

## 空港の事業効果の確率論的定量化手法の検討調査

Study on Method of Quantitative Risk Analysis of Airport

(研究期間 平成 25～27 年度)

空港研究部  
Airport Department  
空港研究部 空港計画研究室  
Airport Department  
Airport Planning Division

空港新技術研究官 中島 由貴  
Airport Innovation Researcher Yoshitaka Nakashima  
室長 小野 正博  
Head Masahiro Ono

On a concession project of airport, concessionaire have to assess airport damage when earthquake happening and take out insurance to mitigate a damage. Furthermore concessionaire have to check how many airplane can fly on their airport just after earthquake attack for activities of DMAT operation and so on. To meet above obligations, we made a study about financial stress function and insurance design for concessioned airport. And we developed method of assessing degree of soundness of damaged airport. In the coming years, we will make a study about corporation of simultaneously affected airports in broad disaster area.

### [研究目的及び経緯]

民活空港運営法（平成 25 年法律第 61 号）が制定され、同法に基づく「民間の能力を活用した国管理空港等の運営等に関する基本方針（平成 25 年 11 月告示）」において、民間の運営権者に対し、地震・津波等の災害事象とその損害程度を定め、保険への加入を義務付けられたことから、災害リスクの定量的評価方法の研究開発が喫緊の課題となっている。

また、航空局は「地震に強い空港あり方(2007)」にて地震時の空港の役割について、発生後3日以内の緊急輸送機能を示した。多くの地域防災計画では空港が健全であるという想定の下、緊急災害医療チームの参集、広域医療搬送のため、遅滞なく輸送機が運航できることとしている。発生直後から輸送機がどの程度運航できるか、すなわち地震直後の空港の健全度合いを評価する方法が求められている。

### [研究内容]

民活空港運営法（平成25年法律第61号）を契機にコンセッション方式による公設民営化が、仙台空港を対象に具体化した。同空港の運営権実施契約書案において、運営権者は一定の復旧・耐震工事を自ら行うこととされた。一方、運営権者は地震災害による財務ストレスを負い、倒産も想定される。その場合、復旧・耐震工事の受皿を喪失する。そこで、運営権者の財務影響分析により倒産リスクを評価し、これを転嫁する保険設計を示し、その効果を測った。

地震直後の空港の健全度合いの評価法として健全度曲線を設定し評価した。性能 $r$ は最大離発着数等で平時を1.0とする。性能閾値 $s$ は地震時に最低限

必要な性能である。発生からの経過時間 $t$ において、性能 $r$ が性能閾値 $s$ より健全である確率 $P_{r>s}(t)$ （以下「健全確率」）は確率密度関数 $f_R(r|t)$ 、或いは閾値以上であることを示す超過確率関数 $G_R(r|t)$ から以下のように求めることができる。

$$P_{r>s}(t) = G_R(r = s | t) = \int_s^{1.0} f_R(r | t) dr \quad (1)$$

(1)式を健全度曲線とし、図1に概念図を示す。

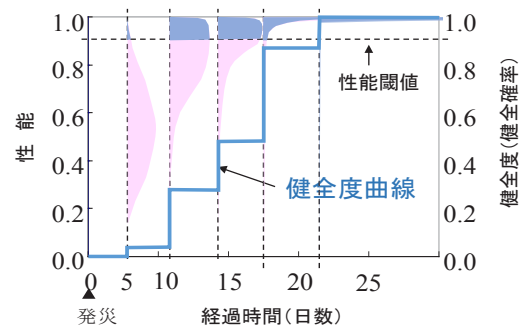


図1 健全度曲線の概念図

### [研究成果]

#### (1) 公設民営下の保険設計と財務ストレス関数

運営権の資産計上・資金借入を考慮した財務2表(P/L・B/S)を仮定し、財物損失のイベントツリー及び事業停止期間のシステムモデルにより、シナリオ地震群(上位100)の財務影響を分析した。要因別(除去損、逸失利益、再建費)に地震損失関数を算定し、BSの現金・現預金・流動比率等(90%非超

過値)を各シナリオ地震に対し列記したリスクリスト(図1 上位25/100)を求めた。

表1 路面変状箇所 の 下水道管劣化状態

No.	震源名	M	PBA (cm/s <sup>2</sup> )	発生確率 /1年	超過確率 /1年	90%非超過値		流動比率
						損失率 (再建費)	現金・現預金 (百万円)	
1	(130.45, 33.55)	M7.0	521	0.00001	0.00001	0.20	-7,485	-
2	(130.55, 33.55)	M7.0	484	0.00001	0.00001	0.17	-5,548	-
3	(130.45, 33.65)	M7.0	472	0.00001	0.00002	0.16	-4,882	-
4	豊岡断層南東部	M7.2	465	0.00062	0.00064	0.16	-4,527	-
5	(130.45, 33.55)	M6.5	454	0.00001	0.00066	0.15	-3,896	-
6	(130.55, 33.65)	M7.0	446	0.00001	0.00066	0.15	-3,498	-
7	(130.55, 33.55)	M7.0	422	0.00001	0.00067	0.13	-2,204	-
8	(130.55, 33.55)	M6.5	393	0.00001	0.00068	0.11	-842	0.13
9	(130.45, 33.45)	M7.0	383	0.00001	0.00069	0.10	-165	0.21
10	(130.35, 33.65)	M7.0	383	0.00001	0.00070	0.10	-148	0.21
11	(130.45, 33.55)	M6.0	368	0.00003	0.00072	0.09	625	0.34
12	(130.45, 33.65)	M6.5	367	0.00001	0.00074	0.09	669	0.34
13	(130.55, 33.45)	M7.0	360	0.00001	0.00075	0.09	1,011	0.40
14	(130.65, 33.55)	M7.0	349	0.00001	0.00075	0.08	1,601	0.50
15	(130.65, 33.65)	M7.0	323	0.00001	0.00076	0.07	2,843	0.70
16	(130.55, 33.65)	M6.5	322	0.00001	0.00077	0.07	2,883	0.71
17	(130.35, 33.45)	M7.0	319	0.00001	0.00078	0.07	3,014	0.73
18	(130.45, 33.75)	M7.0	303	0.00001	0.00079	0.06	3,746	0.85
19	(130.35, 33.55)	M6.5	295	0.00001	0.00080	0.05	4,098	0.91
20	(130.55, 33.75)	M7.0	289	0.00001	0.00081	0.05	4,314	0.95
21	(130.55, 33.55)	M6.0	285	0.00003	0.00083	0.05	4,481	0.97
22	西山断層帯	M7.3	282	0.00010	0.00093	0.05	4,623	1.00
23	(130.25, 33.25)	M7.0	281	0.00001	0.00094	0.05	4,673	1.01
24	(130.65, 33.45)	M7.0	278	0.00001	0.00094	0.05	4,763	1.02
25	(130.25, 33.65)	M7.0	265	0.00001	0.00095	0.04	5,346	1.12

保険設計にあたり、倒産を流動比率0.9以下と仮定し、前後の現金・現預金等(①4,098百万円)を読み、これを免責(付保下限)とし、発生確率を考慮のうえ最悪地震(震源名にハッチング)を特定し、その現金・現預金等(②-4,527百万円)を読む。①と②の差が最悪地震での必要資金となる。

これらを再調達価格で除し損失率換算のうえ、必要資金をa(=0.11)、支払限度をb(=0.16)、免責をdとする。保険金は実損から免責を差引いて支払われるので、必要資金を最小の保険料で賄うよう設計すると、免責d=b-aとなり、dは0.05と決定できる。

図2に、流動比率の地震損失関数を示し、これを財務ストレス関数とする。流動比率は、地震リスクを未考慮で1.59、考慮に伴い地震動強さの上昇に従い低下する。保険に加入すると、0.9を維持するよう折れ曲がる。すなわち、実損から免責を差引いた保険金を受取り、経営が良好に維持される。再度下方への折れ曲がり最悪地震で、以降、必要資金は支払額を上回るが、希有なイベントとして経営上無視できる。このように、保険の効果を財務ストレス関数で計測できる。なお、保険料は売上高より十分小さいものとし、財務への影響は考慮していない。

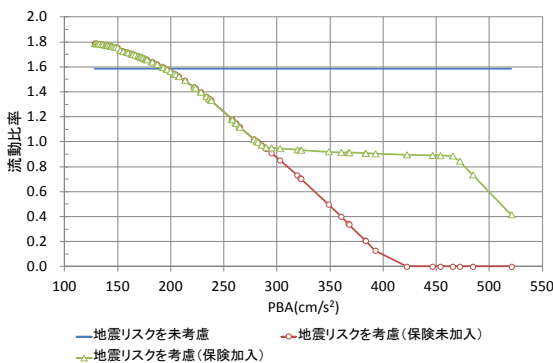


図2 財務ストレス関数

(2) 地震直後の空港の健全度評価

図2に、地震時の性能閾値を平時性能と同等の1.0と仮定したあるシナリオ地震の健全度曲線の計算例を示す。津波警報発令により8時間は運航できず、健全確率は解除直後0.77、24時間後0.85、72時間後0.95となる。例えば、0.95は当該シナリオ地震が20回発生しても19回は平時と同等の健全であることを示す。パイロット等が地震対策要領におけるタイムラインを作成する際、その検討を助ける情報となり得る。

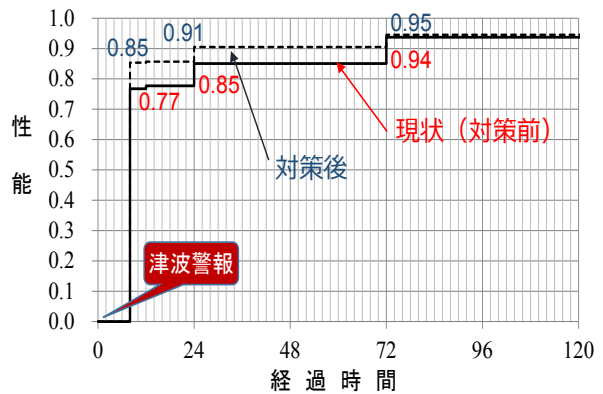


図3 シナリオ地震の健全度曲線の計算例

計算過程より貨物ビルと電源局舎が弱点として判っており、健全性が必ずしも十分でないと考え、両建物の耐力中央値が20%向上する補強を仮定する。図2の点線に補強後の健全度曲線を示す。発生8時間後の健全確率は0.77から0.85に、24時間後は0.85から0.91に改善する。改善効果が十分か否かは健全確率の許容値の議論が必要だが、効果の視覚化は対策を行うか否かの判断に有効な材料になる。

今後、空港個々の評価に加え、被害の広域同時性を想定した緊急時の空港連携について、健全確率の許容値と設計基準のあり方についても検討を進める。

【成果の活用】

公設民営下の保険設計と財務ストレス関数にあつては、平成27年7月に仙台空港の公設民営化が開始され、今後、福岡空港が予定されている。これら民営化に不可欠な保険の検討に関係者間で参考にされているとともに、高松空港など新たな民営案件の発掘を促進した。

地震直後の健全度評価にあつては、南紀白浜空港を対象に、具体的な評価を進めている。耐震強化の範囲の明示や優先順位付けについて、検討結果から予算要求の検討に繋がることを期待されつつある。

## 航空市場の環境変化に対応した空港機能に関する基礎的検討業務

### Improvement of Air Transport Demand Forecast Method

空港研究部 空港計画研究室

室長  
主任研究官

(研究期間 平成 27 年度)

小野 正博  
井上 岳

#### [研究目的及び経緯]

国内線の機材更新及び地方空港における国際線の新規就航の増加等、本邦における航空市場の変化が今後見込まれる。これに対応するため、本業務は、空港機能のうち最も基礎となる必要滑走路長について、ボーイング 787 機等の更新機材を対象とした算定手法に係る基礎的な検討を行ったものである。

具体的には、更新機材の現状及び動向の整理、必要滑走路長算定の前提条件の整理、及び、必要滑走路長の概略的な算定手法の方法、可能性及び課題の検討を行った。

## 航空需要予測手法改善検討調査

### Improvement of Air Transport Demand Forecast Method

空港研究部 空港計画研究室

室長  
主任研究官

(研究期間 平成 19 年度～)

小野 正博  
井上 岳

#### [研究目的及び経緯]

航空需要予測値は、交通政策審議会航空分科会での審議のみならず、航空・空港政策の企画立案、個別空港の計画段階や事業評価等に際して必要かつ基礎的なデータとなるため、その予測精度の一層の向上が求められていることから、予測精度や再現性、説明力の向上をめざした予測手法(モデル)の改良・改善を行う。

本年度は、格安航空会社 (LCC) や中央リニア新幹線といった新たな交通手段の出現を踏まえた交通機関選択モデルの構築を行うとともに、エアラインの路線参入・撤退に関する実証的な分析を実施し、それをもとに、国内航空旅客需要モデルにおける路線参入・撤退モデルの検討を行った。

また、交通政策審議会航空分科会基本政策部会 (平成 25 年 9 月 26 日) において、国総研航空需要予測モデルに基づいて推計した将来航空需要予測値を公表。同部会において首都圏空港機能強化に係る議論に活用されている。

## 地方創生支援のための空港計画手法に関する研究

### Study on Strategic Airport Planning for Regional Revitalization

空港研究部 空港計画研究室

室長  
主任研究官

(研究期間 平成 27～29 年度)

小野 正博  
井上 岳

#### [研究目的及び経緯]

少子高齢化社会が進展し、既に人口減少時代に突入したとも言われる。公共的サービスの水準低下が懸念されている。一方、従来の航空事業者と比較して変動費を抑制した格安航空会社 (LCC) 及び少量輸送にコスト優位となるリージョナルジェット (RJ) 就航による地域航空サービス水準の維持・拡大が期待される。

これまで必ずしも明示的に扱わなかった LCC 及び RJ に特化した空港計画、特に、LCC 及び RJ の就航を考えるにあたり特に重要となる、駐機場 (エプロン) 整備計画、荷物・旅客動線計画及び搭乗待合室の配置計画について、その手法を検討するものである。

本年度は、平成 27 年の訪日外国人の急増 (1960 万人) を踏まえ、地方空港における駐機場 (エプロン) 整備計画に資するため、将来時点における必要スポット数を予測する手法の検討を行った。

## アスファルト舗装の長寿命化に関する検討

### Research on Prolonged Life of Airport Asphalt Pavement

空港研究部 空港施設研究室

(研究期間 平成 25～27 年度)

室 長 坪川 将丈  
研 究 官 竹高 麗子  
研 究 官 河村 直哉

#### [研究目的及び経緯]

アスファルト舗装は、荷重や環境劣化により、局所突発的な破損が発生する。空港舗装の場合、これらの破損は航空機の安全な運行を阻害するため、場合によっては滑走路・誘導路・エプロンの一時閉鎖に繋がる。本研究では、航空機運航の安全性及び定時性の向上を図るために、これらの破損の発生原因の解明及び破損抑制方策の検討を行い、空港アスファルト舗装の長寿命化の実現に資することを目的とする。

グルーピングの施工は、表層施工後、速やかに施工を行うことが望ましいが、養生時間が短いと角欠け等を生じる恐れがある。本年度は、舗装材料や施工条件の違いがグルーピングの耐久性等に及ぼす影響について検証することを目的とし、室内で供試体を製作し、グルーピングの耐久性試験を実施した。また、アスファルト舗装の一層最大施工厚を緩和することを目的とし、施工時の温度管理方法について温度解析シミュレーションにより検討した。

## 空港アスファルト舗装の品質向上に関する研究

### Research on Quality Improvement of Airport Asphalt Pavement

空港研究部 空港施設研究室

(研究期間 平成 26～28 年度)

室 長 坪川 将丈  
研 究 官 竹高 麗子  
研 究 官 河村 直哉

#### [研究目的及び経緯]

アスファルト舗装は、荷重や環境劣化により、局所突発的な破損が発生する。空港舗装の場合、これらの破損は航空機の安全な運行を阻害するため、場合によっては滑走路・誘導路・エプロンの一時閉鎖に繋がる。水が舗装内部に侵入するとアスファルト混合物の耐久性が損なわれることから、本研究では、表層と基層の層間の付着や施工目地の付着等の改善に向けた方策の基礎検討を実施する。

本年度は、付着改善型のタックコート及び剥離抵抗性を改善したアスファルトバインダーに関する情報を収集したほか、これらの材料性能を評価するための新たな試験法の確立を目的とした情報を収集した。また、締固め度が不足しているアスファルト混合物を対象とした剥離抵抗性の評価を目的とした室内試験を実施した。

## 損傷の低減等に向けた空港舗装設計法の高度化等検討調査

### Research on Airport Pavement Design Method for Reduction of Damage

空港研究部 空港施設研究室

(研究期間 平成 26～28 年度)

室 長 坪川 将丈  
研 究 官 竹高 麗子  
研 究 官 河村 直哉

#### [研究目的及び経緯]

空港アスファルト舗装及び空港コンクリート舗装の設計法は、これまで使用されていた経験的設計法に加え、新たに理論的設計法が追加された。理論的設計法では、航空機脚荷重により舗装内部に発生する応力やひずみを計算し、疲労度に基づき舗装厚の設計を行う。本研究は、経験的設計法と理論的設計法の統合、各種の破損を低減するための材料規定の改訂等を目的として研究を実施する。

本年度は、経験的設計法により舗装厚を設定し、その舗装厚に対して構造解析を実施することにより、応力やひずみの統一的な閾値を設定するための検討を行った。あわせて、これまで用いていた交通量指標である設計反復作用回数を持つ課題を解決するための新しい交通量指標について基礎検討を実施した。

## 基本施設舗装の効果的な改修方法に関する研究

Research on Effective Rehabilitation Method of Airport Pavement

空港研究部 空港施設研究室

(研究期間 平成 27～30 年度)

室 長 坪川 将丈  
研 究 官 竹高 麗子  
研 究 官 河村 直哉

### [研究目的及び経緯]

アスファルト舗装は、荷重や環境劣化により、局所突発的な破損が発生する。空港舗装の場合、これらの破損は航空機の安全な運行を阻害するため、場合によっては滑走路・誘導路・エプロンの一時閉鎖に繋がる。交通頻度の高い空港では、ポットホール等の局所突発的な破損が空港の定時性を大きく阻害することから、局所突発的な破損の発生しにくく耐久性の高い舗装の実現に向けた改修方法を確立することを目的として研究を実施する。

本年度は、ポリマー改質アスファルト混合物の効果的な適用方法を明らかにするため、各種ポリマー改質アスファルト混合物を使用し、耐流動性、剥離抵抗性に関する室内試験を実施した。また、アスファルト舗装の改修設計におけるアスファルト混合物層深部に存在する層間剥離の取扱方法について検討した。

## 空港土木請負工事積算基準の改訂、空港土木積算システムの改良

Revision of Cost Estimation Standards for Airport Civil Works

Improvement of Cost Estimation Computer System for Airport Civil Works

空港研究部 空港施工システム室

(研究期間 平成 9 年度～)

室 長 和田 匡央  
専 門 官 安原 克彦  
専 門 官 野田 工

### [研究目的及び経緯]

新工法等施工技術の発達にともなう現場施工形態の変化との整合を図るため、また、空港土木工事の調達に係る契約内容の明確化・透明性の確保への要請に応え、積算業務の適正化・簡素化等を図るため、空港土木工事積算基準の一層の適正化を図ることが求められている。このような背景のもと、空港整備・維持管理における制限区域内での作業及び作業時間の制約などを適切に反映した空港工事の積算基準の素案を作成する。今年度は、平成 26 年度に引き続き切削オーバーレイ工について施工実態調査を行い、二層切削二層舗設のパターンの歩掛を検討し、積算基準（案）の策定を行った。さらに、施工パッケージ型積算に関し、標準単価の更新、積算基準改定案、公表用資料などの作成を行った。また、積算基準の改定に合わせて空港土木積算システムの改良を行った。

## 空港土木工事共通仕様書の改訂

Revision of Common Specification for Airport Civil Works

空港研究部 空港施工システム室

(研究期間 平成 13 年度～)

室 長 和田 匡央  
専 門 官 安原 克彦  
専 門 官 野田 工  
係 長 谷田 克也

### [研究目的及び経緯]

新工法等施工技術の発達にともなう現場施工形態の変化との整合を図るため、また、空港土木工事の調達に係る契約内容の明確化への要請に応えるため、空港土木工事共通仕様書及び施工基準類の一層の適正化を図ることが求められている。このような背景から空港土木工事共通仕様書、調査・設計等の共通仕様書の改訂案について検討した。今年度は、土木工事等共通仕様書（道路、河川、港湾工事等）及びその他これに類する共通仕様書（防衛省等）等と現行空港共通仕様書と比較し、相違点について整理を行い、改訂案を作成した。

## 空港基本施設の長寿命化のための施工の研究

Study on Lifelong Duration of Airport Pavement

空港研究部 空港施工システム室

(研究期間 平成 25 年度～平成 28 年度)

室 長	和田 匡央
専 門 官	安原 克彦
専 門 官	野田 工
係 長	谷田 克也

### [研究目的及び経緯]

航空輸送の安全性の確保や適切な維持管理が求められている中、滑走路等空港基本施設、特に空港舗装の予防保全を推進するための方策が求められている。空港舗装については乳剤による表面処理や常温合材による恒久的な補修方法が確立できれば、予防保全、施設の長寿命化、維持管理の高度化の有効な手段となる可能性が高い。本研究では舗装に関するこれらの新補修材料について、各種試験を通じて基礎的な知見を得ることを目的とする。今年度は、常温混合物及び表面処理工法を用い、初期安定性、耐久性等の物性を把握するための室内試験を実施し、その結果、常温混合物を特性別に類型化するとともに、表面処理工法に関しては封かん層として紫外線劣化からの保護機能を検証した。

## 次世代型巡回点検支援システムの開発

Development of Support System for Airport Pavement Inspection

空港研究部 空港施工システム室

(研究期間 平成 26 年度～平成 28 年度)

室 長	和田 匡央
専 門 官	安原 克彦
係 長	谷田 克也

### [研究目的及び経緯]

航空便の運航時間帯の延長、深夜便の就航などにより、空港舗装の点検に使える時間が短くなっており、また、膨大な面積に発生する舗装異常の点検記録及び経過の整理に膨大な労力を費やしている。そのため、平成 20 年度からノート型 PC 端末等を利用した巡回点検支援システムを導入しているが、重装備でかつ基本設計が古く、平成 31 年には OS のサポート終了を迎える。そのため、より携帯性、操作性、データ転送による即応性の優れたツールを導入して、短時間に点検記録、経過の整理ができる方法を検討し提案する。今年度は、スマートフォン端末と点検に用いる他の計測機器との連携を検討し、それらシステムの基本仕様を作成した。

# 滑走路面摩擦係数計測手法に関する研究調査

## Study on Measuring method of Friction Coefficient of Runway Surface

(研究期間 平成 26 年度～平成 27 年度)

空港研究部  
空港施工システム室  
Airport Department  
Airport Construction Systems Division

室長  
Head  
専門官  
Special Assistant  
専門官  
Special Assistant  
係長  
Chief Official

和田 匡央  
Masao WADA  
安原 克彦  
Katsuhiko YASUHARA  
野田 工  
Takumi NODA  
谷田 克也  
Katsuya TANIDA

To more easily measure the friction coefficient of runway surfaces at airports that has been done in the past by driving a Surface Friction Tester (SFT) at high speed (95km/h) over the runway, the applicability of driving the SFT at 65km/h and using a DF tester has been studied.

### [研究目的及び経緯]

空港滑走路は、タイヤゴムの付着や路面排水性の低下に伴い、すべり摩擦係数が低下することがあり、航空機の離着陸時における安全性確保が課題となっている。一方、ICAO（国際民間航空機関）の基準が改定され、最低摩擦係数の設定とその確保が義務化し、今後、各空港では最低摩擦係数確保のための定期的な計測が必須となっている。本研究では、多頻度測定に対応したより簡易に摩擦係数を計測する手法の導入のため、現在すべり摩擦係数測定に用いられている SFT（Surface Friction tester）(95km/h) (図 1) に対し、低速走行による計測（SFT (65km/h)）及び主に道路用として普及している摩擦係数計測機器（DF テスタ）(図 2) について、滑走路への適用性を検討した。



図 1 SFT

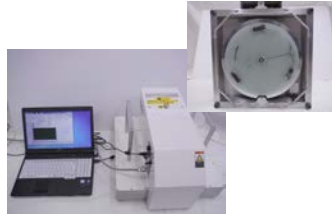


図 2 DF テスタ

### [研究内容及び成果]

平成 26 年度～平成 27 年度にかけて、東京国際空港等の滑走路において、SFT (95km/h)、SFT (65km/h)、また、簡易的な測定方法として DF テスタを用いた測定を行い、SFT (95km/h) の測定値に対する SFT (65km/h) 及び DF テスタの測定値の相関関係を調べた。

測定の結果、SFT (95km/h) と SFT (65km/h) との間には、強い相関関係があることが確認された (図 3)。

さらに、SFT (95km/h) と DF テスタとの間においても相関関係があることが確認された (図 4)。

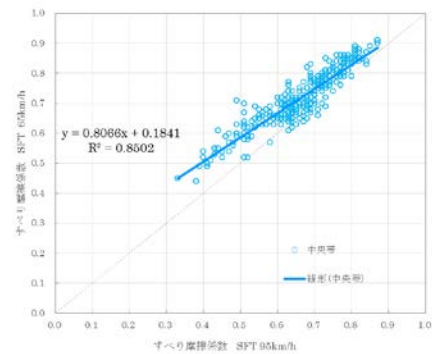


図 3 SFT (95km/h) と SFT (65km/h) との関係

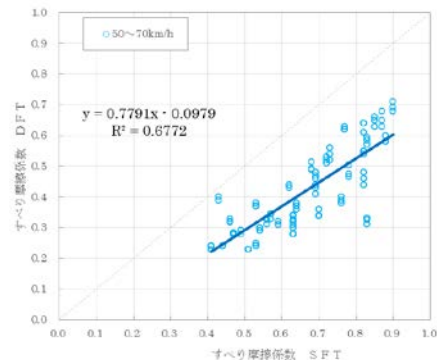


図 4 SFT (95km/h) と DF テスタとの関係

### [成果の活用]

SFT (95km/h) と SFT (65km/h) の相関関係、SFT (95km/h) と DF テスタの相関関係が確認できた。今後、空港舗装の維持管理手法を検討する上で重要となる多頻度測定の方法の一つとして活用することができる。