

港湾技術資料

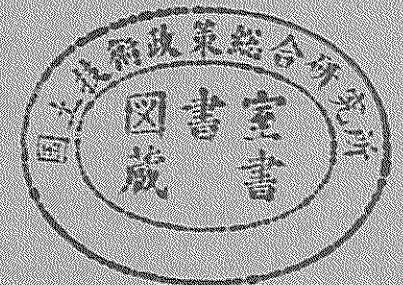
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 846 Sept. 1996

空港滑走路のすべり抵抗性

梅八藤横
野谷倉田
修好豊
一高吉弘

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 舗装面のすべり抵抗性	4
2.1 すべり抵抗性に起因する問題	4
2.2 すべり抵抗性に影響を及ぼす要因	5
2.3 すべり摩擦係数測定方法	6
2.4 管理基準	7
3. 試験方法	9
3.1 現地試験	9
3.2 室内試験	11
4. 試験結果と考察	12
4.1 ゴム付着によるすべり抵抗性の低下	12
4.2 すべり抵抗性に対する影響因子	15
4.3 すべり抵抗性の回復策	16
4.4 すべり抵抗性の簡易測定法	17
5. まとめ	19
6. あとがき	19
参考文献	19

Skid resistance of airport runways

Shuichi UMENO*
Yoshitaka HACHIYA**
Toyokichi FUJUKURA***
Hiroshi YOKOTA****

Synopsis

Skid resistance of airport runways is an important factor to assure the safety aircraft operations, especially when the runway surface is wet. The grooving installed to shorten the drainage time will lose its effect if the aircraft tire rubber adheres to the pavement surface. ICAO recommends the international criteria as the surface friction coefficients measured by vehicle-type equipment. These values are, however, variable depending on the equipment type and the condition at the measurement.

This study examines the actual airport runways and deals with these factors influencing the measurement. Furthermore, it investigates the applicability of handy type equipment. The following conclusions are obtained.

- (1) In the touch-down area where most aircraft lands, the friction coefficient decreases by 0.2 due to aircraft tire rubber adhesion even several months after removing it.
- (2) The friction coefficient obtained by SFT at this area is smaller by 0.2 - 0.4 than that at the area without rubber adhesion.
- (3) The friction coefficient varies with the pavement surface temperature; the coefficient measured by SFT in summer is smaller by 0.1 than that in winter. In case of rubber adhered surface, the skid resistance drops to a very low level in relatively low temperature range.
- (4) The efficiency of drainage of the grooving decreases with the tire rubber adhesion. It leads to an increase of water film thickness at rain fall.
- (5) As a remedy for obtaining the sufficient skid resistance, the removal of the tire rubber is effective. It brings an increase of the coefficient by 0.1.
- (6) Of handy type equipment, DF Tester shows the friction coefficient related well with that by SFT.

Keywords : runway, skid resistance, grooving, tire rubber, Saab Friction Tester

* Chief, Technology Development Section, Kobe Investigation and Design Office, Third Port Construction Bureau (former Senior Research Engineer, Geotechnical Engineering Division)
** Chief, Runways Laboratory, Geotechnical Engineering Division
*** Chief, Civil Engineering and Architecture Section, Airport Division, Osaka Civil Aviation Bureau.
**** Chief, Design and Construction Technology Laboratory, Planning and Design Standard Division

空港滑走路のすべり抵抗性

梅野修一*
八谷好高**
藤倉豊吉***
横田弘****

要 旨

空港舗装のすべり抵抗性は、航空機の安全運行を確保する上で重要な要素であり、特に舗装面が湿潤状態となっているときに大きな問題となる。そのため、滑走路の降雨時における排水性を高めるために、グルーピングが設けられている。しかし、航空機の着陸により舗装面にタイヤゴムが付着すると、グルーピングの効果は小さくなることが懸念される。この滑走路のすべり抵抗性については、車両形式の装置によるすべり摩擦係数として国際基準が定められているが、実際の測定値は使用する装置や測定時の環境等の影響を受けることが知られている。

本研究では、空港滑走路の湿潤状態時のすべり抵抗性について実態調査を行うとともに、測定値に対する影響因子について考察を加えた。さらに、操作性に優れた小型試験装置の適用性についても検討した。得られた結論は以下のようなものである。

- (1) 航空機の着陸が集中する滑走路の接地帯付近では、航空機タイヤのゴムが付着し、ゴム除去後数箇月経過するとサーブフリクションテスト(SFT)によるすべり摩擦係数 μ_{SFT} でみて最大3割程度(値で約0.2)低下する。
- (2) ゴムが付着している接地点標識近傍としていない滑走路中間部の μ_{SFT} を比較すると、前者が3割から5割程度(値では0.2~0.4程度)小さくなっている。
- (3) ゴム付着の有無によらず、舗装温度によりすべり抵抗性は変化し、 μ_{SFT} でみれば、夏季は冬季に比べて1~2割(値で0.1)小さくなっている。ただし、ゴムが付着している場合にはその差は小さい。
- (4) ゴムが付着することによりグルーピングの目詰まりが進行して、排水効果は低下し、降雨時の水膜厚は増加する。水膜厚が3mm以下の範囲ではすべり摩擦係数は大きく変化しない。
- (5) すべり抵抗性の回復策としてはゴム除去が有効で、これにより μ_{SFT} でみれば15%程度(値で約0.1)増加する。
- (6) ゴムが付着すると、ポータブルスキッドレジスタンステストによる測定値BPNでは20程度、DFテストによる測定値 μ_{DFT} では0.2程度の低下がみられる。このうち、DFテストはSFTと相関性が良好である。

キーワード：滑走路、すべり抵抗性、グルーピング、タイヤゴム、サーブフリクションテスト

* 第三港湾建設局神戸調査設計事務所技術開発課長(前土質部主任研究官)
** 土質部滑走路研究室長
*** 大阪航空局飛行場部土木建築課長
**** 計画設計基準部設計技術研究室長

1. まえがき

空港舗装のすべり抵抗性は、航空機の安全運行を確保する上で重要な要素であり、特に舗装面が湿潤状態となっているときに大きな問題となる。降雨時における排水時間の短縮化を図るために、滑走路・誘導路では中心線から両側に勾配を付けるとともに、横断方向に多数の細かい溝、すなわちグルーピングを設けることが一般に行われている。

空港滑走路では航空機の着陸により舗装表面にタイヤゴムが付着することが他の空港基本施設との大きな違いである。グルーピングの効果は、このゴムの付着による影響を受け、グルーピング溝が詰まるために小さなものになってしまう。このことから、交通量の多い空港のすべり抵抗性の低下が懸念されるところである。

湿潤時の滑走路面のすべり抵抗性については、車両形式の試験装置によるすべり摩擦係数として国際基準が規定されている。しかし、このすべり摩擦係数は、測定時の舗装面の水膜厚、舗装温度などの影響を受けることが問題点として認識されている。近年では、この車両形式の装置のほかに、操作性に優れた小型試験装置も開発され、道路分野において使用されているものの、基準値を定めるには至っていない。

本研究ではこれらの点に注目し、湿潤時における空港滑走路のすべり抵抗性について検討を加えた。まず、現地調査として大阪航空局管内での複数の空港滑走路におけるすべり抵抗性を把握した。そして、東京国際空港の滑走路から表・基層アスファルトコンクリート層の試料を採取し、温度、水膜厚といった要因がすべり摩擦係数に及ぼす影響について小型測定装置を用いた室内試験により調査した。

その結果として、まず、滑走路面にゴムが付着することによりすべり抵抗性が低下する状況について示し、そしてすべり抵抗性に影響を与える要因についてまとめた。さらに、異なる測定装置間の相関性について検討し、最後にゴムの付着により低下したすべり抵抗性を回復する方法について言及した。

2. 舗装のすべり抵抗性

2.1 すべり抵抗性に起因する問題

舗装面のすべり抵抗とは、タイヤが舗装面との間のグリップを失ってすべるときにタイヤと舗装の境界面に発生するせん断力のことである。このせん断力は、それを

タイヤに加わっている荷重で除すことによってすべり摩擦係数として定量化され、舗装面のすべり抵抗性を表す指標として利用されている。すべり摩擦係数は、車輪の回転方向ならびにそれに直角方向の2種類に分けて考えられ、前者は制動ならびに駆動、後者は曲線走行に関わるものとされている（それぞれ、縦すべり摩擦係数、横すべり摩擦係数といわれる）。これらのすべり摩擦係数は、図-1¹⁾に示すように、車輪と舗装面のすべり程度によって大きく変化し、すべり率*10%程度で最大値に到達し（ピーク時）、その後完全スリップ状態（ロック時、すべり率100%）まで徐々に減少する。

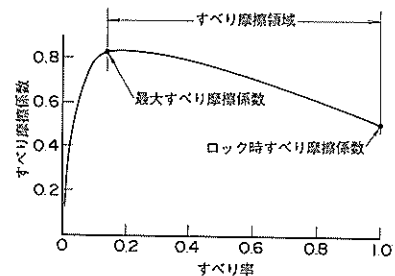


図-1 すべり率とすべり摩擦係数の模式図

舗装のすべり抵抗性が低下することによって車両、航空機等の運行上ひき起こされる問題として次の2つが挙げられる。

一つ目は、道路において舗装表面が湿潤状態となっているときに交通事故が増加することに代表されるスリップ事故である。具体的には、図-2²⁾に示すように、湿潤時事故率（全事故に対する湿潤時の事故の割合）は舗装のすべり摩擦係数が低下するにつれて増加することが明らかである。この図はドイツ国内の道路80箇所における

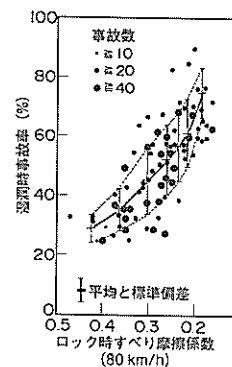


図-2 すべり摩擦係数と湿潤時事故率

* $(V_M - V_R) / V_M \times 100 (\%)$ で計算される (V_M : 車輪の移動速度, V_R : 車輪の回転速度)

実測データである（ロック時すべり摩擦係数）。

二つ目は、高速走行時のハイドロプレーニング現象に起因する事故である。特に、航空機が高速走行する空港舗装においてはその懸念が大きい。図-3は、タイヤと舗装面間の水の二次元流を考えてハイドロプレーニング現象発生時の速度を計算した²⁾結果である（B-747を想定）。この図から、舗装面の排水が不十分で水膜厚が大きくなれば、ハイドロプレーニング現象が発生しやすいことがわかる。

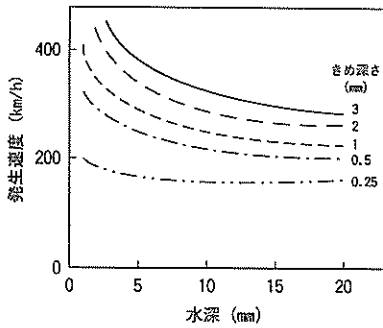


図-3 水膜厚とハイドロプレーニング発生速度

2.2 すべり抵抗性に影響を及ぼす要因

図-1に示したスリップ率とすべり摩擦係数の関係は、いうまでもなく舗装面の乾湿状態によって異なっている。すなわち、図-4²⁾に示すように、湿潤状態のほうがピーク時、ロック時を含めて摩擦係数が全体的に小さく、スリップしやすくなっていることがわかる。この点について走行速度別に検証した例として、図-5²⁾にロック時摩擦係数を挙げた。この図から走行速度によらず、湿潤時のほうが乾燥時に比べてすべり摩擦係数が小さいことがわかる。

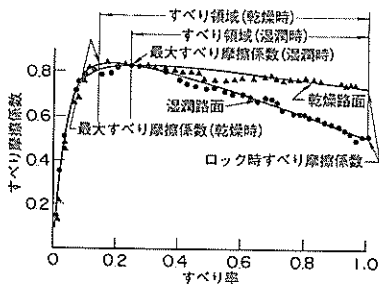


図-4 舗装面の乾湿によるすべり摩擦係数の違い

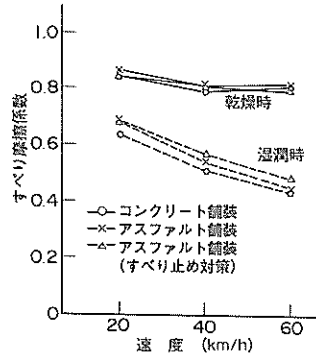


図-5 走行速度とすべり摩擦係数

この図から、走行速度の増加につれて湿潤時摩擦係数が著しく低下することもわかる。このほか、舗装のすべり抵抗性に大きな影響を及ぼす因子としては、舗装面のきめ（テクスチャ）と水膜厚（水深）もある。まず、前者については、その例を図-6²⁾に示すように、50~100 km/hの広い範囲で、きめの深いほどすべりにくくなっていることがわかる（ロック時すべり摩擦係数）。次に、後者については、図-7²⁾（ロック時摩擦係数）のように、一般にすべり摩擦係数は水膜厚に対して対数比例の関係にあるといわれている。この場合、水膜厚の影響は高速時ほど著しく、水膜厚が小さい範囲ですべり摩擦係数は急激に変化する。

さらに、舗装の表面温度が変わればすべり摩擦係数も

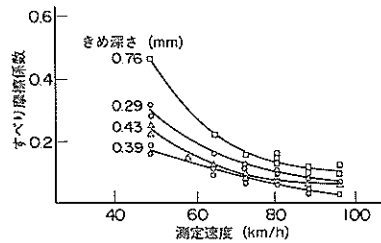


図-6 きめ深さとすべり摩擦係数

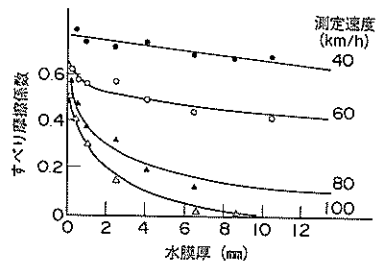


図-7 水膜厚とすべり摩擦係数

変化する。図-8⁹⁾は供用中の道路舗装での実測値から得られた関係（ロック時摩擦係数）であり、温度が高くなるにつれてすべり摩擦係数は低下する傾向がみられる。また、タイヤ内圧や車輪に加わる重量も影響を及ぼすと考えられるが、上記の要因に比較すると、図-9⁹⁾に示すように、その程度は小さい（ロック時すべり摩擦係数）。

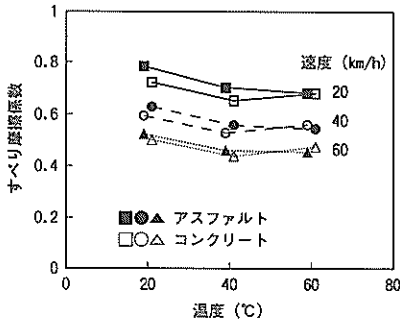


図-8 温度とすべり摩擦係数

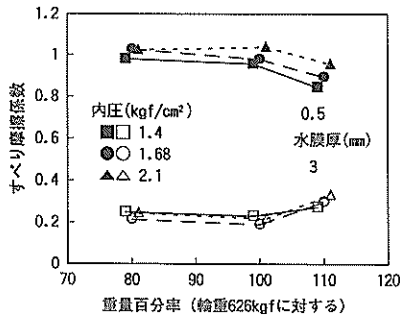


図-9 タイヤ内圧とすべり摩擦係数

2.3 すべり摩擦係数測定方法

舗装のすべり抵抗性を把握・管理するためには、一般に、すべり摩擦係数を車両もしくは小型試験装置により直接測定する手法が用いられている。前者によれば、実状に近いすべり摩擦係数が得られるのに対し、後者には測定が容易であるとの利点がある。

(1) 実車による場合

車両型式の測定装置は車体に組み込んだ測定輪や牽引式のトレーラータイプの測定装置を使用するもの、通常の車両を用いて測定するものに分けられ、空港舗装で多く用いられているものは、前者に属するSaab Friction Tester (SFT) と μ メータである。

SFTは前輪駆動式の乗用車に縦すべり摩擦係数測定用の測定輪（第5輪）が組み込まれたものである（図-10）。この測定輪の内圧は 7.1kgf/cm^2 （または 2.1kgf/cm^2 ）であり、常時 143kgf の垂直荷重が加わるようになっている。この測定輪が10%のスリップ率で回転する場合の制動トルクから縦すべり摩擦係数（BFC*）が計算でき

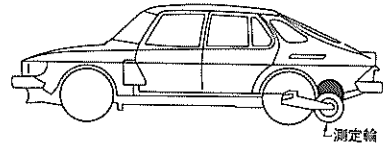


図-10 SFT

る。測定時には、路面が湿潤状態となるように、自蔽式散水装置を用いて水膜厚を一定値とできるようになっている。

μ メータは牽引式装置である。測定輪の内圧は 0.7kgf/cm^2 で、常時 78kgf の垂直荷重が加えられている。これにより、測定輪が進行方向に対して15度開いた状態での横すべり摩擦係数（SFC*）が測定される。

図-11⁹⁾は、車両によるすべりやすさと航空機によるものの相関性をみたものである（車両は対角線上の2つのタイヤがロックされた場合のもので、すべりやすさはSDR**で表されている）。この図から、両者の相関性は非常に良好で、 $\pm 15\%$ の範囲内におさまっていることから、空港舗装上を航空機が走行する場合のすべり抵抗性は車両型式の測定装置により評価できると考えられる。

(2) 小型試験装置による場合

車両型式の測定装置は、その台数などに制約が多く、また、室内試験時・試験施工時には適用できないため、小型試験装置を使用せざるを得ない。

この形式の装置として代表的なポータブルスキッドレジスタンススタ（British Pendulum Tester, BPTともいう）は、試験ゴム片が先端についた振り子（ラバース

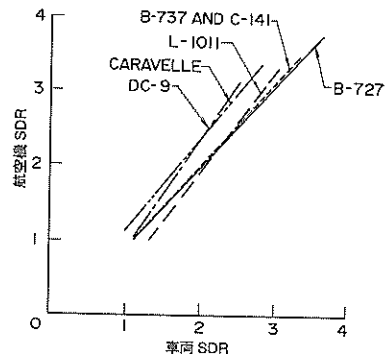


図-11 車両と航空機のすべりやすさの違い

- * Braking Force Coefficientのことで、車輪に作用する水平方向ブレーキ力を垂直力で除した値
- ** Sideway Force Coefficientのことで、車両進行方向にある角度をもって回転する車輪の軸方向水平力を垂直力で除した値
- ** Stopping Distance Ratioのことで、湿潤路面と乾燥路面上での停止距離の比で表される。一般に、SDRが大きいほど湿潤時にすべりやすい。

ライダ)を所定の高さから振りおろし、試験ゴム片が舗装面に接触した後に上がる高さからすべり摩擦係数(British Pendulum Number, BPNと称する)を測定する装置である(図-12)また、わが国独自のものとしてDFテスト(図-13)が開発されている。これは、3個の試験ゴム片(各1.5×2cm)を取り付けた円板を回転させたまま(80km/h以上に相当)舗装面に3.6kgfの垂直力で押しつけ、回転が停止するまで試験ゴム片が受ける摩擦力とそのときの速度を連続的に測定することにより、すべり摩擦係数を計測する装置である。

小型試験装置と車両による測定値との相関性の例として、図-14にBPNと牽引式測定車(乗用車の前輪部分使用)によるすべり摩擦係数(時速40km/h)との関係⁹⁾を示した。この場合は両者の相関性が良好であるが、一般

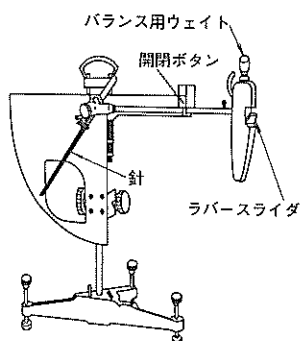


図-12 BPN

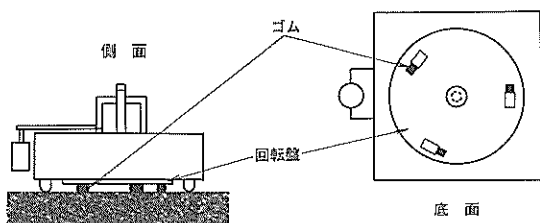


図-13 DFテスト

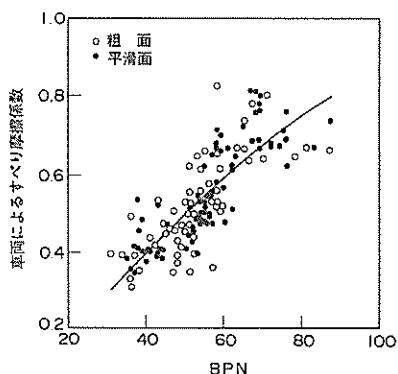


図-14 車両によるすべり摩擦係数とBPNの相関性

には対象とする舗装、使用する測定装置に応じた関係式を個別に構築する必要がある。

(3) きめ

一般に、すべりに関係する舗装面のきめはマイクロテクスチャとマクロテクスチャとに分けて考えられる(凹凸の波長0.5mm程度が両者の境界)。一般には、前者が滑らかであればすべり抵抗性は全体的に小さいものとなるのに対し、後者が滑らかであれば高速時のすべり抵抗性が小さくなるといわれている。

マクロテクスチャの測定方法としては砂を用いるものが一般的である。この方法として代表的なサンドパッチ法(砂拵大法)は、粒径150~300 μ mの乾燥砂をストレートエッジにより舗装表面に広げて、その面積からきめ深さを測定するものである。砂の代わりにガラスビーズを使用する場合もある。このほか、土研式粗さ計(図-15)もこれと同じ原理であるが、ガラス板との比較により路面のきめ深さを測定するようになっている。

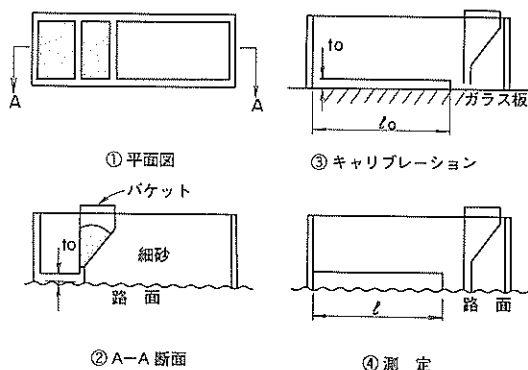


図-15 土研式粗さ計

2.4 管理基準

ICAO (International Civil Aviation Organization, 国際民間航空機関)は、滑走路が湿潤状態となった場合の航空機運行の安全性を確保するために種々の規定を設けている。¹⁰⁾まず、滑走路面の排水性を高めるために、その横断形状について中心線から両側に等しい勾配を設けるものとし、その値を路床CBRが8以上の場合には2%、8未満では1.5%としている。また、舗装面に水たまりが生じないように、全方向に対して3m定規を置いた場合に3mmより大きな凹部が生じてはならないとも規定している。わが国の場合、滑走路の横断勾配については、1.5%、2.0%(それぞれ滑走路長900m以上、900m未満)との規定がなされている¹¹⁾ほか、3mプロフィロメータによる平坦性についても、標準偏差がコンクリート舗装で0.2cm(機械施工)、アスファルト舗装で0.24cm以

内と規定されている¹²⁾。

さらに、ICAOは、排水性の向上を図るためにグルーピングを用いる必要がある場合には、滑走路の横断方向に設けることを規定し、その形状の例として3×3×25mm、6×6×31mm（幅×深さ×間隔）を挙げている。このグルーピングの設置基準として、FAA（Federal Aviation Administration, 米国連邦航空局）は、ジェット旅客機が就航する空港の滑走路では設置すべきとしている¹³⁾。その場合、グルーピングは、幅6mm、深さ6mm、間隔38mmの寸法で、滑走路全長にわたってほぼ全幅（端部より3m以内まで）に設置することと規定している。わが国の場合は、滑走路の幅員の2/3以上の範囲に全長にわたってグルーピングを施工することを原則としている。このグルーピングは図-16に示すように、幅6mm、深さ6mmの溝を32mm間隔で横断方向に設けるものである。

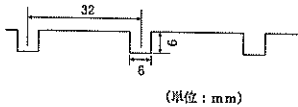


図-16 グルーピングの形状

このほか、ICAOは、舗装面のきめのうち、マクロテクスチャについて基準を設けている¹⁴⁾。すなわち、新設舗装においてきめ深さ（サンドパッチ法またはグリース法による）を1mm以上と規定している。わが国の場合は、道路舗装を対象として平均きめ深さで0.6mm以上と提案されている¹⁴⁾が、基準として整備されるまでには至っていない。なお、空港の場合はこの種の規定はない。

滑走路が湿潤時のすべり抵抗性について、ICAOでは表-1に示す規定を設けている（試験装置としてSFT、 μ メータのほか、スキッドメータ、フリクションテストを用いた場合）。FAAはすべり摩擦係数に関する基準値として表-2に示すものを用いている。すべり摩擦係数の測定時には、連続的に測定できる装置を使用するのが原則であるが、目視評価ときめ深さによってもよいとしている。表-3にわが国における管理目標値¹⁵⁾を示す。わが国においては従来は μ メータが使用されていたが、再現性の問題等のため近年SFTを使用していく方向に変わっている。

このほか、ハイドロプレーニングとの関連における滑走路のすべり抵抗性について基準を設けている例がある。それは、米国軍用飛行場に対するもの¹⁶⁾で、表-4に示すとおり、ハイドロプレーニングの起こる危険性を4段階に分けて基準値を示している（ μ メータ使用）。

表-1 ICAOによるすべり摩擦係数の国際基準

試験装置	設計時	補修時	水深 (mm)	速度 (km/h)	タイヤ
μ メータ	0.7	0.5	1.0	65	低圧
	0.64	0.4	1.0	95	
	0.65	0.45	0.5	130	
スキッドメータ SFT	0.7	0.5	1.0	65	高圧
	0.6	0.4		95	
	0.5	0.35		130	
スキッドメータ	0.8	0.67	1.0	65	低圧
	0.7	0.55		95	
SFT フリクションテスト	0.7	0.5	1.0	65	低圧
	0.6	0.4		95	

表-2 FAAによるすべり摩擦係数の基準値

試験装置	最小	補修計画	設計・新設	速度 (km/h)
μ メータ	0.42	0.52	0.72	65
	0.26	0.38	0.66	95
フリクションテスト	0.50	0.60	0.82	65
	0.41	0.54	0.72	95
スキッドメータ SFT	0.50	0.60	0.82	65
	0.34	0.47	0.74	95

表-3 わが国のすべり摩擦係数の管理目標値

試験装置	グルーピング		速度 (km/h)	タイヤ
	有	無		
μ メータ	0.6	0.5	60	—
SFT	0.55	0.45	95	低圧
	0.45	0.4	95	高圧

表-4 ハイドロプレーニングの危険性からみた基準

μ MM	すべり抵抗性	ハイドロプレーニング危険性
0.50 <	良	無
0.42 - 0.50	可	過渡的
0.25 - 0.41	限界	一部あり
< 0.25	不可	大

滑走路の接地帯部分では、航空機タイヤのゴムが付着することにより舗装表面のきめ深さが減少してしまう。たとえば、図-17¹⁷⁾に示した米国における滑走路接地帯部分と非交通部分のデータにみられるように、接地帯部分ではきめ深さが0.5mm以下にまで低下し、これによりすべり抵抗性も低下することとなる。具体的なデータとして、滑走路のすべり摩擦係数が着陸回数の増加につれて減少する状況を図-18¹⁷⁾に示した（滑走路全長にわたる平均値、カナダのデータ）。これらのことから、滑走路のすべり抵抗性は着陸回数の影響を受けることは明らかであり、現に、FAAは、表-5に示すとおり、すべり摩擦係数の測定頻度をジェット旅客機の着陸回数によって変えることとしている。

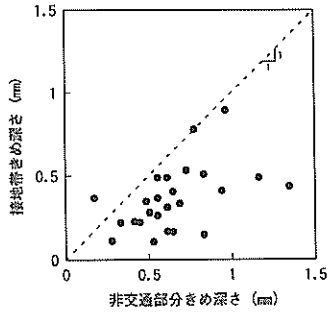


図-17 交通の有無ときめ深さ

表-5 すべり摩擦係数の測定頻度

日着陸便数	最小調査間隔
<16	1年
16 - 30	6ヶ月
31 - 90	3ヶ月
91 - 150	1ヶ月
151 - 210	2週間
210<	1週間

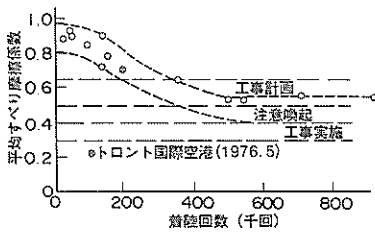


図-18 すべり摩擦係数の着陸便数に対する変化

測定されたすべり摩擦係数に応じた対処方法として、カナダは表-6に示す基準を設けている¹⁷⁾(65km/h走行時のスキッドメータによる測定値で、滑走路全長の平均値)。なお、150mの区間で0.30以下となれば何らかの回復作業が必要としている。このほか、ICAO、FAA、わが国の場合においても、前記の表-1、表-2、表-3に示すように、すべり抵抗の面からみて補修が必要となる場合の基準が整備されている。

舗装面のすべり抵抗性はその表面に付着しているタイヤゴムを除去することによって回復するものと考えられる。そのゴム除去作業を実施する時期について、 μ_{MM} (μ

表-6 すべり摩擦係数と対応方法

μ_{SM}	対応
0.65 <	不要
0.50 - 0.65	作業計画
0.40 - 0.50	管理者に報告
< 0.40	作業実施

メータによるすべり摩擦係数)が0.5以下にまで低下した時点とすることを提案している研究¹⁸⁾もある。なお、FAAでは、ゴム除去作業の頻度を着陸便数に応じて変えることにしている(表-7)。

表-7 ゴム除去作業の頻度

日着陸便数	ゴム除去間隔
<16	2年
16 - 30	1年
31 - 90	6ヶ月
91 - 150	4ヶ月
151 - 210	3ヶ月
210<	2ヶ月

3. 試験方法

滑走路のすべり抵抗性に影響を及ぼす要因を明らかにし、小型測定装置の有効性を検討するために、供用中の空港における現地調査と採取した試料を用いた室内試験を実施した。

3.1 現地試験

現地調査として、大阪航空局管内の複数の空港の滑走路において、SFTを用いたすべり摩擦係数を測定した。測定時には、SFTを時速95kmで滑走路の末端から末端まで滑走路中心線から片側5.5mの位置を3回往復走行させている。今回は測定輪に低圧タイヤを使用し、自蔵式散水装置を用いて舗装表面の水膜厚が1mmで一定になるようにして実施した(雨天時は避けている)。すべり摩擦係数は、滑走路の両端200mを助走区間として除いた中間部について100mごとに計測した。

このSFTに加えて、DFテスト、BPTといった小型測定装置を用いてすべり摩擦係数を測定した。このときは、舗装面に散水することにより湿潤状態を保持した。このような直接的測定法のほかに、土研式粗さ計によっても路面の平均きめ深さ*を測定している。また、目視により路面へのゴム付着、グルーピング溝のゴム目詰り、グルーピング形状の消失を5段階(1~5)に分けて評価した。

すべり摩擦係数の測定を行った空港は、大阪、名古屋、福岡、鹿児島、那覇の5空港である(表-8は測定方向・

* 平滑なガラス板上と供試体表面上の砂の広がり長さ(それぞれ l_0 、 l)から、 $l_0 \times \{(l_0 - l) / l\}$ により算定する(l_0 はガラス板上での砂層厚)

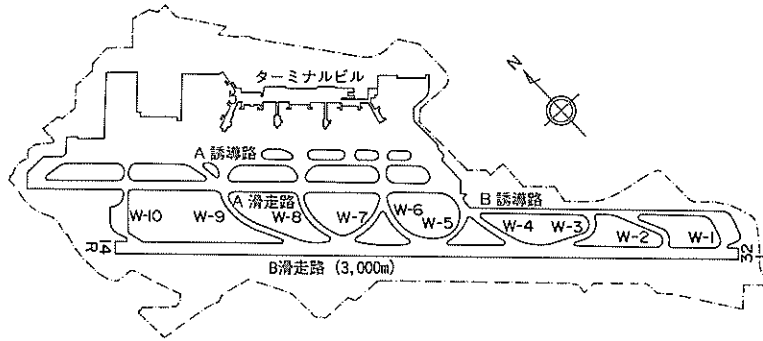


図-19 大阪国際空港平面図

表-8 SFTによる測定方法

空港	滑走路長 (m)	測定方向	表面温度 (°C)	
			冬季	夏季
大阪	3000	32→14	2.2	28.0
名古屋	2740	34→16	7.5	30.0
福岡	2800	34→16	-	26.9
鹿児島	3000	34→16	-2.5	25.0
那覇	3000	36→18	-	30.2

表-9 大阪国際空港における調査項目と時期

測定年月	表面温度 (°C)	SFT	DFT	粗さ	目視調査
1990. 2	4.0	○	-	○	○
1990. 6	23.8	○	-	○	○
1990.10	17.0	○	-	○	○
1990.12	7.0	○	-	○	○
1991. 3	2.2	○	-	○	○
1991. 8	28.0	○	-	○	○
1991.11	2.8	○	-	○	○
1992. 7	23.9	○	○	○	○
1993. 9	21.3	○	-	-	○
1993.10	18.5	○	-	-	○
1993.11	16.3	○	-	-	○
1993.12	6.7	○	-	-	○
1994. 1	8.6	○	-	-	○

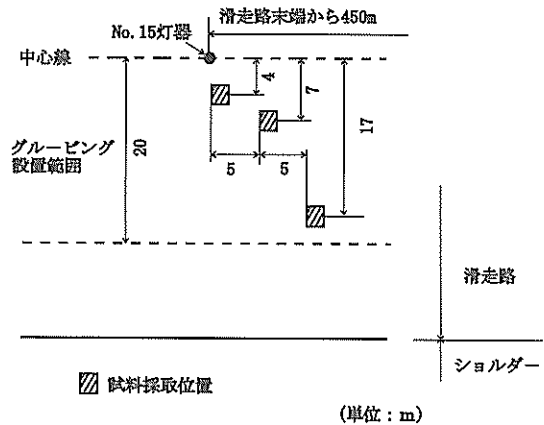


図-20 東京国際空港新A滑走路供試体採取位置

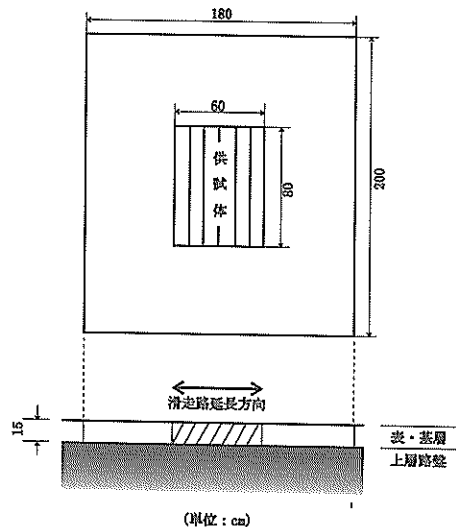


図-21 供試体の採取

表面温度)。そのうち、大阪国際空港においては詳細調査を実施し、異なった測定装置によるすべり摩擦係数の相関性、すべり摩擦係数ときめ深さ・目視調査結果との相関性について検証した。この調査は、図-19に示すB滑走路において実施した（調査の時期と試験項目については表-9にまとめた）。

3.2 室内試験

供用中の東京国際空港の新A滑走路の表・基層アスファルトコンクリート部分から供試体を切り出して、室内試験によりすべり摩擦係数を測定した。

(1) 供試体の採取

室内試験用供試体の採取位置は東京国際空港の新A滑走路の接地点標識近傍である。具体的には図一20に示すとおり、滑走路のグルーピングに航空機車輪のゴムがかなり目詰まりしている箇所、グルーピングに目詰まりの全くない箇所およびそれらの中間程度の目詰まりの箇所である。

供試体の寸法は、滑走路延長方向にみて長さ60cm×幅80cm×厚さ15cmである。採取時に供試体に損傷を与えないように、その周辺部を含めて長さ180cm×幅200cmの大ききで試料を切り出した(図一21)。

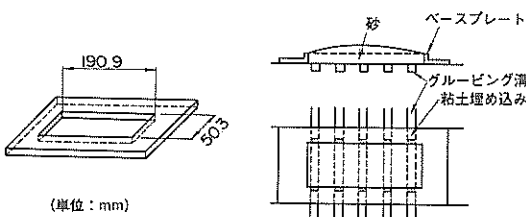
(2) グルーピング溝の目詰まり度の測定

供試体表面のグルーピング溝の目詰まり程度について、ベースプレートを使用する場合、砂拡大器を使用する場合の2つの方法により測定した。

前者では、図一22に示す中空の測定器(ベースプレート)を用いた。試験の手順は次のようになる。まず、ベースプレートを供試体中央部にグルーピング溝直角方向に設置し、標準砂をベースプレートの中空部に注ぎ込む。このとき、中空部外の供試体表面に砂が漏れないようにあらかじめ周囲のグルーピング溝に粘土を詰めておく。次に、ストレートエッジで中空部に入った砂を均して高さを調整したのち、ベースプレート上にこぼれた砂の質量を測定する。そして、中空部内に入った砂の質量を求め、その単位体積質量から容積を算出する。使用する標準砂は粒径0.15~0.3mmで、事前に単位体積質量ならびにその質量を測定しておく必要がある。目詰まり度は次式により求められる。

$$\text{目詰まり度} = \frac{V_a - V_b}{V_a} \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここで、 V_a 、 V_b は、それぞれ、目詰まりのない場合、あ



(単位：mm)

図一22 ベースプレートによる目詰まり度測定

る場合の供試体のグルーピング溝の容積である。

砂拡大器を使用した試験では2.で示した土研式粗さ計を用いた。この場合の目詰まり度は、供試体上での砂の広がり長さとガラス板上での広がり長さとの差からグルーピング溝に入った砂の容積を求め、上式により求められる。

採取した供試体の目詰まり度は表一10に示すとおりである。ベースプレートによる方法では平均目詰まり度は供試体1(目詰まり大)で23.3%、供試体2(目詰まり小)で20.1%、砂拡大器による方法ではそれぞれ19.4%、16.6%となっており、グルーピング溝の断面積がゴムの付着により減少していることがわかる。測定方法による同一供試体の目詰まり度の違いをみると、ベースプレート法が3%ほど大きくなっている。

表一10 目詰まり度測定結果

供試体	目詰まり度 (%)		平均きめ深さ (mm)
	ベースプレート	砂拡大器	
1	23.3	19.4	0.87
2	20.1	16.6	0.91
3	-	-	1.16

(3) すべり摩擦係数の測定

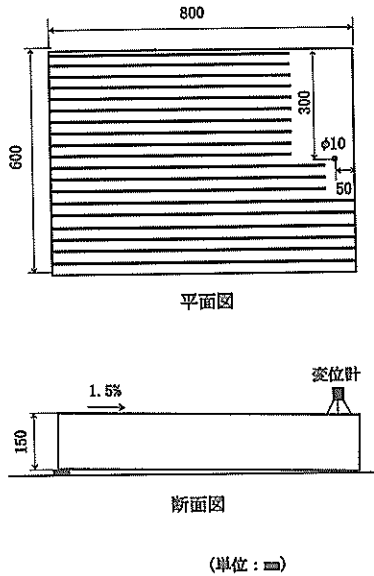
供試体のすべり摩擦係数を測定するために、2.で示したBPTとDFテストを用いた。なお、BPTによりグルーピング溝平行方向のすべり摩擦係数を測定する場合には、ラバーズライダが凸部に当たるようにして実施した。

試験条件は、以下のとおりである。

- ①供試体温度：5条件(10, 20, 30, 40, 50℃)
- ②水膜厚：3条件(1, 2, 3mm)
- ③測定方向：2条件(グルーピング直角・平行方向、BPTのみ)
- ④測定速度：2条件(65・80km/h, DFテストのみ)

(4) 水膜厚の測定

グルーピング溝の目詰まり程度が雨水の排水性に及ぼす影響について検討するために、上記の供試体を港湾技術研究所構内に据えて、降雨時の水膜厚を視測した。供試体は、図一23に示すように、その表面勾配が実際の滑走路の横断勾配(1.5%)と等しくなるように置き、供試体の低いほうの端部に水位計を設置して、表面凸部における水膜厚を計測した。また、供試体近傍に雨量計を設置して雨量を測定した。



図一23 供試体の設置

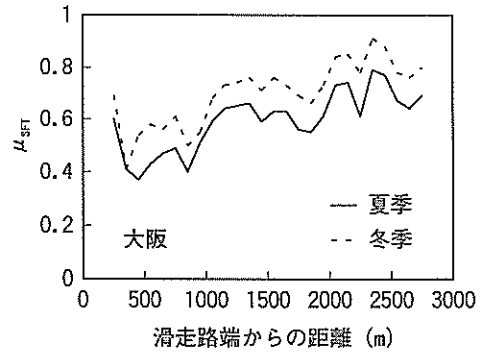
4. 試験結果と考察

舗装のすべり抵抗性は、湿潤時に問題とされるため、3. で記したようにすべり摩擦係数の測定は舗装面が湿潤状態の場合を対象として実施した。以下にその結果を示す。

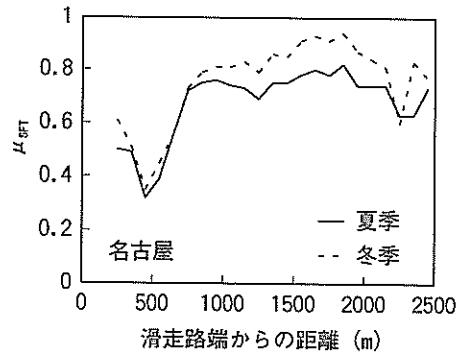
4.1 ゴム付着によるすべり抵抗性の低下

まず、大阪航空局管内の5空港、すなわち、大阪、名古屋、鹿児島、福岡、那覇の5空港でSFTにより測定した結果から、わが国の空港滑走路のすべり摩擦係数の現状について考察する。図一24、図一25、図一26、図一27、図一28には、5空港における測定結果を示した（大阪、名古屋、鹿児島空港については1991年3月と8月の時点でのデータであるが、福岡と那覇空港については8月のみのものである）。これらの図から、滑走路端から500m付近が他の部分に比較してすべり摩擦係数が3割から5割程度（値では0.2~0.4）小さくなっていることがわかる。この地点は接地点標識（滑走路端から300~360m）近傍にあたり、航空機着陸位置がこの接地点標識付近に集中していること¹⁹⁾から、航空機タイヤのゴムが付着していることがその原因と考えられる。写真一1、写真一2は、それぞれ、ゴムの付着がない場合、著しい場合の舗装の表面状態である。

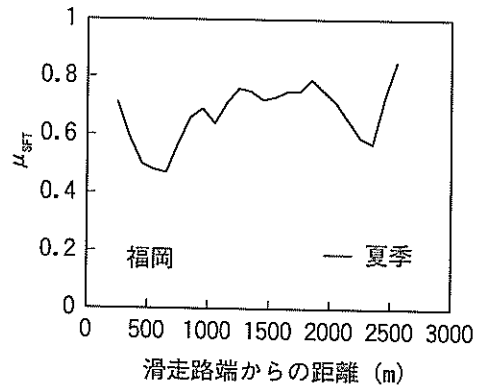
次に、このすべり摩擦係数の経時変化について大阪国際空港におけるデータを示そう。図一29は航空機の着陸によりタイヤゴムが付着すると考えられる接地帯付近、



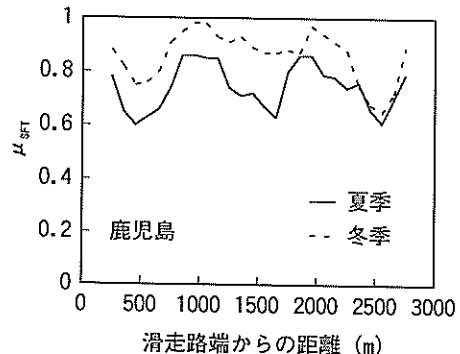
図一24 滑走路のすべり摩擦係数の現状（大阪）



図一25 滑走路のすべり摩擦係数の現状（名古屋）



図一26 滑走路のすべり摩擦係数の現状（福岡）



図一27 滑走路のすべり摩擦係数の現状（鹿児島）



写真-1 ゴム付着のない舗装表面

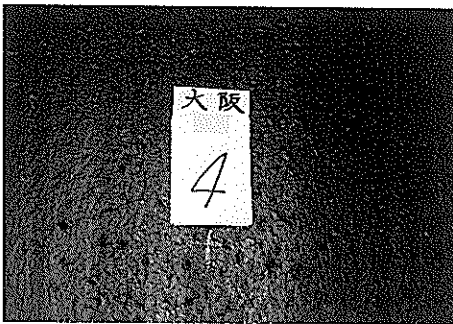


写真-2 ゴム付着の著しい舗装表面

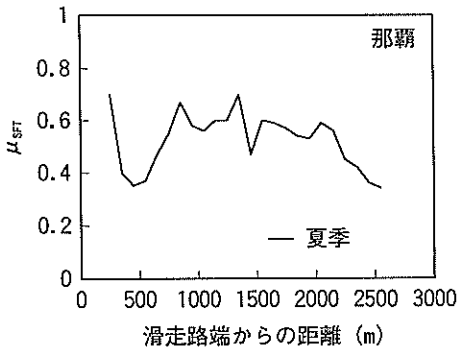


図-28 滑走路のすべり摩擦係数の現状 (那覇)

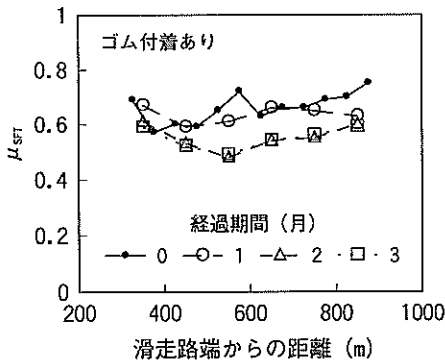


図-29 μ_{SFT} の経時変化 (接地帯)

図-30はそのような問題のない滑走路中間部でのデータである。滑走路中間部においてはグルーピング設置後約3.5年間(1990年6月~1993年11月)のデータがあるものの、接地帯付近ではゴム除去工事が行われたため作業後3箇月間(1993年10月~1994年1月)のデータしかない。なお、滑走路中間部のデータは舗装表面温度が $20 \pm 4^\circ\text{C}$ の範囲のものに限定してある。

これらの図から、接地帯ではゴム除去作業後に再びタイヤゴムが付着することによりすべり摩擦係数が最大で0.2程度低下すること、すなわち3割程度小さくなるのがわかる。これに対して、滑走路中間部ではすべり摩擦係数はあまり変化しないことがわかる(測定位置が必ずしも同一とはできないことからばらつきは大きい)。両者の違いは明らかにゴムの付着の影響によるものである。タイヤゴムの付着が着陸回数につれて著しくなることは、図-31から明らかである(わが国3空港の滑走路における接地帯付近の平均値で、1990年2月から約1年間のデータ)。

摩擦係数の経時変化としてDFテストによるものを図-32にまとめた(接地帯、ゴム除去後の経時変化)。3箇

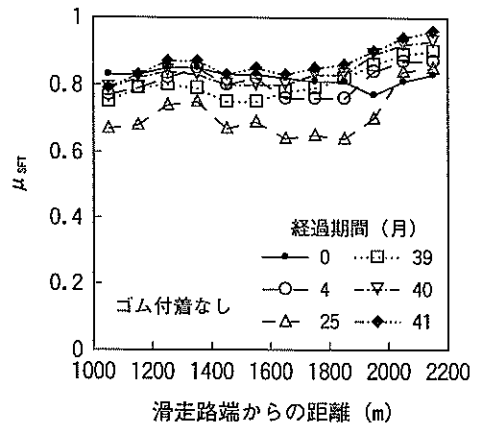


図-30 μ_{SFT} の経時変化 (滑走路中間部)

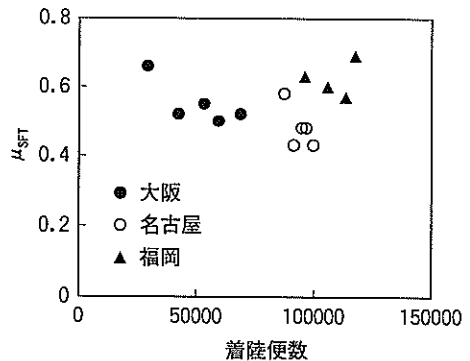
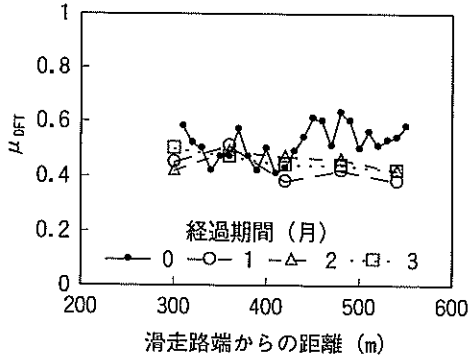


図-31 着陸回数とすべり摩擦係数



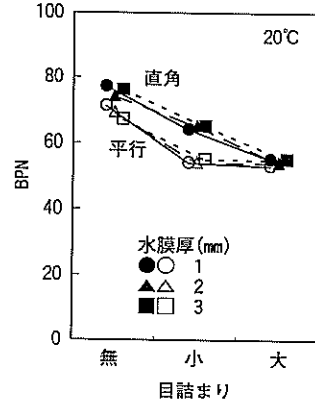
図一32 μ_{DFT} の経時変化

月が経過すると、すべり摩擦係数が3割程度 (μ_{DFT} では0.2程度)低下することがわかる。これは、上記のSFTによる測定においても認められたことである。

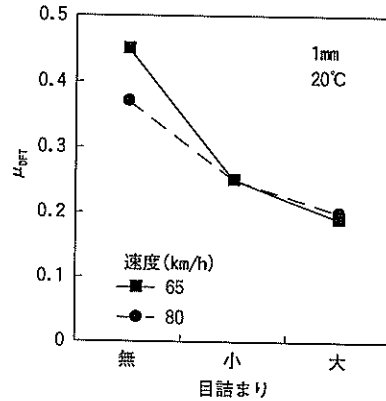
上記のように、滑走路面にゴムが付着することによりグルーピング溝が目詰まりして、すべり抵抗性の減少へと結びつく。図一33はBPNと目詰まり度の関係を示したものである(供試体温度20℃)。測定方向によらず、グルーピング溝の目詰まり度によってBPNが大きく変化することがわかる。グルーピング溝に平行方向のデータでは目詰まり度小と大の場合でBPNには明確な差が現れないことから、ゴムの付着量がある程度にまで達すればすべり抵抗性はその影響をあまり受けなくなるものと推察される。これに対して、直角方向の場合は平行の場合に比較して大きな値を示していることから、直角方向の測定値にはグルーピング溝があることによるマクロテクスチャの影響が現れているものと思われる。このことから、空港滑走路の横断方向にグルーピングを施工すれば、タイヤのゴムが付着した場合でもすべり抵抗性のある程度確保できるものと考えられる。

図一34は、グルーピング溝の目詰まり度とDFテストによるすべり摩擦係数 μ_{DFT} の関係をj示している(水膜厚1mm, 20℃)。測定速度によらず、目詰まり度が大きくなるほど μ_{DFT} が小さくなるjことがわかる。この低下度合は上記のBPTによるものよりも著しくなっている。測定速度が違jうことの影響をみると、目詰まりがない場合には速度が大きjいほど μ_{DFT} が小さくなるという2.で示した一般的な傾向が認められるものの、目詰まりが生ずると測定速度の違いはあまり影響を及ぼさなくなることがわかる。

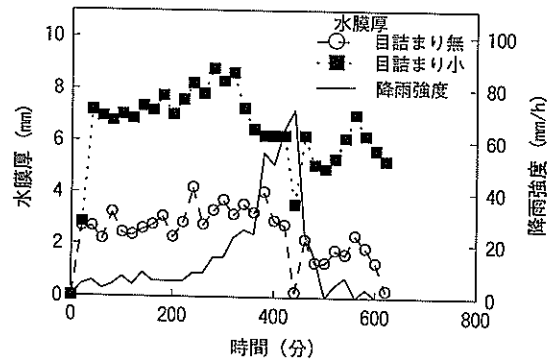
グルーピング溝の目詰まりは、言うまでもなく排水性の低下をもたらす。港湾技術研究所構内に置いた供試体により得られたデータからはその点が明らかとなっている。図一35は、最大降雨強度約70mm/hの降雨があった場



図一33 目詰り度とBPN



図一34 目詰まり度と μ_{DFT}



図一35 降雨強度と水膜厚(降雨量大)

合の水膜厚について示したものである。目詰まり度が小さい場合とない場合を比べると、前者のほうが8mmと後者の2倍程度の水膜厚となっていることから、目詰まりの影響が明らかにみられる。また、図一36は最大降雨強度が約10mm/hの場合について示したものである。降雨量が多い場合と同様に、この程度の降雨強度の場合で

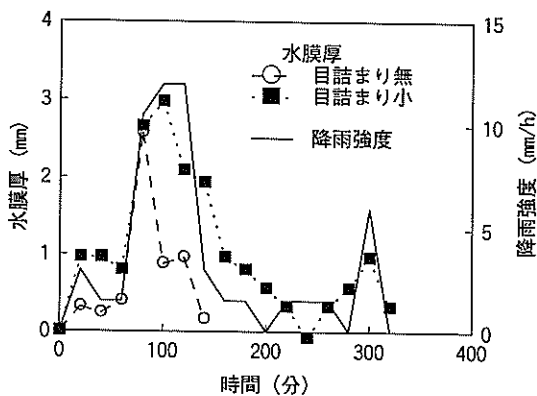


図-36 降雨強度と水膜厚 (降雨量小)

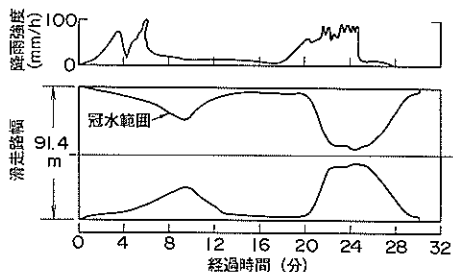


図-37 降雨強度と空港滑走路の横断方向冠水状況の関係

もグルーピングの目詰まり程度によって水膜厚に違いがみられる。

図-37²⁰⁾は、米国のケネディスペースセンター内の滑走路 (長さ4,372m, 幅91m) が荒天時に冠水した状況である (横断方向断面図)。このときの降雨強度は最大81 mm/hであり、滑走路には横断方向にグルーピングが設けられ、その排水性は良好であったにもかかわらず、このような状況となった。このことから、目詰まりがある場合には、これより小さい降雨強度であっても滑走路が冠水してしまう恐れが強いものと思われる。

グルーピングのある滑走路の排水性について検討するために構築された数値計算モデル²⁰⁾を使用して、グルーピング溝の目詰まりが今回の試験に用いた供試体程度となっている場合の排水性について検討してみた。計算条件は、滑走路幅60m (全幅グルーピング施工)、横断勾配1.5%、降雨強度80mm/hとし、グルーピング溝の間隔は32mmとした。なお、グルーピング溝の幅・深さは目詰まりなしの場合は6mmとしたが、それ以外については目詰まり度に応じて小さくしている (目詰まり度小、大の場合で5.74、5.64mm)。

図-38には、水膜厚が滑走路中心線からの距離に応じて変化する状況を目詰まり度別に示した。中心線から10

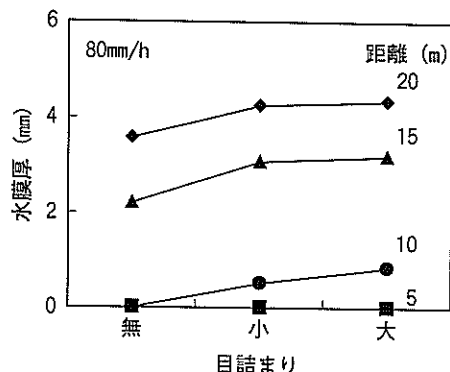


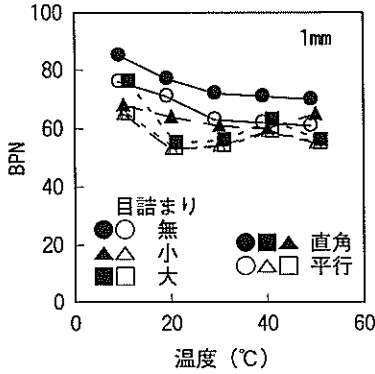
図-38 滑走路中心線からの距離と水膜厚 (計算値)

mの位置をみれば、目詰まりがない場合は冠水状態とはならないが、目詰まりがあれば1mm程度の水膜厚となるなど、目詰まり程度によって水膜厚が変わってくるということが明らかに認められる。なお、この結果は、今回の試験で得られた結果と数値的には一致しないものの、定性的には試験結果をある程度説明できるようである。

4.2 すべり抵抗性に対する影響因子

すべり抵抗性に影響を及ぼす要因として、まず、測定時の舗装表面温度の影響が挙げられる。大阪国際空港のデータを示した図-24、図-25からわかるように、夏季の測定値が冬季より1~2割 (値では0.1程度) 小さいものとなっている。冬季と夏季の測定において5箇月の差があるので、接地帯付近ではその間のゴム付着も無視できないであろうが、全体的にみれば舗装の表面温度の影響が大きく、夏季におけるすべり抵抗性の悪化が大きな問題となろう。今回の測定により得られた値を2.で示した基準値と比較すると、ICAOに従えば福岡、鹿児島空港以外で、また、わが国の管理目標値では鹿児島空港以外で滑走路面のすべり抵抗性を回復させる必要があることになる。

温度の影響について室内試験結果を示す。まず、BPNと供試体温度との関係を図-39に示した。グルーピング溝に目詰まりがない場合には、低温領域において温度が上昇することによりBPNが低下するものの、高温領域では変化は小さくなる。これは、タイヤの温度が40℃以上であればすべり摩擦係数がほとんど変化しなくなるという実験結果²¹⁾とはほぼ符合する。目詰まりがある場合は、温度が10℃から20℃に上昇する場合にBPNが大きく低下するものの、それ以上の高温領域ではほとんど変化しなくなることがわかる。

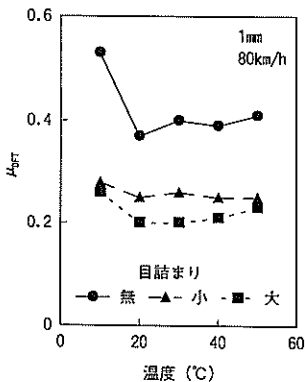


図一39 温度とBPN

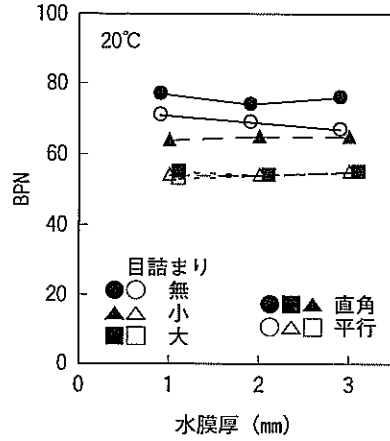
DFテストによるものについては図一40に示した。測定温度が10℃の時点では大きな値を示していた μ_{DF} は、温度が上昇すれば低下し、しかも高温領域ではほぼ一定値となることがわかる。この点は目詰まり程度にかかわらず認められるが、 μ_{DF} の値そのものには目詰まりによる違いがみられ、ゴムが付着することにより大きく減少することがわかる。

図一41、図一42にBPN、 μ_{DF} と供試体表面の水膜厚の関係を示す。1～3mmの範囲ではあるが、すべり抵抗性は水膜厚の影響をほとんど受けないことが明らかである。水膜厚の影響は測定速度が大きいほど顕著であるといわれている²²⁾が、今回の試験では明確な差はみられない。

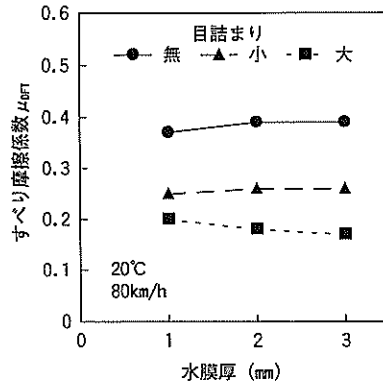
以上のことから、ゴムが付着した舗装では高温になるとすべり摩擦係数が極端に低下するので、夏季の降雨時にはすべり抵抗性が著しく低下することが懸念されよう。しかし、ゴムを除去することによるすべり抵抗性の回復傾向も顕著に認められる。なお、今回試験を実施した1～3mmの範囲では、水膜厚はすべり抵抗性に影響性を及ぼすことはないようである。



図一40 温度と μ_{DF}



図一41 水膜厚とBPN



図一42 水膜厚と μ_{DF}

4.3 すべり抵抗性の回復策

すべり抵抗性を回復するための方策としては、以上のようにより、ゴムを除去することが有効である。ゴム除去前後のすべり摩擦係数の変化について、大阪国際空港においてSFTにより測定した結果を図一43に示した(1993年10月測定)。ゴム除去前は0.7程度であったものが、除去後は0.8程度にまで15%ほど回復することから、ゴム除去の効果は顕著であることがわかる。同様に、DFテストによる測定結果を図一44、図一45に示す。全体的にみてゴム除去を行うことによりすべり抵抗性が回復することが明らかであるが、工法による効果の違いも顕著である。すなわち、通常行われている常温水を使用する場合に比べ、温水を用いるもののほうがゴム除去効果が高くなっている。

ゴムが付着していない箇所の μ_{DM} が0.5に達してなければ、ゴムが付着している箇所ではゴム除去作業を実施したとしてもすべり抵抗性は回復しないことが指摘され

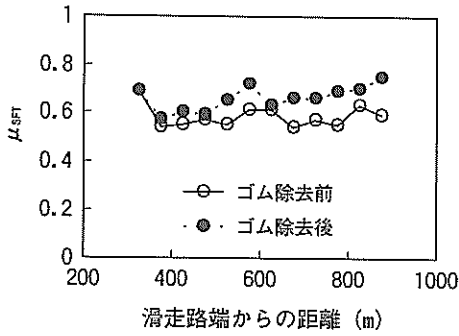


図-43 ゴム除去前後の μ_{SFT}

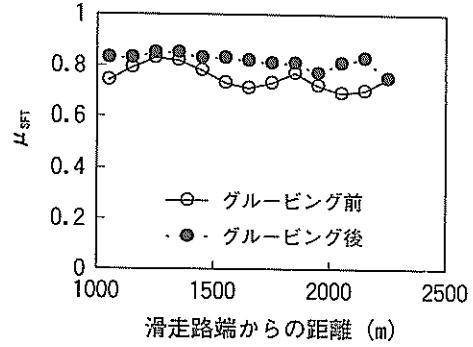


図-46 グルーピング施工前後の μ_{SFT}

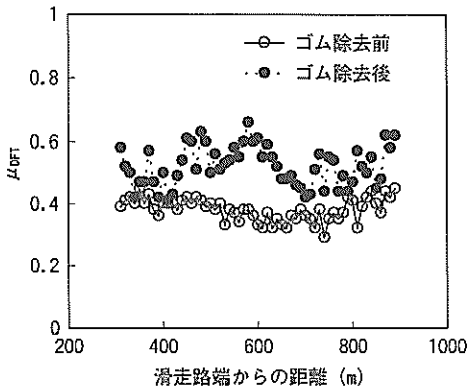


図-44 ゴム除去前後の μ_{DFT} の分布

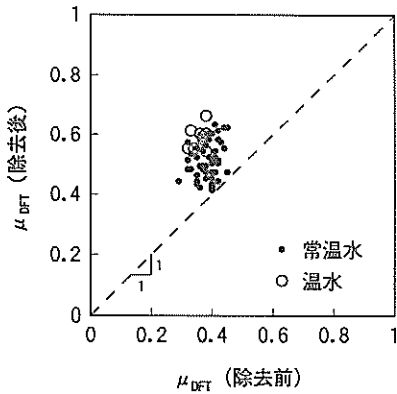


図-45 ゴム除去工法と μ_{DFT} の回復状況

ている¹⁸⁾。オーバーレイ工事を実施したばかり等でグルーピングを施工できていない場合には、グルーピングを設置することによるすべり抵抗性の向上が期待できる。すなわち、図-46からわかるように、グルーピングを設置することにより0.1程度すべり摩擦係数が増加するようである(大阪国際空港滑走路中間部において1990年2・6月測定)。

4.4 すべり抵抗性の簡易測定方法

2. で述べたように、空港滑走路面のすべり抵抗性については車両による測定値について基準が設けられている。しかし、この測定方法が煩雑であることから、測定方法が簡便なもの有用性について検討した。

まず、BPT、DFテストとSFTを用いて1992年7月に大阪国際空港で実施した測定結果について比較・検討した(舗装表面温度は24℃であり、BPTはグルーピング溝と直角方向に測定した)。図-47には、滑走路延長方向でのSFTによる測定値(μ_{SFT})とBPT、DFテストによる測定値(BPN、 μ_{DFT})についてまとめている。また、 μ_{SFT} とBPN、 μ_{DFT} 、それぞれの相関係数について図-48に示した。これから、前者が0.49、後者が0.82と μ_{SFT} に対する相関性に関して明らかな違いがみられ、DFテストとSFTの相関性が高いことがわかる。

DFテストとSFTによるすべり摩擦係数については、1992年7月から1994年1月までの全データを図-49にまとめた。この図から、ゴム付着の有無によるすべり摩擦係数の違いは、SFTよりもDFテストによるもののように明確に現われていることがわかる。この場合の相関係数も0.72となっている。

図-50、図-51には、それぞれ、SFT、DFテストにより測定したすべり摩擦係数と土研式粗さ計により測定した舗装表面の平均きめ深さの関係を示している。きめ深さ大きいほうがすべり摩擦係数も大きいという傾向は認められるが、両者の関係は一義的には定められないようである。

目視調査による評価点とすべり摩擦係数の関係について図-52、図-53、図-54にまとめた。点数の高いほど、すなわち、状態の悪いほどすべり摩擦係数が小さくなる傾向は認められるが、上記のきめ深さと同様に、一義的には定められない。

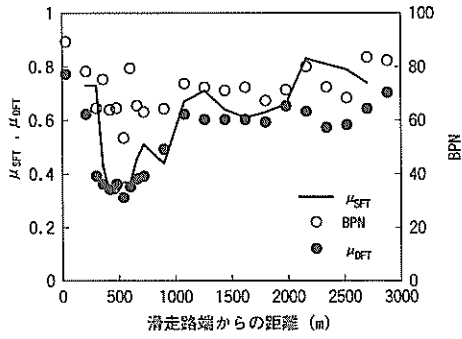


図-47 μ_{SFT} , BPN, μ_{DFT} の比較

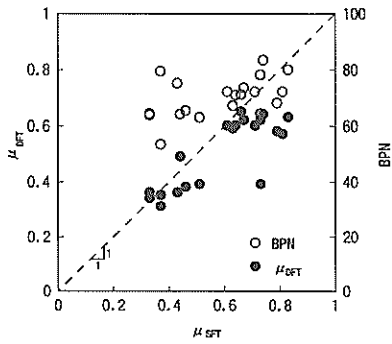


図-48 μ_{SFT} , BPN, μ_{DFT} の相関性

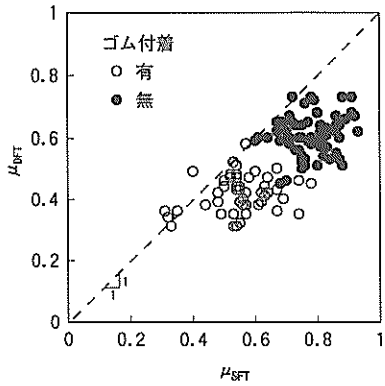


図-49 μ_{SFT} と μ_{DFT} の相関性

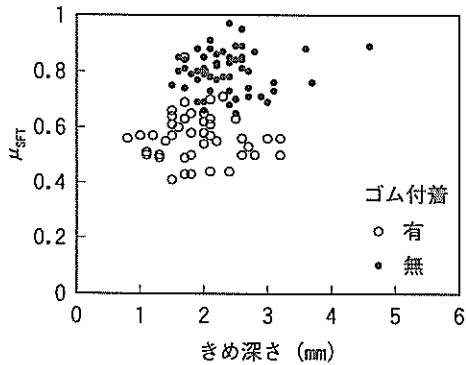


図-50 μ_{SFT} と平均きめ深さ

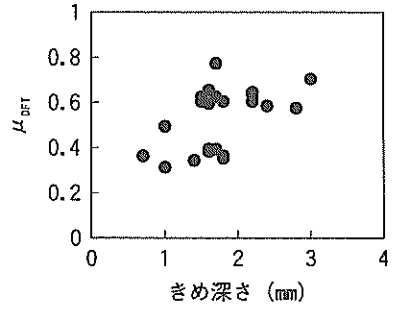


図-51 μ_{DFT} と平均きめ深さ

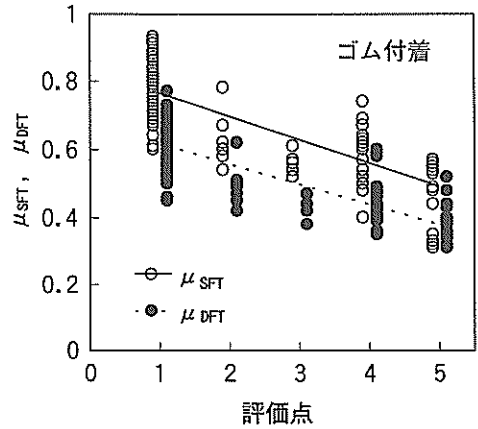


図-52 目視評価 (ゴム付着)

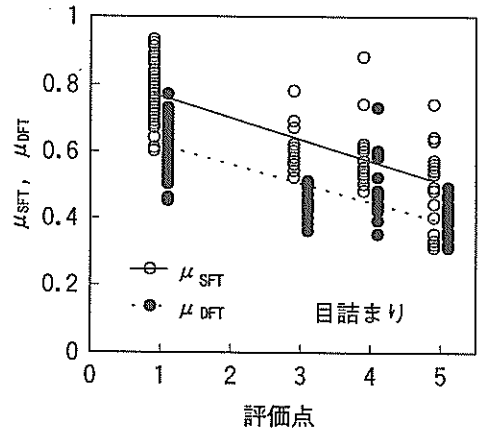
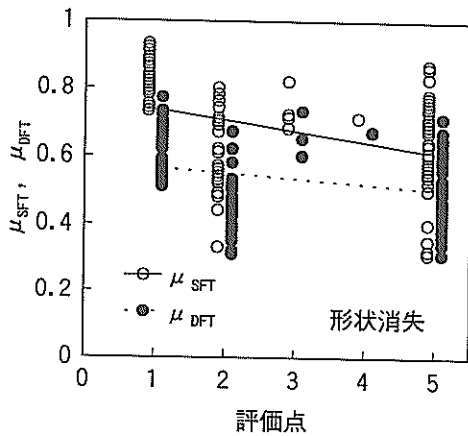


図-53 目視評価 (目詰まり)



図一54 目視評価 (形状消失)

以上のことから、ゴム除去作業の合否判定時等でSFTによらずに測定しやすい小型測定装置を用いる場合には、DFテストの有用性が高いものと結論づけられる。きめ、目視評価によることは難しいであろう。

5. まとめ

滑走路のすべり抵抗性に関する一連の試験から、次のような結論が得られた。

- (1) 航空機の着陸が集中する滑走路の接地帯付近では、航空機タイヤのゴムが付着し、ゴム除去後数箇月経過するとサブフリクションテスト (SFT) によるすべり摩擦係数 μ_{SFT} でみて最大3割程度 (値で約0.2) 低下する。
- (2) ゴムが付着している滑走路接地帯付近と付着していない滑走路中間部の μ_{SFT} を比較すると、前者が3割から5割程度 (値では0.2~0.4程度) 小さくなっている。
- (3) ゴム付着の有無によらず、舗装温度によりすべり抵抗性は変化し、 μ_{SFT} でみれば、夏季は冬季に比べて1~2割 (値で約0.1) 小さくなっている。ただし、ゴムが付着している場合にはその差は小さい。
- (4) ゴムが付着することによりグルーピングの目詰まりが進行して、排水効果は低下し、降雨時の水膜厚は増加する。水膜厚が3mm以下の範囲ではすべり摩擦係数は大きく変化しない。
- (5) すべり抵抗性の回復策としてはゴム除去が有効で、これにより μ_{SFT} でみれば15%程度 (値で約0.1) 増加する。
- (6) ゴム付着によるすべり抵抗性は小型試験装置でも把握できる。すなわち、ゴムの付着により、BPTによる測定値BPNでは20程度、DFテストによる測定値 μ_{DF} では

0.2程度の低下がみられる。このうち、DFテストはSFTと相関性が良好である。

6. あとがき

本資料では湿潤状態における空港滑走路のすべり抵抗性についてとりまとめた。滑走路は、航空機タイヤのゴムがその表面に付着することが他の基本施設との大きな違いであり、舗装表面が高温となっている状態で降雨があった場合のすべり抵抗性の著しい低下が懸念される。その対策としてはゴムを除去することが最善であるが、その時期としては舗装温度が高い夏季とすべきである。また、使用頻度の高い空港滑走路では夏季に2~3ヶ月を置いて2度実施することを検討する必要もあろう。なお、すべり抵抗性の日常管理やゴム除去作業の検査は、DFテストを使用することにより簡略化できよう。

本資料の取りまとめに際しては港湾局技術課石原弘一補佐官 (元計画設計基準部主任研究官) の助力を得ました。また、東京国際空港からの試料採取に際して東京航空局東京空港事務所の協力を得ました。両者に対して深く感謝します。
(1996年6月28日受付)

参考文献

- 1) Bergman, W.: Skid Resistance Properties of Tires and Their Influence on Vehicle Control, Transportation Research Record, No.621, pp.8-18, 1976.
- 2) Schulze, K.H., Gербaldi, A. and Chavet, J.: Skidding Accidents, Friction Numbers, and the Legal Aspects Involved Report of the Piarc Technical Committee on Slipperiness and Evenness, Transportation Research Record, No.623, pp.1-10, 1976.
- 3) 酒井秀夫: タイヤ工学, グランプリ出版, 426p., 1987.
- 4) 市原 薫, 小野田光之: (新訂版) 路面のすべり-道路・滑走路・床面-, 技術書院, 147p., 1986.
- 5) Agrawal, S.K. and Henry, J.J.: Technique for Evaluating Hydroplaning Potential of Pavements, Transportation Research Record, No.633, pp.1-7, 1977.
- 6) Pelloli, R.: Road Surface Characteristics and Hydroplaning, Transportation Research Record, No.624, pp.27-32, 1976.
- 7) 南雲貞夫, 西谷 晃: 2・3の試験舗装における表層

- 工種とすべり抵抗係数, 土木技術資料, 9-12, pp.41-48, 1967.
- 8) Sacia, S.R.: The Effect of Operating Conditions on the Skid Performance of Tires, Transportation Research Record, No.621, pp.126-135, 1976.
 - 9) Horne, W.B.: Status of Runway Slipperiness Research, Transportation Research Record, No. 624, pp.95-121, 1976.
 - 10) ICAO: Airport Services Manual, Part 2, Pavement Surface Conditions, 1984.
 - 11) 運輸省航空局: 空港土木施設設計基準, 勸航空振興財団, 1989.
 - 12) 運輸省航空局: 空港土木工事共通仕様書, 勸航空振興財団, 1993.
 - 13) Federal Aviation Administration: Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-resistant Airport Pavement Surfaces, AC150/5320-12B, 1991.
 - 14) 溝口 忠, 小野田 光之: 路面の粗さとすべり抵抗, 土木技術資料, 13-6, pp.283-287, 1971.
 - 15) 勸航空保安協会: 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, 101p., 1986.
 - 16) Ballentine, G.D., Burk, D.O.: USAF Standard Skid Resistance Testing Implementation, Transportation Research Record, No.622, pp.65-71, 1976.
 - 17) Levitski, W.V.: Transport Canada Runway Coefficient of Friction Operational Record, Transportation Research Record, No.622, pp.100-104, 1976.
 - 18) Lenke, L.R., Graul, R.A.: Development of Runway Rubber Removal Specifications Using Friction Measurements and Surface Texture for Control, ASTM, STP929, pp.72-88, 1986.
 - 19) 八谷好高, 梅野修一: 航空機走行位置分布の実態と舗装構造への影響, 港湾技研資料, No.757, p.25, 1993.
 - 20) Reed, J.R., Kibler, D.F. and Proctor, M.L.: Analytical and Experimental Study of Grooved Pavement Runoff, DOT/FAA/PM-83/34, 65p., 1983.
 - 21) 市原 薫: すべり摩擦係数の温度および速度との関係について, 土木技術資料, 8-10, pp.499-503, 1966.
 - 22) 樺島 積: 路面性状とすべり摩擦抵抗—主として速度特性について—, 舗装, 17-3, pp.3-8, 1982.

港湾技研資料 No. 846

1996. 9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 昭和工業写真印刷所

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan

Copyright © (1996) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。