

那覇空港増設滑走路のすべり抵抗性の向上について

森 晴夫*・菊地 洋二**・前里 尚***・福岡 知久****・菅野 雄一*****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 調査役

*** 内閣府 沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所 那覇空港新滑走路整備推進室 調査課長

**** 日本工営(株) 社会システム事業部 事業部長

***** 復建調査設計(株) 東京支社 第一技術部 地盤環境課 課長

那覇空港は、滑走路増設事業で第2滑走路の築造が進められている。埋立工事が完了した工区では、アスファルト舗装の基層工が着手されており、表層工は平成31年度に実施される予定である。現空港の滑走路は、最終の大規模舗装改良から16年程度経過し、滑走路面のひび割れや変形及び走行安全性の低下が見受けられ、非常に過密な離着陸状況の中で、時間を確保し維持工事が行われている。増設後も引き続きメンテナンスでの制約は継続されるため、増設滑走路のアスファルト舗装においては、安全性を向上し続けることが重要と考えられている。本報告では、滑走路の安全性の一つである「すべり抵抗性」について、アスファルト舗装の骨材に着目し、現空港で使用されている石灰岩の代替材として硬質砂岩を取り上げ、各比較試験からすべり抵抗性の向上について報告する。

キーワード：滑走路，アスファルト舗装，すべり抵抗性，石灰岩，硬質砂岩，SFT，BPN

1. はじめに

那覇空港は、沖縄県那覇市に立地、沖縄の玄関口として国内外各地と沖縄とを結ぶ拠点空港であるとともに、沖縄県内離島と沖縄本島を結ぶ沖縄地域のハブ空港としても重要な役割を果たしており、主要空港となっている。

2016年度に民間機的那覇空港への着陸回数が、右肩上がりで増加しており前年度比5.7%増で、年間8万回台に突入している。離着陸回数としては、年間16.6万回以上となり、那覇空港の1本の滑走路で航空機が安定的に発着できる能力(年間13.5万回)を上回る過密運用が進んでいる。このため、第2の滑走路の建設が進められている。しかし、離着陸状況は改善されるものの24時間運用や自衛隊機の緊急発進など運用面から引き続き滑走路のメンテナンスでの制約は継続されると予想される。

現在、増設滑走路は護岸工事が完成し、埋立工事が完了した工区ではアスファルト舗装(As舗装)の基層工が着手されている。As舗装の表層工は平成31年度に実施される予定である。このAs舗装の表層工には、メンテナンスの制約から維持工事の時間確保が難しいことが予想されるため、安全性に係る「すべり抵抗性」を向上することが重要と考えられている。

本稿では、現滑走路のAs舗装で使用されている骨材(石灰岩)に着目し、その代替骨材として硬質砂岩を取り上げ石灰岩と比較検討を行い、すべり抵抗性の向上効果を確認したので報告する。

2. 現滑走路のすべり抵抗性について

現滑走路は、滑走路の維持工事が頻繁に行われているが、すべり抵抗性の低下などが懸念されている。

2.1. 現滑走路の整備状況

(1) 舗装種別

舗装は、図-1のようにAs舗装が基本で、A1～A4誘導路、E1誘導路の一部はPPC舗装に改良されている。

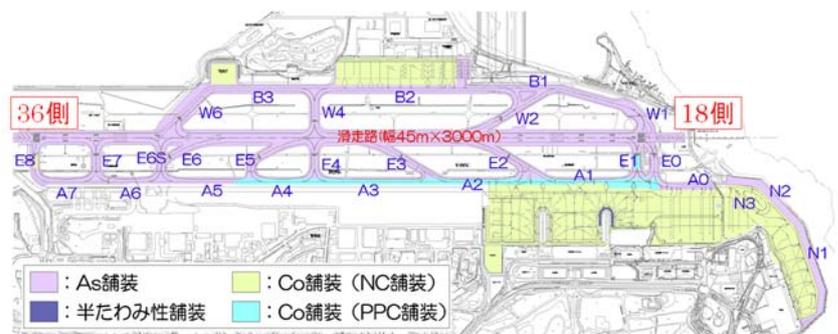


図-1 舗装種別平面図

また、エプロンはNC舗装である。

(2) 運用形態

現滑走路の利用比率は、18側:36側=4:6(H28年度)であり、18運用時はE0, E1, E4~E6誘導路が、36運用時はE2, E8誘導路の利用が多い。

(3) 整備履歴

現滑走路の改良は、南側端部で平成13年度、その北側範囲は平成16~17年度に行われており、改良から約12~16年が経過している。

(4) 点検・補修状況

平成28年度に実施した現滑走路の路面性状調査で「ひび割れ」、「わだち掘れ」、「平坦性」が計測されており、図-2に路面性状評価値PRI(舗装補修指数:Pavement Rehabilitation Index)を示す。滑走路の18側末端でPRIが早期の補修が必要なCランクであり、中間部付近にB2ランクがある。A誘導路はPRIがA~B3ランクである。B誘導路は、B1~B2誘導路においてPRIがB2~B3ランクである。異常が確認される施設は滑走路の両端、A誘導路や末端取付誘導路の付近に多く、また交通量が多く、低速走行する荷重条件と一致する。

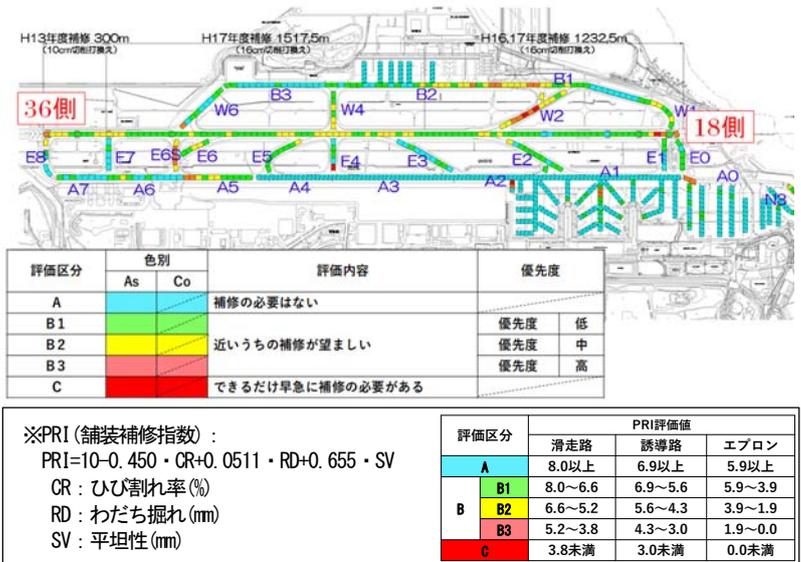


図-2 路面性状調査結果 (PRI) (平成28年度)

2.2. 現滑走路のすべり抵抗性について

(1) 現滑走路のすべり抵抗性

現滑走路のすべり抵抗性について、専用の車両(SFT: Surface Friction Tester)によるすべり摩擦係数(以下「 μ SFT」とする)の測定が2カ月に1回のペースで実施されている。測定は、図-3に示すように滑走路の中心線から左右3測線(航空機の輪跡部に相当する±5.0m, 5.5m, 6.0m)を往復走行して行われ、3測線の平均値をL側, R側の μ SFTとしている。滑走路の中間部は往復走行の平均を、滑走路の両端は測定車両の加速減速の区間各200mを除く片方向の測定結果で評価している。

図-3から「空港舗装補修要領(平成29年改訂)(航空局)のSFTで測定したすべり摩擦係数が評価基準(以下、「SFT評価基準」とする)以下となるのは、滑走路両端の接地帯標識範囲で見られた。SFT評価基準は、ゴム除去等の処置の検討を行う値で、滑走路の最低摩擦レベルとは

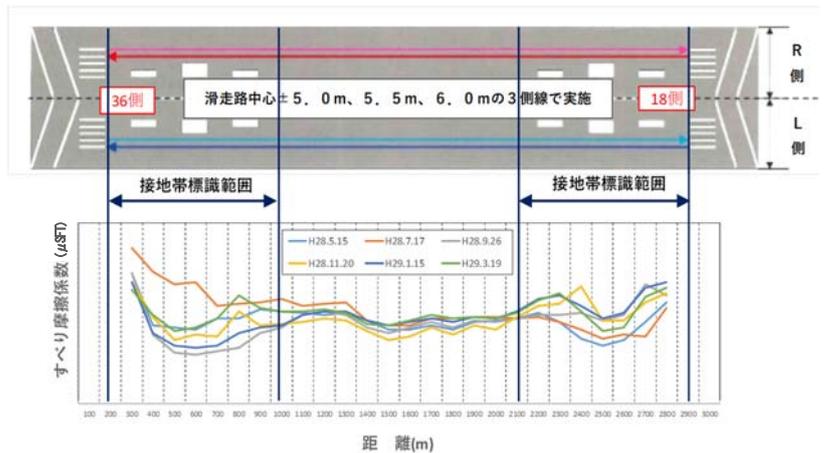


図-3 現滑走路のすべり摩擦係数(μ SFT)

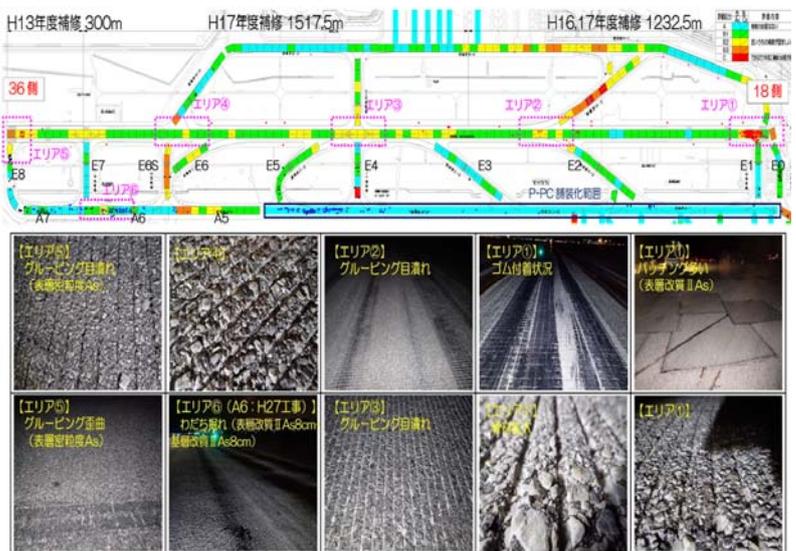


図-4 現地調査(路面状況)

異なる。

(2) すべり抵抗性の低下要因

すべり抵抗性の低下として通常であればゴム付着やグルーピングの溝の潰れが要因に想定されるが、現滑走路面の状況を確認するため、すべり抵抗性が低い、使用頻度が高い、緊急補修が多いところに着目して現地踏査を実施した。図-4に現地踏査時の路面状況と踏査エリアの補修状況を示す。また現滑走路の過年度の改良工事のAs舗装では、名護市産の石灰岩を骨材として使用していた¹⁾。一方、沖縄県内のAs舗装の道路では、舗装路面のすべりの問題があることから内地産の硬質砂岩が使用されている事例があり、硬質砂岩の混入比率が多い程、すべり抵抗性が高くなる傾向が示されている²⁾。

以上のことより、As舗装のすべり抵抗性の低下の要因として以下のことが考えられる。

- ・現地踏査からグルーピングの目潰れや流動、石灰岩の骨材が舗装表面に剥き出し(アスファルトにより被覆されていない)になっていること。
- ・表層のアスファルト混合物に石灰岩を使用していること。

3. すべり抵抗性の向上について

As舗装のすべり抵抗性の向上について、現滑走路で使用されている骨材の代替骨材として硬質砂岩を取り上げ、図-5に示す実施フローで確認した。

まず、骨材自体のすべり抵抗性を比較するために促進研磨試験を行いすべり抵抗値を振り子式スキッドレジスタンステスト (BPT : British Pendulum Tester) により測定した。次に両骨材をそれぞれ配合したアスファルト混合物で回転式ラベリング試験を行いすべり抵抗値をBPTにより測定した。さらに回転ラベリング試験のすべり

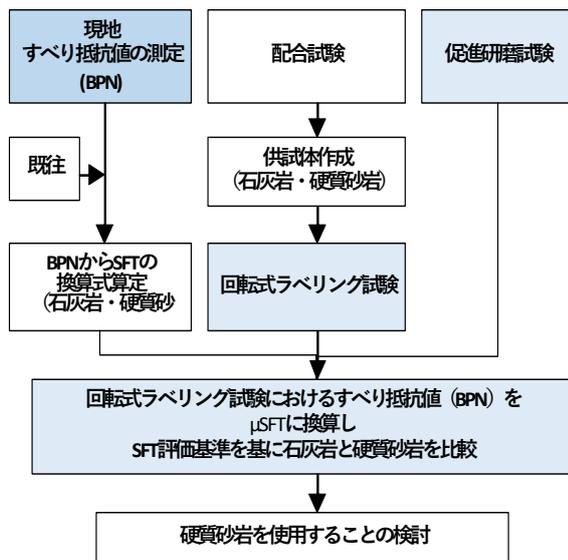


図-5 実施フロー

抵抗値を SFT 評価基準と比較するため SFT のすべり摩擦係数 (μ SFT) に換算し両骨材を評価した。なお換算のために現滑走路の SFT による測定箇所と同箇所ですべり抵抗値をBPTにより測定した(図-17 参照)。

3.1. すべり抵抗性の確認試験

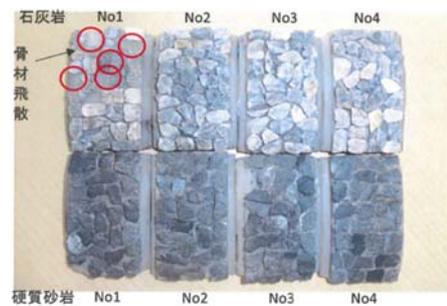
(1) 粗骨材の促進研磨試験

石灰岩と硬質砂岩に対して粗骨材の促進研磨試験を実施した。試験方法は「舗装調査・試験法便覧(第2分冊)A006」に準拠した。図-6にエメリー砂による促進研磨状況、図-7に促進研磨後の供試体、図-8に促進研磨後のBPTによるすべり抵抗値(BPN:British Pendulum Number)の測定状況を示す。

促進研磨試験結果を図-9に示す。研磨前と比較して、BPNは、硬質砂岩では27%、石灰岩では51%低下した。研磨前は硬質砂岩と石灰岩のBPNの差は僅かであるが、研磨後のBPNは硬質砂岩に比べて石灰岩は31%低い。



図-6 エメリー砂による促進研磨状況



(上: 石灰岩, 下: 硬質砂岩)

図-7 促進研磨後の供試体



図-8 促進研磨後のBPN測定

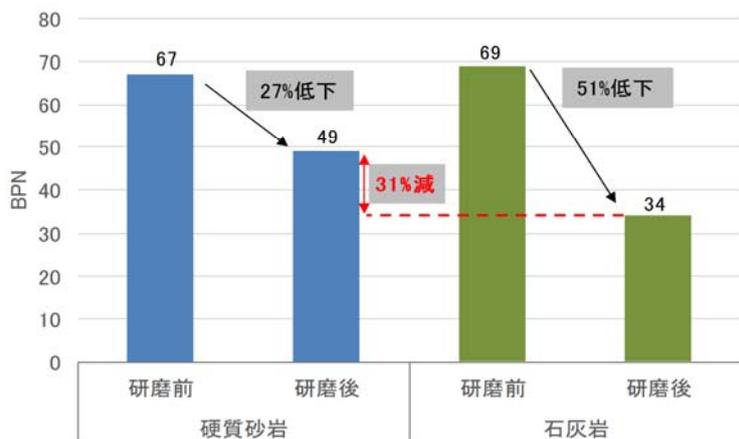


図-9 促進研磨試験結果

(b) 回転式ラベリング試験による摩耗促進後のすべり抵抗値試験

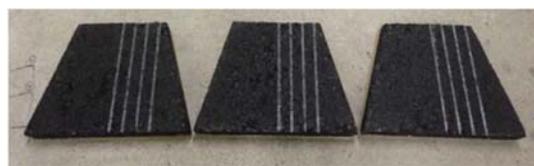
図-13に示す回転ラベリング試験機で回転走行し、図-14のように一定回数走行毎にBPTによりすべり抵抗値(BPN)を測定した。走行回数は最大50万回とした。なお、グルーピング有りすべり抵抗値の試験は、グルーピング方向に直角になる方向で行った。

(2) 回転式ラベリング試験

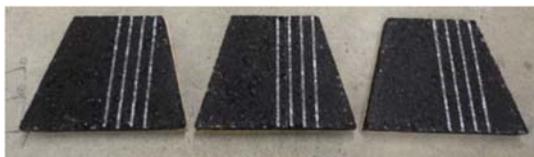
As 舗装供試体のタイヤによる摩耗を強制的に促進させた状態でのすべり抵抗性を把握するために、回転式ラベリング試験を実施した。

(a) 供試体作成

「配合試験」で設定した2種類の表層材料(石灰岩、硬質砂岩)の配合仕様(「空港土木工事共通仕様書」の規格値を満足し、かつ、プリスタリング抵抗性を高めるために空隙率をできる限り高めとなるよう硬質砂岩で5.2%、石灰岩で5.1%とした)により、図-10に示すローラーコンパクターを用いて供試体を作成した。供試体のサイズは、図-11に示すように使用する試験機の仕様により、幅300mm×長辺402mm×短辺241mmとし、供試体個数は、3個/1材料×2材料の計6個とした。また、舗装面の半分には、図-12に示すようにグルーピングを設けた。



(硬質砂岩)



(石灰岩)

図-12 試験供試体



図-10 ローラーコンパクター

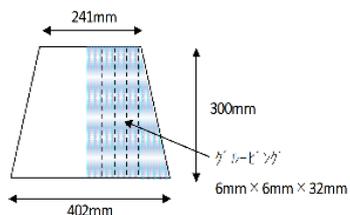


図-11 供試体形状

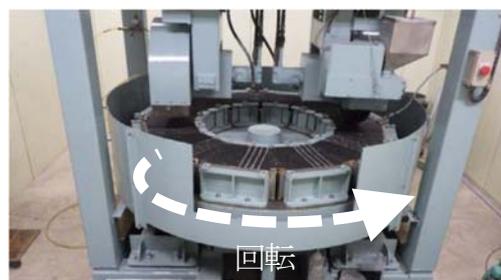


図-13 回転式ラベリング試験状況



図-14 すべり抵抗値(BPN)試験

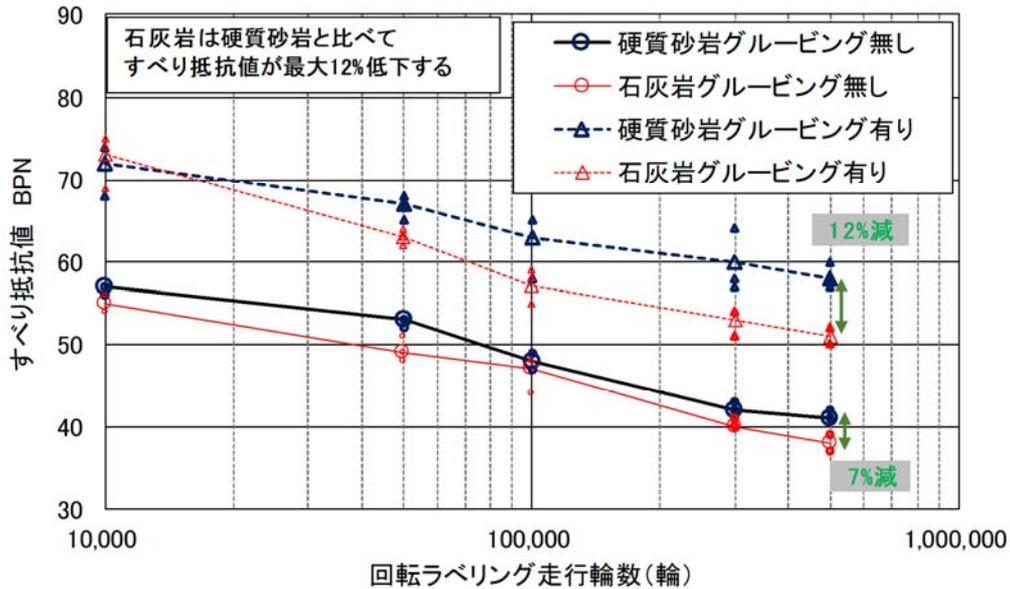


図-15 走行輪数とすべり抵抗値(BPN)の関係



図-16 すりへり状況(50万輪)

回転ラベリング走行輪数(輪)とBPNの関係を図-15に示す。BPNは、輪数の増加と共に低下する傾向を示した。石灰岩は、硬質砂岩と較べてBPNが低くグルーピング有りのケースで最大で約12%低下した。グルーピング有りのケースは、グルーピング無しの場合よりも硬質砂岩と石灰岩の差が大きかった。これは図-16の輪数50万輪での供試体の表面状況に見られるようにグルーピングの角が繰り返し走行により削れて、グルーピング無しのケースよりも骨材がむき出しとなったため、骨材の差による影響が表れたと推察される。

加して実施した。現地すべり抵抗性試験結果の比較を表-1に示す。測定結果より、①輪跡部は非輪跡部より値が低い、②非輪跡部は縁端帯より値が高い、③縁端帯(供用12~13年)は補修跡(供用1~6ヶ月)と比較して高い④グルーピングが有る箇所は無い箇所より高いことが分かった。この原因として縁端帯は表層劣化により凹凸が生じ、BPNが高くなっていると推察した。また、全体的にBPNが既往文献値より高い傾向にあるのも同様の理由と考えられた。

(3) 現滑走路すべり抵抗性の測定

現滑走路のすべり抵抗性の測定は、図-17に示すようにBPTで測定した。測定方法は「舗装調査・試験法便覧(第1分冊)H19.6」に準じ実施した。測定箇所は、南側、中間部、北側で滑走路中心から5.5m(輪跡部)、13m(非輪跡部)、17m(縁端帯)でグルーピングの有無も選択し、41点で実施した。測定結果が既往文献と比較して高かったため、結果の再確認及び原因究明を目的として、補修跡も含め再度すべり抵抗値測定を22点追



図-17 現地すべり抵抗値(BPN)の測定

表-1 現地すべり抵抗性試験結果の比較

	輪跡部 1	輪跡部 2	非輪跡部	線端部	補修跡
中心からの距離	5.5m	5.5m	13m	17m	5.5m
ゴム付着	有り	無し	無し	無し	無し
輪跡位置	輪跡	輪跡	非輪跡	非輪跡	輪跡
グルーピング	有り	有り	有り	無し	無し
供用年数	12~13年	12~13年	12~13年	12~13年	1~6ヶ月
航空機走行量	多い	多い	少ない	少ない	少ない*
表面の状態	経年劣化により凹凸が大きい				凹凸は小さい
すべり抵抗値比較	① 輪跡部 < 非輪跡部		② 非輪跡部 > 線端部		③ 線端部 > 補修跡

*補修跡は輪跡部ではあるが供用期間が短いため交通量も少ないと想定

3.2. すべり抵抗性について

すべり抵抗性について、骨材の促進研磨試験より石灰岩は硬質砂岩と比較して、促進研磨によるすべり抵抗値の低下が顕著であった。また、回転ラベリング試験でグルーピング有り無しともに、石灰岩は、硬質砂岩よりもすべり抵抗値が低下することが分かった。さらに、回転式ラベリング試験結果のBPNを μ SFTに換算し、SFT評価基準に対して評価した。回転式ラベリング試験結果のBPNから μ SFTへの換算は、図-18に示すBPNと μ SFTの関係から骨材別に回帰式を求めた。石灰岩の回帰式は、現地調査のBPNと同箇所で行われているSFTによる試験結果より求めた。硬質砂岩については、既往の文献³⁾(硬質砂岩使用の供試体)結果より求めた。

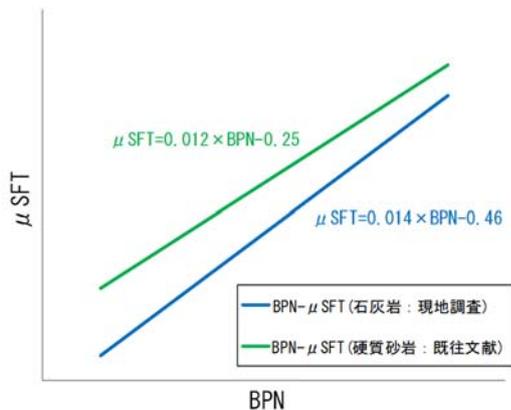


図-18 BPN と μ SFT の関係

回転式ラベリング試験結果の走行輪数と各骨材のBPNをグルーピングの有無別に回帰式から μ SFTに換算した結果を表-2に示す。表-2からSFT評価基準値に対して、グルーピング有りで走行輪数50,000輪以上では、石灰岩のみが基準値を下回る結果となり、硬質砂岩を使用することによりすべり抵抗性が向上した。ただし、ここでの走行輪数50,000輪は、回転式ラベリング試験の摩耗を強制的に促進した輪数であり航空機の走行輪数を再現したものではない。

さらに、硬質砂岩の骨材変更範囲について滑走路

(60m×2,700m)の表層は、一律8cmであり一括施工を計画している。このため、使用骨材を統一することで、施工目地を少なくすることが望ましく、滑走路の利用形態は様々(接地位置や走行頻度のバラツキ)であるが、施設全体として統一した走行安全性(すべり抵抗性)を向上することが望ましい。

表-2 回転式ラベリング試験値のSFT換算

グルーピング 有無	走行輪数	硬質砂岩		石灰岩	
		BPN	SFT換算	BPN	SFT換算
無し	走行前	71	0.60	71	0.53
	5,000	62	0.49	59	0.37
	10,000	57	0.43	55	0.31
	50,000	53	0.39	49	0.23
	100,000	48	0.33	47	0.20
	300,000	42	0.25	40	0.10
有り	500,000	41	0.24	38	0.07
	走行前	86	0.78	88	0.77
	5,000	77	0.67	74	0.58
	10,000	72	0.61	73	0.56
	50,000	67	0.55	63	0.42
	100,000	63	0.51	57	0.34
300,000	60	0.47	53	0.28	
500,000	58	0.45	51	0.25	

4. おわりに

増設滑走路のすべり抵抗性の向上について以下の結果となった。

- ① 表層の使用骨材について、石灰岩から硬質砂岩に変更することですべり抵抗性の向上が期待される。
- ② 骨材変更範囲について、使用骨材を統一することで、施設全体として統一した走行安全性(すべり抵抗性)を向上することが望ましい。

謝辞

本稿は、内閣府沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所発注の「那覇空港滑走路増設埋立等技術検討業務」の成果の一部をまとめたものである。検討にあたっては、那覇空港滑走路増設埋立等技術検討委員会(委員長:池田龍彦 放送大学副学長)の委員の皆様、沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所の関係者の方々から貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献:

- 1) 沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所: 那覇空港誘導路改良工事試験結果報告書, 平成27年度
- 2) 沖縄総合事務局道路建設課: アスファルト舗装調査研究業務報告書, 平成18年度
- 3) 八谷好高他: 空港滑走路のすべり抵抗性, 港研技術資料, No846, 1996.9