

関西国際空港での大粒径アスファルトを用いた滑走路の大規模改修工事について

山本 晃也

関西国際空港株式会社 施設管理部企画グループ（〒549-8501大阪府泉佐野市泉州空港北1）

関西国際空港のA滑走路は、開港後10年以上が経過し舗装の劣化が進行してきたことから、B滑走路供用開始によりメンテナンス時間が確保できることになったので、A滑走路の全面改修を行うこととなった。改修に当たっては、舗装の劣化のほか、これまでの不同沈下により舗装面の排水性が低下したため、嵩上げも同時に行い排水性の回復も行うこととなった。嵩上げに使用する材料としては、舗装後滑走路として暫定運用ができるよう「大粒径アスファルトコンクリート」を用いた。ここでは工事の特徴を中心に、施工状況や同時に行ったモニタリングの結果について報告する。

キーワード 大粒径アスファルトコンクリート、耐流動性、オーバーレイ、プリスタリング

1. はじめに

関西国際空港は、1994年9月に泉州沖を埋め立てた人工島に1本の滑走路(A滑走路)等を建設し、24時間空港として開港した。以降、限られた時間でメンテナンスを行っていたが、開港後10年以上が経過し、舗装の劣化が進行していた。

2007年8月、2本目の滑走路(B滑走路)が供用開始し、メンテナンスの長時間確保が可能となったことから、A滑走路の大規模改修を行うこととなった。

A滑走路の舗装は、アスファルトの硬化や舗装内の水分量の増加、層間剥離やひび割れといった劣化が進行していた。また、海上を埋め立てて造成した人工島である関空特有の不同沈下により、特に滑走路横断方向の排水勾配は低下していた。

改修工事は2007年12月から2008年8月にかけて行った。改修に当たっては、長期的な耐久性を確保しつつ、近年他の空港でも同じように懸念されている、プリスタリングの対策についても万全を期すこととした。また、排水勾配の修正のため、施工厚の厚い箇所では50cm以上の

厚さとなった。一方で、昼間の混雑時間帯では2本の滑走路の運用を求められていたため、工事は比較的便数が少ない夜間の時間帯に限定し、日々交通開放するという条件下で行った。

本改修を行うに当たっての課題は、効率よく嵩上げ層を施工しかつ日々交通開放できる方法を選定することであった。その方法については、近年、空港舗装での適用事例が増えていた「大粒径アスファルトコンクリート」を用いることとした。

ここでは、改修方法の考え方や施工状況について報告すると共に、大粒径アスファルトコンクリートの適用性について、事前の室内試験等による検証や本工事でのモニタリング結果を中心に報告する。

2. 改修前の舗装状況

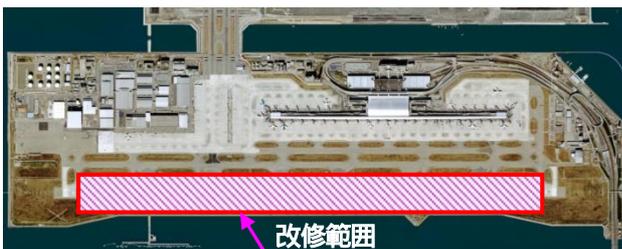


写真 4. 改修工事範囲

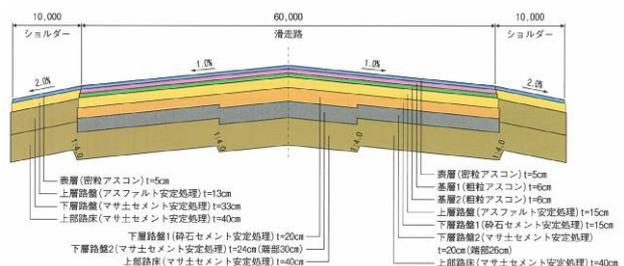


図-1 第1滑走路の舗装構造



写真-2 滑走路表面の状況

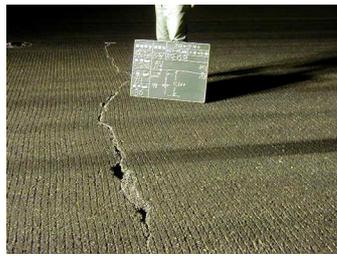


写真-3 滑走路のひび割れ

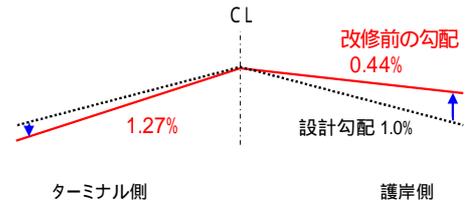


図-3 滑走路の横断勾配の変化状況



図-2 滑走路のひび割れ発生位置

A滑走路の舗装の断面構造は、安定処理した上部路床を含め最も厚い箇所122cmあり、表層は5cmの密粒アスコン(ストアスTop20mm)、基層は6cm2層の12cmの粗粒アスコン(ストアスTop20mm)となっている(図-1)。

(1) 舗装の路面性状

舗装表面の状況は、写真-2に示すとおりアスファルトの材料劣化と摩耗により骨材が現れ、グレーピングの溝も浅くなっている部分もある状況であった。

図-2は供用後約10年経過したA滑走路の主なひび割れの状況である。ひび割れは滑走路を横断するように発生しており、その多くが1995年1月に発生した兵庫県南部地震が原因で発生したものである。ひび割れの部分のコアを採取した結果、下部の安定処理層まで達しているものもあった。

図-3はA滑走路横断勾配の中でも不同沈下により横断

勾配の変化が最も大きい箇所の状況を示している。滑走路の横断勾配は当初1.0%に設定していたが、その後の不同沈下により勾配が緩急となっていた。なお、沈下の傾向としては全般的に空港島の中心に向かって沈下量が大きくなる傾向となっている。

(2) アスファルト混合物の性状

A滑走路舗装の状態を把握するため、2002年から2004年にかけてコア採取を行った。そのうち、2003年には滑走路の全般的な状態を把握するため96箇所のコア採取を行った。採取したコアを見ると、2層ある基層の間で層間剥離しているコアが多く認められ、また基層と安定処理層との間でもいくつかのコアで層間剥離が確認された。写真-4は、その1年後(2004年)に採取したコアの状況であり、ひび割れが深く貫通しているとともに、層間剥離が発生しているのが確認できた。

採取したコアの空隙率、針入度、水分量の室内試験結果を図-4～6に示す。2層ある基層の空隙率は良好な状態にあるが、表層は著しく低下していることが確認できる。次に針入度については、表層にいくほど小さくなっており、また年々減少傾向にある。一般に針入度が25以下でひび割れの発生が多くなると言われているが、今回採取したコアのうち健全部を含め多くのコアで針入度25を下回る状況にあり、多くの箇所でひび割れが発生

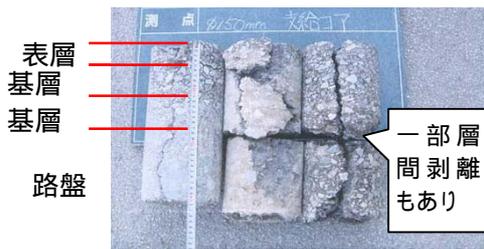


写真-4 滑走路の採取コアの状況

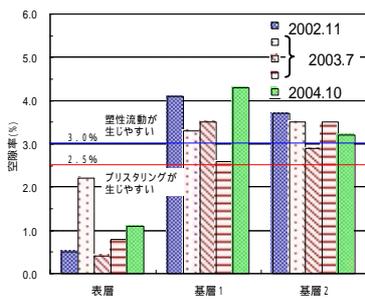


図-4 空隙率の状況

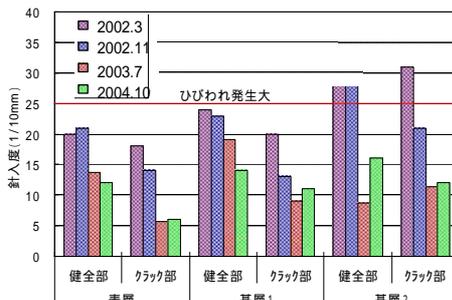


図-5 針入度試験の結果

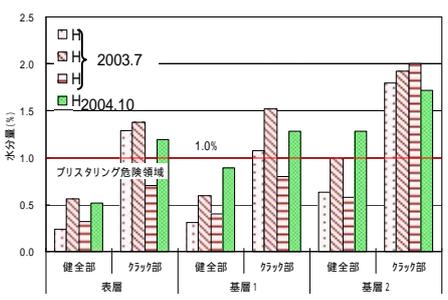


図-6 水分量の状況

しやすい状況にあったと考えられる。また水分量については、下層にいくほど増加しており、特にひび割れ分では1%を超えている状況であった。

(3) 舗装状況のまとめ

コア採取の結果より、アスファルトの劣化が進行していることが確認でき、塑性流動やひび割れが発生しやすい状況であったと考えられる。また舗装内水分量の増加により、舗装内部の劣化も進み層間剥離が進んでいる状況にあり、出来るだけ早期に改修を行う必要があると考えられる。また地震で発生したひび割れは上層路盤まで達していたものもあり、これについても長期的な対応が求められる。

3. 改修方法の考え方

(1) 改修の課題と対策の方向性

a) 断面設計の課題

既設アスファルトの含有水分への対応

プリスタリング対策として表層及び基層の一層厚さを一定以上確保する。

リフレクションクラック対策

上層路盤まで達している地震のひび割れによるリフレクションクラックの対策としてオーバーレイ厚を十分確保する。

雨水排水勾配の回復

勾配が低下している箇所を嵩上げすることで勾配を回復させる。

b) 施工上の課題

効率的な嵩上げ方法

早期に工事完了することを求められており、大幅な嵩上げを効率よく行わなければならない。

施工期間中の滑走路供用の確保

昼間の混雑時には2本の滑走路が運用できるようにしなければならないため、工事は夜間に限定。また、日々復旧し交通開放しなければならないため、嵩上げには暫定的に交通開放しても安全に供用できる材料でなければならない。

(2) 滑走路の改修構造

a) 表層・基層

- 表層・基層の合計厚は、リフレクションクラックを極力防止するため、補修要項²⁾のコンクリート舗装上のアスファルト舗装によるオーバーレイの場合に必要とされる最小厚15cmにグレーピング分1cmを加えた16cmとした。

- 表層の厚さは名古屋³⁾、新千歳⁴⁾、福岡⁵⁾など最近のプリスタリングに対する改良事例より8cmとし、基層は表層厚を差し引いた8cmとした。

- 表層・基層ともにプリスタリング対策として空隙率を高め、耐流動性と長期間空隙を維持するため、特に航空機が走行する部分については、アスファルト材料に改質型を用いた。

- 横断勾配は、今後の残留沈下を考慮して1.2%とした。

b) 中間層

- 16cm以上嵩上げが必要な箇所は、表層・基層の下に中間層を設けた。

- 施工の効率化、弱点となる舗装の施工境界面の減、滑走路の暫定運用を考え、最大粒径30mmの骨材を使用した大粒径アスファルトコンクリートとした。

c) 大粒径アスファルトコンクリートの配合設計

- 仕様・基準値は、NAPA(全米アスファルト舗装協会)及び他空港の事例⁶⁾を参照し設定。

- 動的安定度は、他空港の事例及び港湾空港技術研究所の試験⁷⁾を参考に1,200回/mm以上とした。

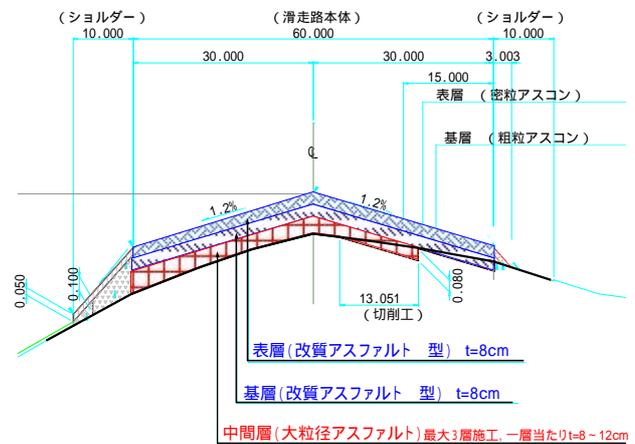


図-7 滑走路の標準改修断面

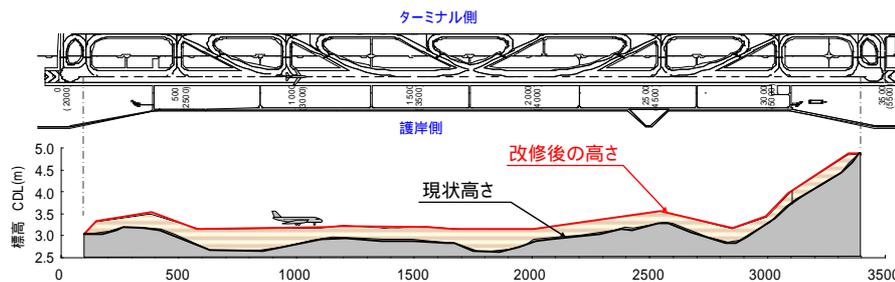


図-8 滑走路の嵩上げ高さ(滑走路センター)

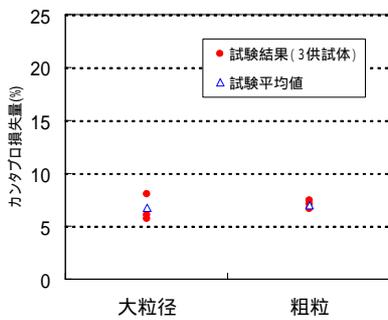


図-9 カンタブロ試験結果

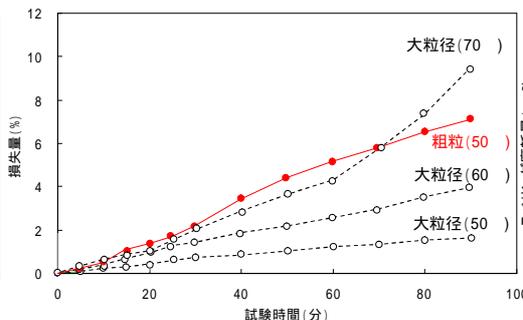


図-10 回転式WT試験結果

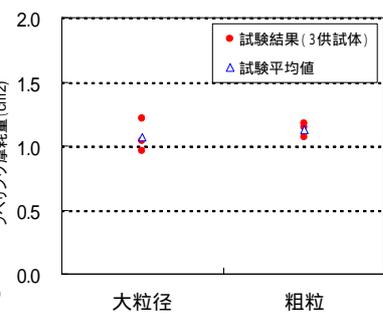


図-11 ラベリング試験結果

4. 大粒径アスファルトの骨材剥離抵抗性の検証

大粒径アスファルトコンクリートは表面のきめが粗いので、そのまま滑走路を暫定的に供用する場合、航空機の制動や高速での曲線走行時の水平力に対して、骨材剥離・飛散が懸念された。これについては、新千歳空港などでの事例や八谷らの研究⁹⁾により検証されているが、本改修では広い面積で最長3ヶ月程大粒径アスファルトコンクリートで供用すること、配合によって骨材剥離抵抗性も変化することも考えられるので、本改修の配合設計に基づき室内試験を行った。試験方法は、カンタブロ試験、回転式WT試験、ラベリング試験により、改良工事において暫定開放の実績がある粗粒アスコンと比較することで検証を行った。

試験結果を図-9～11に示す。いづれの試験結果とも粗粒アスコンと差がない結果となった。また回転式WT試験では、開放温度70の場合と粗粒アスコン50と同等の性能となることが確認できた。なお、粗粒アスコン50は、粗粒アスコンで開放する場合の温度の基準値である。

以上から、大粒径アスファルトコンクリートの骨材剥離抵抗性については問題ないと判断した。なお、実施工の際も暫定開放後、目視観察により逐次骨材剥離の状況について確認した。

5. 大粒径アスファルトの交通開放温度の検証

(1) 交通開放温度の設定

効率的な施工するには、舗設後の養生時間を短くし、敷均し時間を長く確保するのが望ましいが、大粒径アスファルトコンクリートは、粗粒・密粒といったアスファルトコンクリートよりも動的安定度が高いので、交通開放温度を比較的高く設定することができるため、養生時間を短くできる特性がある。そこで当空港での発着回数と舗装内温度による初期わだち掘れ量をシミュレートして、交通開放温度の検討を行った(図-12)。なお、この予測手法は牛尾の方法⁹⁾を参考にした。

4章で示したとおり、骨材剥離抵抗性は開放温度70程度でも問題ないと判断されたことから、70におけるわだち掘れ量の算定を行った。その結果、初期わだち掘れ量は概ね10mm程度と推定された。これは補修要領で評価B(10～38mm)に相当し、運用上問題ないレベルと判断できる。従って交通開放温度(内部温度平均)は70と設定した。

(2) 試験施工及び本工事での検証

施工サイクルタイムを決めるために、仮設ヤードにて試験施工を行い、交通開放目標温度に達するまでに必要な時間を求めた。また、本工事では施工厚が厚い部分にモニタリング箇所(図-13)を設定して、路面の変形量や舗装温度を計測した。舗装の温度測定の方法は、表面温度計及び熱電対にて連続的に舗装内部温度を計測した。

図-14は試験舗装の大粒径アスファルトコンクリートの舗装内温度の測定結果である。試験舗装では6箇所で計測し、平均78分で目標温度70に達し、またモニタリングでは60分程度で目標温度に達した。よって、以後の

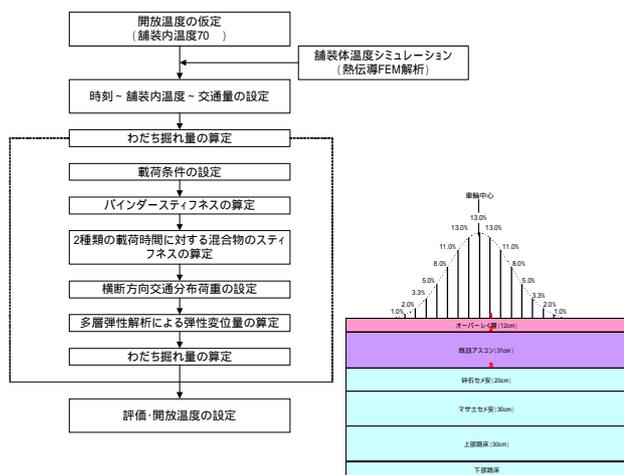


図-12 わだち掘れ量の推定方法

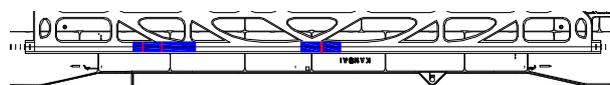


図-13 モニタリング箇所

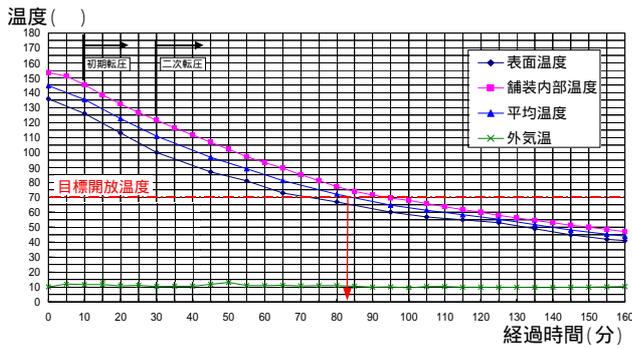


図-14 試験舗装での舗装内温度測定 事例

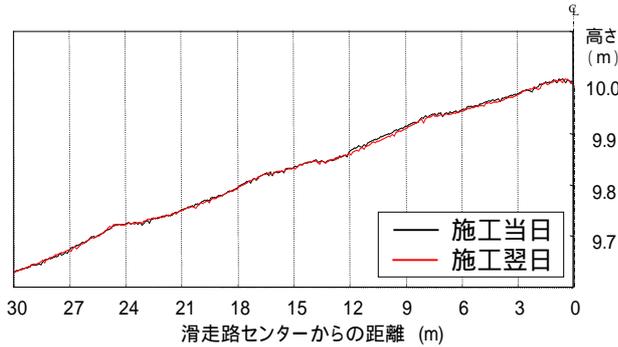


図-15 大粒径アスファルト舗装の横断形状計測事例

大粒径アスファルトコンクリートの施工については、最終敷均し時間を、試験施工で設定した時間より30分遅らせて施工するよう設定し、施工の効率化を図った。

初期わだちの状況を把握するため、大粒径アスファルトコンクリートの施工直後と交通解放後翌日の横断形状をプロファイルメーターにより計測した(中間層 図-15)。その結果、交通開放による流動と推測される箇所は見当たらなかった。

6. 工事の概要

(1) 工事中の運用条件

工期の短縮、施工の効率性の点では施工日は多く、1日の施工時間は長い方が望ましいが、B滑走路のメンテナンスが必要であり、A滑走路を閉鎖できる日数に限りがあることや、23時までA滑走路を使用することが運用から求められたことから、本改修工事の施工時間の条件は次の通りとなった。

工事期間：2007年10月～2008年8月末
 施工日：週5日(日, 火, 水, 金, 土)
 施工時間帯：23:10～翌6:40(7時間30分)
 (月, 木はB滑走路のメンテナンス日)



アスファルトプラント能力 360 t/h (2基×180 t/h)

ホットサイロ 720 t (6基)

写真-5 空港内の仮設アスファルトプラント

(2) 資材の搬入

今回使用するアスファルトコンクリートは、総計約16万トンとなり、ピーク時には日当たり2千トン使用することになった。これを効率的かつ安定的に確保するために、空港島内にアスファルトプラントを設置し、アスファルトコンクリートを製造した。その製造に必要な材料のうち、大部分を占める骨材等資材は海上輸送した。また、ピーク時に効率よく供給できるよう、事前にアスファルトコンクリートを製造し貯蔵しておくホットサイロも併設した。

(3) 施工状況

- ・大粒径アスファルトコンクリートの1層施工厚は最大12cmとし、最大3層に分けて施工した。
- ・大粒径アスファルトコンクリートの転圧回数は、NAPA及び他空港の事例⁶⁾を参照し設定した密度(2.39t/m³)となる施工機械の組み合わせと回数を試験施工にて求め、初期転圧5回(振動ローラ、初回無振)、二次転圧5回(振動タイヤローラ)とした。
- ・層間の接着力を強化するため、改質系のタックコートを用いて、プリスタリングの防止対策を施した。また、改質系は速乾性も併せ持つので、養生時間を短縮して日々の施工量をアップさせた。
- ・施工時間や機械の能力等考慮して、安全かつ効率的な施工計画を検討した結果、アスファルトフィニッシャを最大4台用いて舗設した。
- ・5章(2)において大粒径アスファルトコンクリートの交通開放温度を70としたが、モニタリング以外の



写真-6 大粒径アスファルト舗装の表面

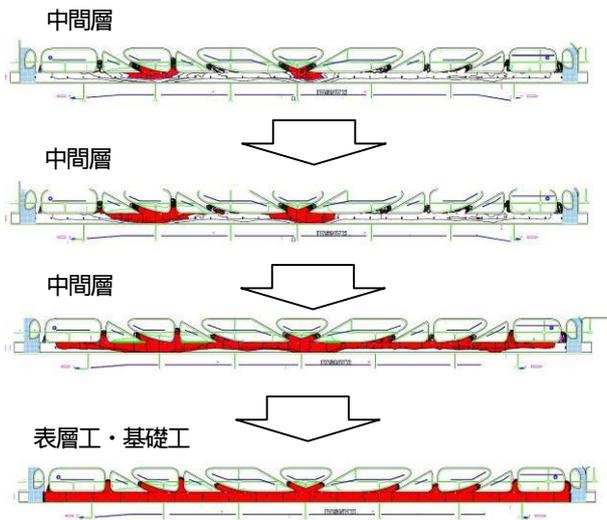


図-16 工事の展開図



写真-7 工事の状況

箇所でも、初期わだちは殆ど発生しなかった。

7. まとめ

本報告では、関西国際空港で初めて実施したA滑走路の大規模改修について、その改修方法や工事概要につい

て報告した。また、大粒径アスファルトコンクリートを用いた場合の交通開放の安全性について室内試験により検証し、本工事における交通開放温度と初期わだち掘れ量のモニタリングを行い、運用上支障なかったことを報告した。

大粒径アスファルトコンクリートを舗設する際に表面が粗くなることがあり、舗装の均一性の確保が難しいといった室内試験ではわからない問題点が判明した。大粒径アスファルトコンクリートは、粗粒・密粒といった通常のアスコンと比べ、舗設するにはより注意を要する材料であり、空港舗装へ使用する際には、材料としての性能だけでなく施工方法を含めた総合的な検討を行うことが必要であるということがわかった。

今後は、FWDやPRI調査などを通じて追跡調査を行い、長期的な耐久性の検証を行っていく予定である。

参考文献

- 1)久保宏，八谷好高，長田雅人，平尾利文，浜昌志：最近の空港アスファルト舗装の損傷と改良工法について，土木学会舗装工学論文集 Vol.9，p.35-40，2004.12.
- 2)国土交通省航空局：空港舗装補修要領(案)
- 3)長田雅人，佐野一三，浜昌志：空港舗装のプリスタリング現象，舗装 38-3，p.3-7，2003.
- 4)安部隆二，岳本秀人，衛藤謙介：新千歳空港舗装帯の劣化原因調査及び対策工法の検討，土木学会舗装工学論文集 Vol.8，p.261-272，2003.12.
- 5)高田正志：福岡空港における滑走路舗装の変状と対策について，第6回空港技術報告会，2005.12.
- 6)瀧口高，江口秀二，茂崎慎治，福岡知久：シックリフト工法の空港誘導路舗装への適用，土木学会舗装工学論文集 Vol.10，p.113-118，2005.12.
- 7)早野公敏：空港舗装の表・基層を対象とした大粒径アスコンの耐久性評価試験，舗装工学論文集 Vol.10，p.107-112，2005.12.
- 8)八谷好高，高橋修：大粒径アスファルトコンクリートの空港舗装表層への適用性，土木学会論文集 No.732，V-59，p.214-246，2003.5.
- 9)牛尾俊介：アスファルト舗装のわだち掘れ予測方法に関する研究，土木学会論文集第323号，p.151-163，1982.7.
- 10)奥田豊：大粒径アスファルトコンクリートを用いた関西国際空港の滑走路大規模改修について，第9回空港技術報告会，2008.12.