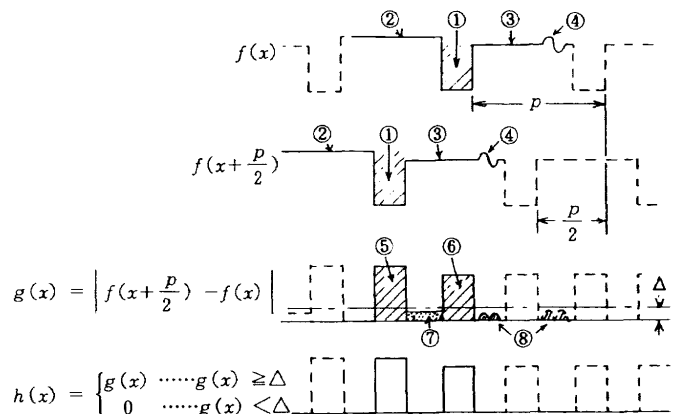


図7 グルーピング断面積算定法

ただし、

$$\begin{aligned}
 h(x) &= |f(x) - f(x+p/2)| \\
 &\quad \text{for } |f(x) - f(x+p/2)| \geq \Delta \\
 &= 0 \\
 &\quad \text{for } |f(x) - f(x+p/2)| < \Delta \quad (3)
 \end{aligned}$$

図8は、上に示した方法を実際のグルーピング滑走路に適用した例で、グルーピングの形状がひどく崩れた場合や、長波長成分を含んで山の頂上を連ねる線が緩やかな凸状になっている場合にも、溝面積を適切に算定していることが分る。閾値は種々検討の結果0.6mmとした。

4-3. 非グルーピング路面の評価法

滑走路面にグルーピングが施されていない場合には、その粗さ評価に4-2節の方法は適用できない。また、グルーピング路面の山の部分へのゴム付着状況を評価したい場合にも同様である。そこで、このような舗装表面(簡単化のため、非グルーピング路面と呼ぶ)の粗さを定量的に評価するためにPSD法を適用することを試みた。図9の実線は、羽田空港で測定したゴム付着の激しい路面と、ゴム付着がなく粗い路面、一点鎖線は一般道路の新設舗装面の断面形状についてPSDを求めた結果である。これを見るとゴム付着の違い、新旧舗装面の違いによりPSDの強さに顕著な差がみられる。一方、破線は接地帯標識上のゴム付着のないペイント塗布部分のPSDである。ペイント塗布面のPSDは、波長の長い領域では、ゴム付着の激しいアスファルト舗装面のPSDよりもむしろ高い値を示しているが、波長5mm以下あたりからパワーが急激に減少し、約2mm以下の波長ではゴム付着の激しいアスファルト舗装面のPSDよ

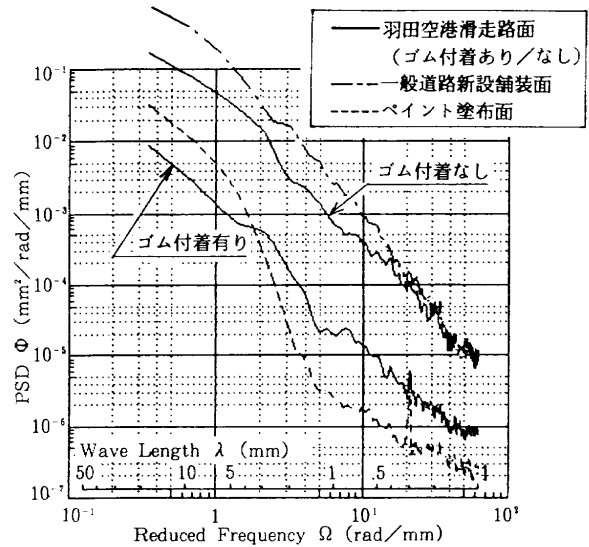


図9 非グルーピング路面の粗さのPSD

りさらに低い値となっている。

このように、PSDは路面粗さの特性を各波長成分に分けて表わしているが、含まれる情報が多過ぎて、粗さの度合いを比較するには直感的に理解しにくい。

そこで、ペイントを塗布したアスファルト舗装面では骨材のマクロな形状はペイント膜を通して表面粗さに表われるが、骨材表面のミクロな粗さはペイントで覆われるため湿潤時に粘性ハイドロプレーニングを生じて低速でも非常に滑りやすくなること、および、図9に見られたペイント塗布部分のPSDの特徴から、次式で示すようにPSD $\Phi(\Omega)$ の特定の波長範囲の積分値をミクロな粗さまたはマクロな粗さの指標として用いる方法を考えた。

$$\sigma_{mx}^2 \text{ or } \sigma_{mz}^2 = \int_a^b \Phi(\Omega) d\Omega \quad (4)$$

5. 滑走路面粗さ測定試験

湿潤滑走路において、航空機が適切な制動効果を有するように滑走路の舗装面を保守するためには、ゴム付着によるグルーピング路面の排水機能の低下を簡便に評価する方法を確立することと共に、ゴム除去を実施すべきタイミングを決める基準の作成が必要となる。このため、合理的な滑走路面の安全管理に対する基礎資料を得る目的で、滑走路面粗さ測定試験を行った。

試験は、東京空港事務所、運輸省港湾技術研究所およびオペレータ3社の協力を得て、大型輸送機が頻繁に離着陸する羽田空港新A滑走路のゴム除去前後の路面について都合7回⁴⁾実施した。試験の日程を表1に示す。

注) 平成元年11月8日に実施した第1回目の試験では試験中に降雨があり、路面が濡れて測定値の信頼性に問題があるため、6章以降の解析には含まなかった。

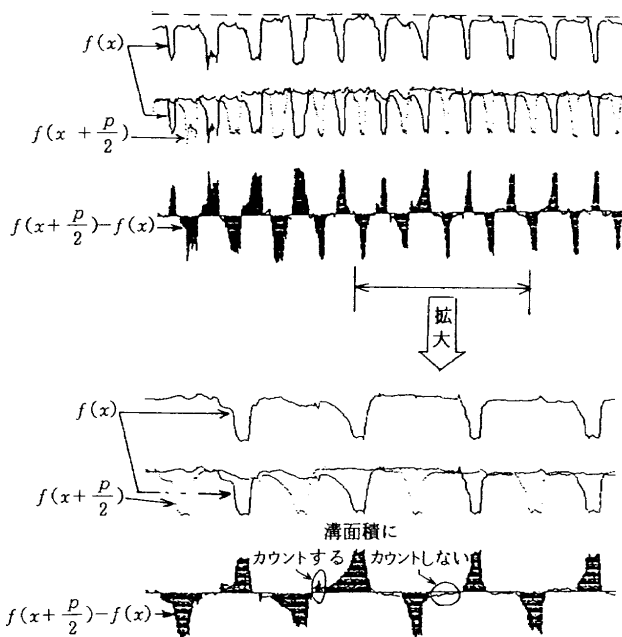


図8 実際の路面への適用例

表 1. 路面粗さ測定試験日程 (羽田空港, 新 A 滑走路)

回数	年月日	路面の状態
1	平成 1 年 11 月 8 日	ゴム除去後約 2 カ月
2	平成 2 年 3 月 15 日	ゴム除去直前
3	平成 2 年 4 月 19 日	ゴム除去直後
4	平成 2 年 12 月 4 日	ゴム除去直前
5	平成 3 年 1 月 23 日	ゴム除去直後
6	平成 3 年 9 月 2 日	ゴム除去直前
7	平成 3 年 10 月 2 日	ゴム除去直後

測定は、グルーピングの断面形状の測定 (図 10 の (A)) と、グルーピングの山の部分の粗さ測定 (図 10 の (B)) の 2 種類について行った。測定区域は滑走路面上のゴム付着状況およびゴム除去の範囲を考慮して、滑走路 34 側末端より 180m 内側の地点から同 900m の地点までとした。測定位置の詳細は図 11 に示すとおりで、滑走路中心線から 5 m (B-747 の主脚トレッドの約半分) ショルダー側に寄った線上を重点的に測定し、滑走路中心線から 2 m, 3.5m, 6.5m, 8 m および 19 m ショルダー側寄りの地点についても測定した。さらに参考のため、接地帯標識のペイント塗付面の粗さも測定した。

試験の手順は、図 4 に示した測定装置一式をライトバ

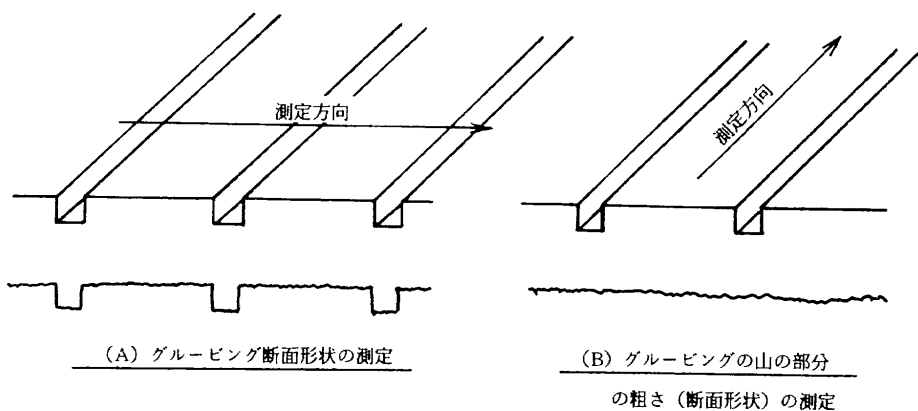


図 10 滑走路路面粗さ測定方向

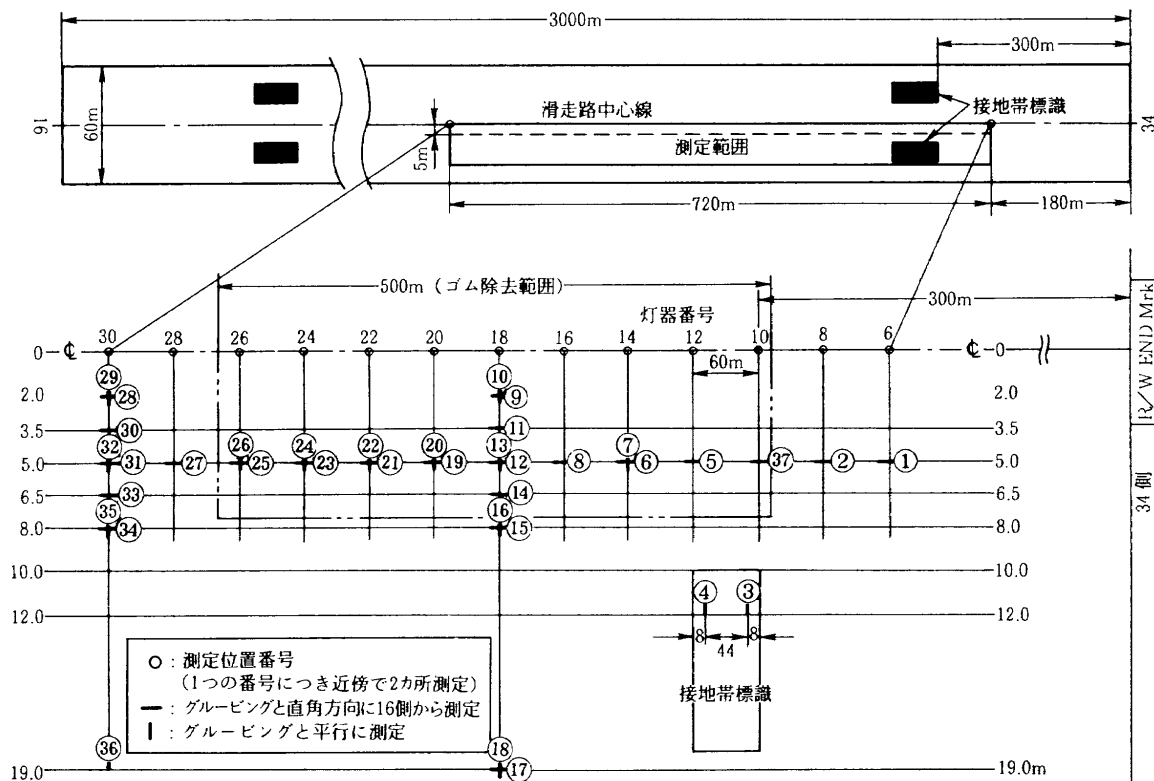


図 11 測定範囲と測定位置

ン型の航務業務用車両（ライトバン型）に積み込み，滑走路面上を移動しながら，各測定点において移動台を滑走路面上に下ろし，路面粗さ（断面形状）を測定した。測定時の様子を図12に示す。

6. 滑走路面粗さ測定結果への新評価法の適用

6-1. グルーピング路面の評価

グルーピングの断面形状の測定結果の一例を図13に示す。測定位置は中心線から5mショルダー側に寄った線上である。グルーピングの設計寸法は，幅（6mm）×深さ（6mm）×ピッチ（32mm）であるが，図では深さ方向に拡大して示している。

図中の右側の列は航空機タイヤのゴムが付着したゴム除去直前の路面，左側はゴム除去を終了した直後の路面で，ゴム除去の範囲は滑走路34側末端300mから800mまでの範囲である。滑走路34側末端から300mの位置には接地帯標識がペンキで印してあり，飛行機はそれを目標にして接地する。図中のゴム除去直前の路面では，滑走路末端から約600mあたりを中心にタイヤゴムの付着によってグルーピングの断面積が減少し，またゴム除去直後の路面では，ゴムが除去されてグルーピングの断面積が回復している様子が明瞭に表われている。

図14には，ゴム除去直前と直後のそれぞれ3回の測定試験結果に(2)式を適用して得られたATDを示した。ただし，図中の各点のATDの値は，測定点の近傍2カ所における測定結果から得られたATDの平均値である。ゴム除去直前で，しかもゴム付着が最も激しい位置でのATDの値は0.21~0.43であった。また，これらの値はゴム除去によって極く少数の測定点を除き0.75以上に回復していた。

図13および図14に見られるように，滑走路面へのタイヤゴム付着は接地帯標識をやや過ぎたあたりが最も激しく，そこから離れるに従って減少している。また，同一地点の近傍でもゴム付着の度合いにはばらつきがある。

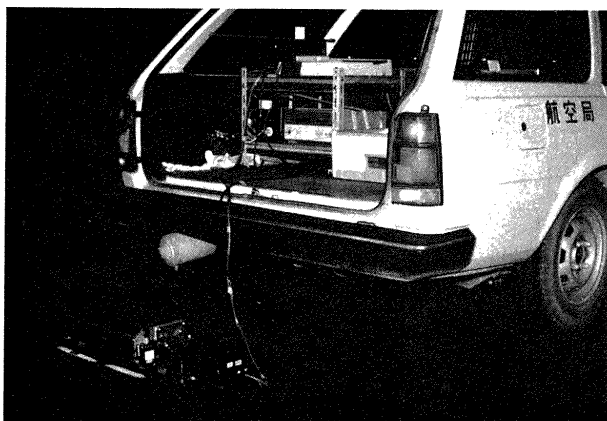


図12 滑走路面粗さ測定状況

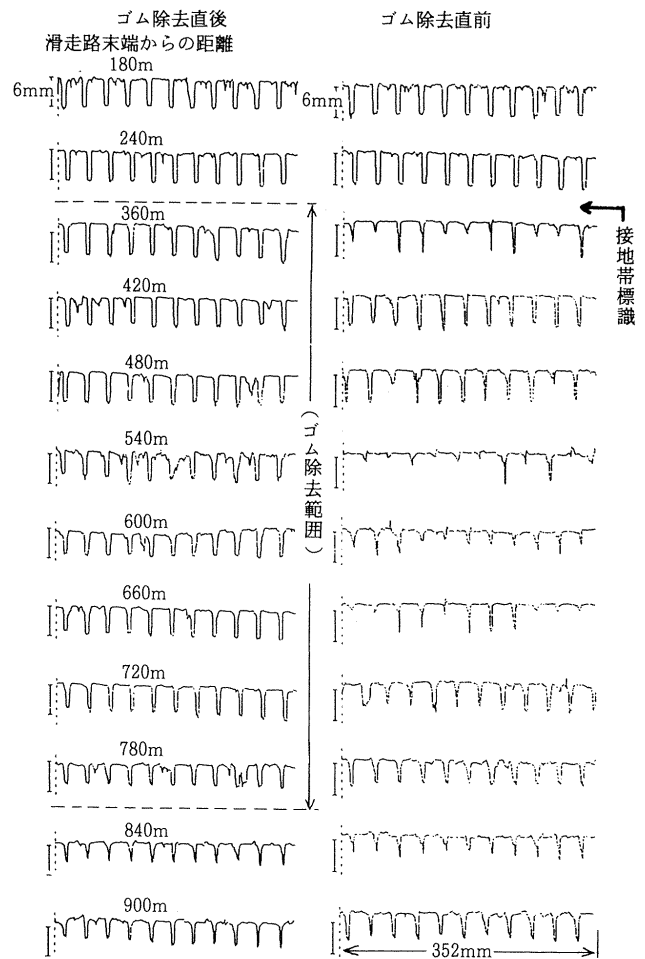


図13 グルーピング滑走路の断面形状

従って，ゴム除去基準値としては，ゴム付着の最も激しい部分を含む一定区間のATDの平均値を用いるのが妥当と考えられる。因みに，FAAのアドバイザリィーサーキュラー⁷⁾ではすべり摩擦係数の値を規定する際に，約150m(500feet)あるいは約300m(1000feet)の区間の平均値を用いている。また，ICAOの第14付属書¹³⁾および空港業務マニュアル⁹⁾では，すべり摩擦係数として，100m区間の平均値を用いている。

図14に示したATDの値は，測定点近傍の2カ所で得た値の平均値であるが，これを60m区間（測定点間隔）の平均値と考えて，ゴム除去直前で，しかもゴム付着が最も激しい位置を含むATDの平均化区間長L(m)とATDの区間平均値との関係を求めて図15に示した。これを最小二乗法により直線近似すると，

$$\left. \begin{aligned}
 &ATD = 0.17 + 7.1 \times 10^{-4} \cdot L \\
 &\quad \dots\dots\dots \text{(H2. 3. 15 の測定結果)} \\
 &ATD = 0.35 + 6.8 \times 10^{-4} \cdot L \\
 &\quad \dots\dots\dots \text{(H2. 12. 4 の測定結果)} \\
 &ATD = 0.38 + 4.6 \times 10^{-4} \cdot L \\
 &\quad \dots\dots\dots \text{(H3. 9. 2 の測定結果)}
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

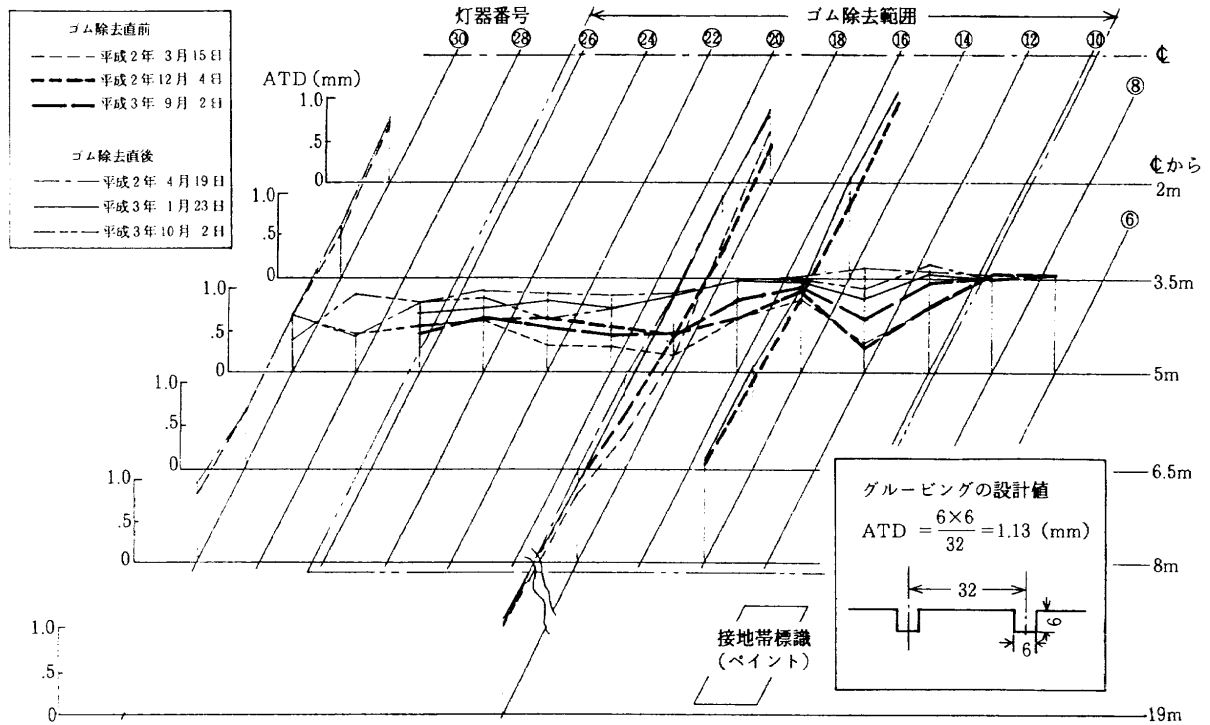


図14 グルーピング滑走路面の ATD

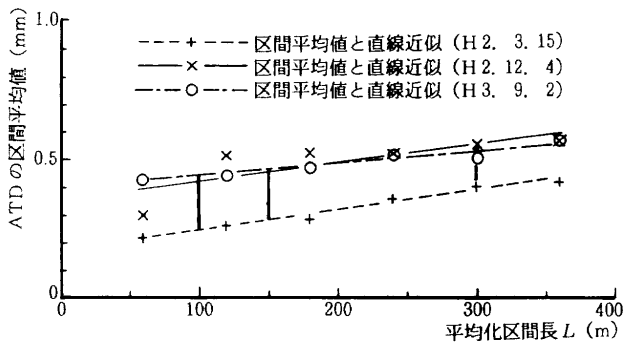


図15 平均化区間長 L と ATD の区間平均値との関係

と表わされる。この近似式を用いると、平均化区間長 100m、150m および 300m のときの ATD の区間平均値は 0.24~0.43、0.28~0.45 および 0.38~0.55 となる。

ゴム除去基準値の決定には、今後さらにデータの蓄積を要し、また、降雨強度とグルーピングの排水能力に関する解析的¹⁴⁾、¹⁵⁾な裏付けが必要であるが、現時点では平均化区間長 300m に対する ATD の値 0.55 が一つの目安になるものと考えられる。

以上のように、従来は ATD が測定方法や人間の判断に左右されたが、ここに提案した新しい方法によれば簡単な演算装置を用いることによって極く短時間に客観的で信頼性の高い ATD を得ることができる。

6-2. 非グルーピング路面の評価

グルーピングの山の部分の粗さの測定結果の一例を図16に示す。測定位置は、滑走路末端から 540 m 内側で、

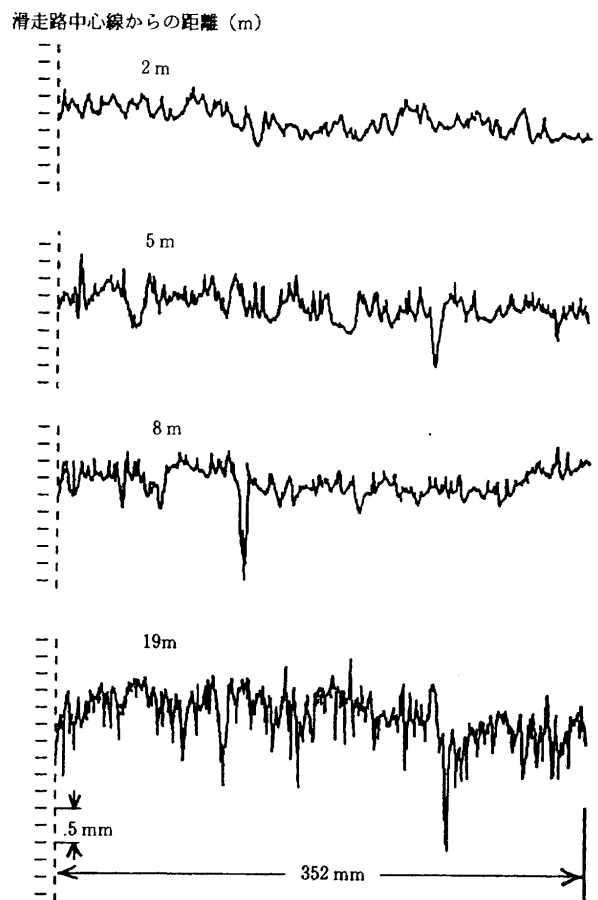


図16 グルーピングの山の部分の粗さ

滑走路中心線からショルダー側に 2 m, 5 m, 8 m および 19 m 離れた点である。さらに、これらの路面断面形状の PSD を、参考のため求めたペイント塗布面の PSD と共に図 17 に示す。いずれの図においてもゴム付着路面、非ゴム付着路面およびペイント路面の違いが明瞭である。

ゴム付着によるマイクロな粗さの劣化およびゴム除去によるマイクロな粗さの回復の様子を定量的に評価するために、羽田空港での第 2 回（ゴム除去直前）と第 3 回（ゴム除去直後）の測定試験結果に非グルーピング路面の評価法として提案した(4)式を適用して σ_{mic}^2 を求めた。ただし、積分範囲は $\lambda = 0.2\text{mm} \sim 2\text{mm}$ とした。得られた結果を図 18 に示す。同図において、ゴム付着およびゴム除去によるマイクロな粗さの変化が定量的にはっきりと表われている。

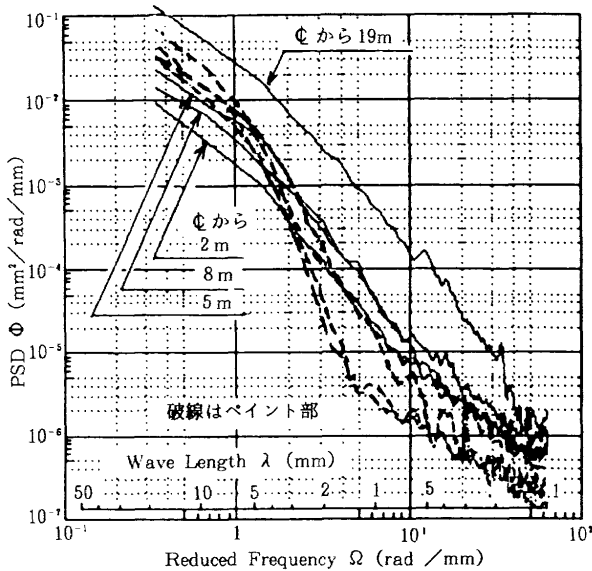


図 17 グルーピングの山の部分の粗さ PSD

(4)式による σ_{mic}^2 または σ_{mac}^2 の実用化の可否に関しては、今後さらに検討が必要であるが、従来人間の感覚に頼っていたマイクロな粗さの評価に関する可能性を示した。

7. その他

1). グルーピング路面の断面形状を測定する場合は、図 19 に示すように、レーザ反射光がグルーピングの壁に遮られないように、変位計とグルーピングの方向との関係に配慮する必要がある。

2). 今回使用した溝面積算定方法によれば、路面上にゴムの塊、小石、ごみなどがあると、その突起部分を逆に溝面積として計数してしまう。そこで図 20 に示す測定例について、突起部分を含めた場合と除外した場合の ATD を求めて比較したが、両者の差は 3% 以下で、十分無視できる範囲であった。

3). グルーピングの断面形状が図 21 (A) のような場合、変位計の原理から、測定結果は同図 (B) のように実際より狭い面積を計測するが、グルーピングの断面積

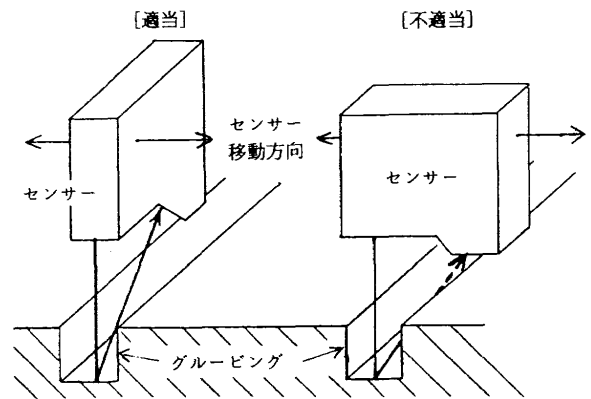


図 19 変位計とグルーピングの方向の関係

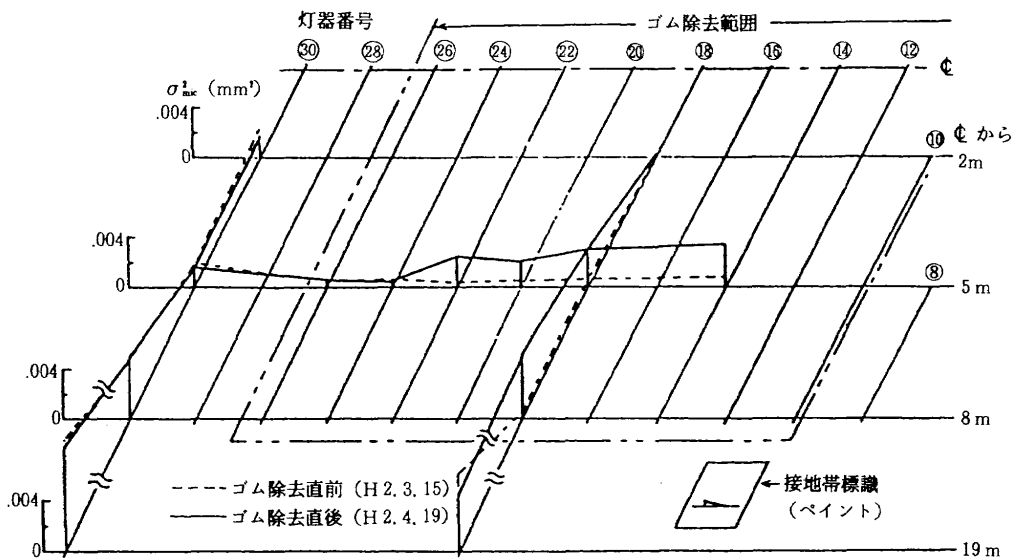


図 18 σ_{mic}^2 を用いたグルーピングの山の部分の粗さ評価

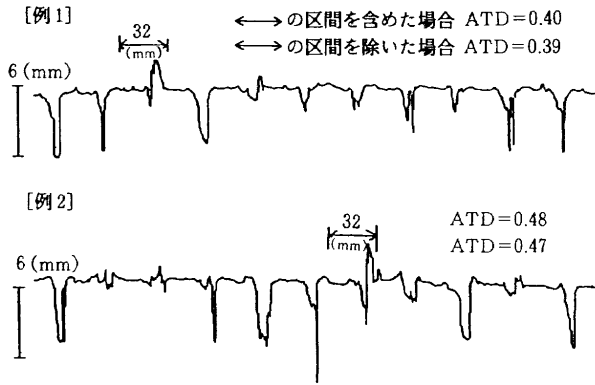


図 20 溝面積算定誤差の関係

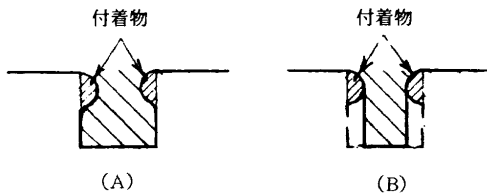


図 21 変位計の測定面積

を求める上では控え目で安全側の推定となる。

4). この測定装置は、光学式変位計を使用しており、濡れている路面では、受光素子が検出する反射光の径路に影響されるため、使用できない。

8. おわりに

実用性と信頼性の向上を目指して、滑走路路面粗さ測定装置を開発し、その装置を用いて得られたグルーピング路面の断面形状から、簡単な演算装置を用いて極く短時間に客観的で信頼性の高い ATD を得る方法を開発した。さらに羽田空港において路面粗さ測定試験を実施し、得られた結果にこの方法を適用して、その有用性を確認すると共に、都合 7 回のゴム除去前後における路面の ATD データを収集した。また、人間の感覚に頼っていたマイクロな粗さの評価に関して、定量的な新しい方法の可能性を示した。従来は、ゴム除去の時期は長年の経験に基づき、運航器材の運航頻度、路面の摩擦係数、目視観察の結果等を考慮して決められてきたが、路面の ATD を考慮に加えることにより、より合理的で計画的な滑走路の安全管理を実現できるものと思われる。

最後に、羽田空港での路面粗さ測定試験に多大な御協力を頂いた前東京空航事務所の篠良一氏はじめ運輸省港湾技術研究所の前土質部長佐藤勝久氏およびオペレータ 3 社の関係各位に深く感謝致します。

参考文献

1) グルーピング滑走路の安全性に関する第一次調査研

究報告書, (財)航空保安協会, 昭和 60 年 3 月
 2) グルーピング滑走路の安全性に関する第二次調査研究報告書, (財)航空保安協会, 昭和 61 年 3 月
 3) グルーピング滑走路の安全性に関する第三次 (最終) 調査研究報告書, (財)航空保安協会, 昭和 62 年 3 月
 4) Horne, W. B. : Status of Runway Slipperiness Research, NASA SP-416, 1976.
 5) ICAO Airport Service Manual, Part 2, Second Edition, 1984.
 6) Yager, T. J. and others : A Comparison of Aircraft and Ground Vehicle Stopping Performance on Dry, Wet, Flooded, Slush-, and Ice-Covered Runways, NASA TN-D 6098, November 1970.
 7) Burk, D. O. : Effectiveness of Rubber Removal Processes at Six Air Force Bases, AFCEC Memorandum 4-77, Air Force Civil Engineering Center, Tyndall Air Force Base, Florida, 1977.
 8) FAA : Measurement, Construction, and Maintenance of Skid Resistant Airport Pavement Surfaces, AC No. 150/5320-12A, Date 7/11/86.
 9) 溝口 忠 : 路面の粗さの測定法, 土木技術資料, 13-4, 1971.
 10) Mckeen, R. G. and others : Runway Rubber Removal Specification Development, Field Evaluation Procedures Development, DOT/FAA/PM-84/27, July 1987.
 11) Maclennan, J. R. and others : National Runway Friction Measurement Program, Final Report, FAA-ASS-80-1, December 1980.
 12) 山根皓三郎, 外崎得雄 : 滑走路路面凹凸のパワースペクトルの推定, 航空宇宙技術研究所報告, TR-1037, 1989 年 10 月
 13) ICAO Annex 14, Aerodroms, Eighth Edition, March 1983.
 14) Reed, J. R. and others : Analytical and Experimental Study of Grooved Pavement Runoff, DOT/FAA/PM-83/84 August 1983.
 15) Bob, M. G. and others : The Effects of Rainfall Intensity, Pavement Cross Slope, Surface Texture, and Drainage Length on Pavement Water Depths, Texas Transportation Institute, Texas Highway Department, 138-5, July 1, 1971.

航空宇宙技術研究所報告1216号

平成5年12月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7-44-1
電話 三鷹(0422)47-5911(大代表) ㊦182
印刷所 株式会社 共 進
東京都杉並区久我山5-6-17

Printed in Japan