

大粒径アスファルトを用いた 関西国際空港の滑走路大規模改修について

奥田 豊

関西国際空港株式会社 計画技術部 技術グループ（〒549-8501 大阪府泉佐野市泉州空港北1）

関西空港の第1滑走路は、開港から13年が経過し、舗装の劣化が進行してきたことから、第2滑走路オープンを期に全面改修を行った。舗装の改修工事は2007年12月～2008年8月にかけて行われ、現在良好に運用されている。改修の特徴は、雨水排水勾配の回復のための厚い嵩上げを行ったこと、嵩上げ材料には施工の効率化、舗装の施工界面の減少、滑走路の暫定運用を考え「大粒径アスファルトコンクリート」を使用したことである。ここでは、改修工事の特徴を中心に改修方法の検証や本工事でのモニタリング結果について報告する。

1. はじめに

関西空港の第1滑走路は、1994年に開港してから13年経過し、アスファルトの硬化や舗装内の水分量の増加、層間剥離やびび割れといった劣化が進行していた。また、関西空港特有の不同沈下により滑走路の横断方向の排水勾配も低下していた。一方で、滑走路1本での運用時は、週3回、それぞれ2.5時間しかメンテナンス時間がなかったことから抜本的に改修しにくい状況であった。2007年8月第2滑走路の供用により十分なメンテナンス時間が確保できるようになったことを期に、第1滑走路を全面改修した。舗装工事は2007年12月から2008年8月にかけて行われ、現在、万全な滑走路として24時間運用を支えている。

改修に当たっては、長期的な耐久性を確保し、近年他空港でも問題となっているブリストリング対策に万全を期すること、加えて排水性の改善のために厚い箇所では50cm以上もの嵩上げが求められた。一方で、昼間の混雑時は2本の滑走路が運用できるよう工事は夜間に限定、日々復旧し交通開放するという条件下で、早期に万全な2本の滑走路運用が求められた。

この改修工事で最も課題になったのが、滑走路を安全



写真-1 改修対象範囲

かつ効率的に厚く嵩上げする方法であった。これについては、嵩上げ材料に、近年、空港舗装の適用事例が増えてきた「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、改修方法の考え方を報告するとともに、大粒径アスファルトコンクリートの適用性について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. 改修前の舗装の状況

第1滑走路の断面構造は、安定処理した上部路床を含め最も厚い箇所でも122cmあり、表層は5cmの密粒（Top20mm、ストアス）、基層は12cmの粗粒（Top20mm、ストアス）となっている。

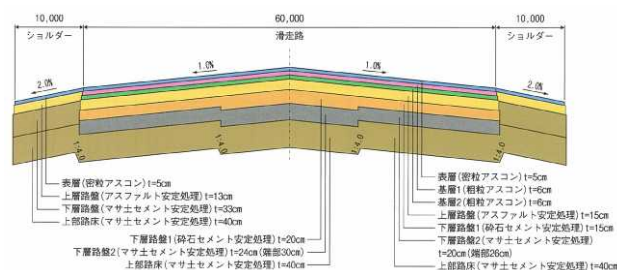


図-1 第1滑走路の舗装構造

(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、グルーピングの溝も浅くなっている状況である。図-2は、滑走路が供用されてから10年間程度の主なびび割れの状況である。



写真-2 滑走路表面の状況



写真-3 滑走路のひび割れ

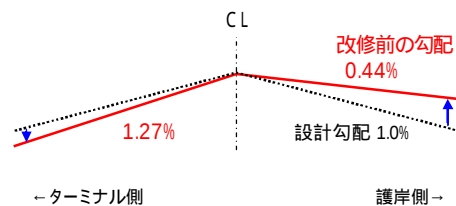


図-3 滑走路の横断勾配の変化状況

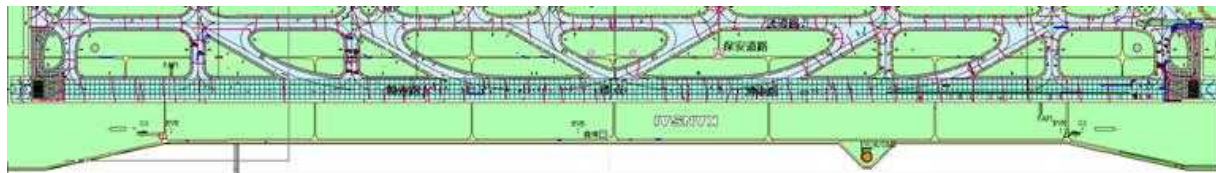


図-2 滑走路のひび割れ発生位置

ひび割れは滑走路を横断するように発生しており、多くが1995年兵庫県南部地震が原因で発生したものである。コア調査により、ひび割れは下層の安定処理層まで貫通していることがわかった。

次に図-3は、滑走路の中で不同沈下により最も横断勾配変化が大きい箇所の状況を示している。滑走路の横断勾配は雨水の排水性能の確保から1994年開港時に1.0%になるよう設定しているが、その後、不同沈下の発生により10年程度をかけて徐々に勾配が変化している。空港島の特性として、島の中心に向かって沈下が大きくなる傾向にあり、滑走路の全面に渡りその傾向を示している。

(2) アスファルト混合物の性状

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ている。

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箇所のコア採取が行われている。これによると基層と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層間剥離が発生していた。写真-4は、その1年後（2004年）に採取したコアの状況である。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わかる。

採取コアの空隙率¹⁾、針入度、水分量の室内試験結果を経年的に表したものを図4～6に示す。基層の空隙率は良好な状態にあるが、表層については著しく低下していることがわかる。針入度については、表層にいくほど低下しているとともに年々減少傾向にある。針入度が25以下でひび割れ発生が多くなるとされており、ひび割れが出やすい状況である。また水分量においては、下層にいくほど増加しており、特にひび割れ部では1%を越えている状況である。

(3) 舗装状況のまとめ

コア採取の結果から、アスファルトの劣化が進行していることが分かり、塑性流動やひび割れが発生しやすい状況である。また舗装内の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であり、出来るだけ早期に改修を行う必要があった。また地震で発生したひび割れは深く貫通しており、これについても対応が求められた。

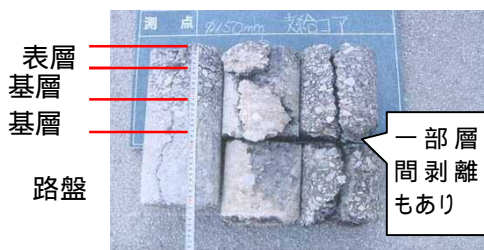


写真-4 滑走路の採取コアの状況

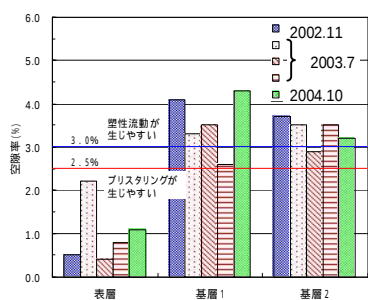


図-4 空隙率の状況

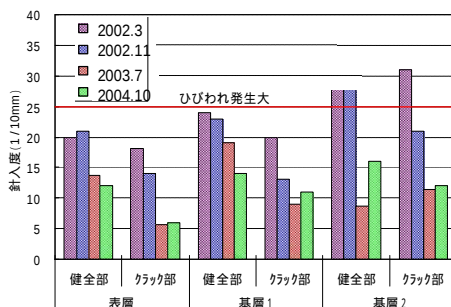


図-5 針入度試験の結果

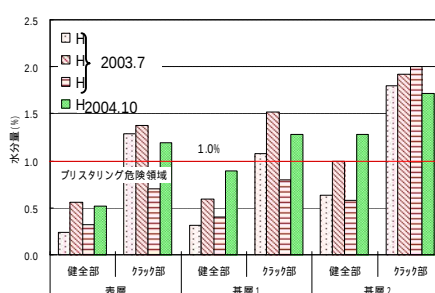


図-6 水分量の状況

3. 滑走路改修方法の考え方

(1) 改修の課題と対策の方向性

(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

下部まで貫通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。

(施工上の課題)

効率的な嵩上げ方法

早期に工事完了が求められていることから、大幅な嵩上げを効率よく行う必要がある。

施工期間中の滑走路供用の確保

昼間の混雑時は2本の滑走路が運用できるよう工事は夜間に限定し、日々復旧し交通開放する必要があることから、嵩上げには、暫定的に交通開放し安全に供用できる材料を用いる必要がある。

(2) 滑走路の改修構造

以上のような課題を踏まえ、滑走路の改修構造は図7～8に示す通りとした。

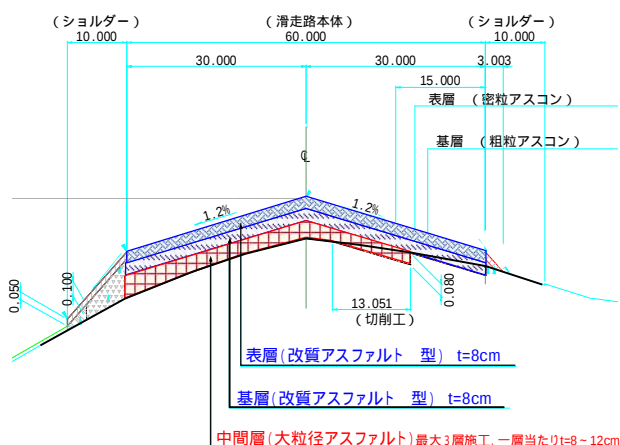


図7 滑走路の標準改修断面

(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、補修要領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なとされる最小厚15cmを確保し、グルーピング1cmを考慮して16mとする。
- 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とする。
- 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アスファルト材料には改質型を用いる。

(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る。
- 施工の効率化、弱点となる舗装の施工界面の減少、滑走路の暫定運用を考慮最大粒径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。

(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）および他空港の事例⁶⁾を参照し設定。
- 動的安定度は他空港の事例およ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。

4. 大粒径アスファルトの骨材剥離抵抗性検証

大粒径アスファルトコンクリートの表面のきめが粗いことから、そのまま滑走路を暫定的に供用するとき、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、新千歳空港での事例や八谷らの研究⁸⁾により検証されているが、本改修では滑走路の広い範囲に渡って大粒径アスファルトコンクリートのまま3ヶ月程度供用を続けること、配合によって骨材剥離抵抗性も変化することが考えられることから、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ファルト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。それぞれの試験結果とも粗粒アスファルトと差がない結果となった。また回転式WT試験では、開放温度を70℃まで上げたとしても粗粒

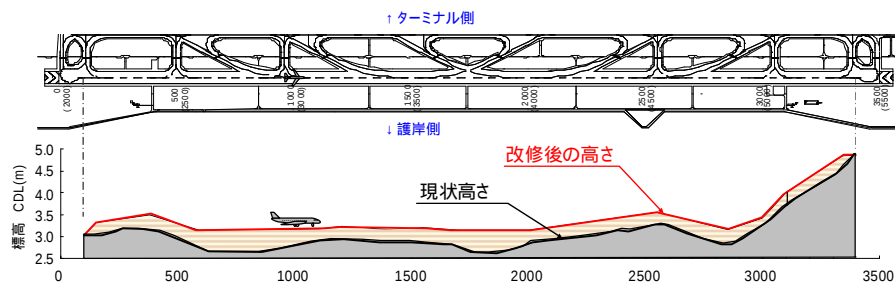


図8 滑走路の嵩上げ高さ（滑走路センター）

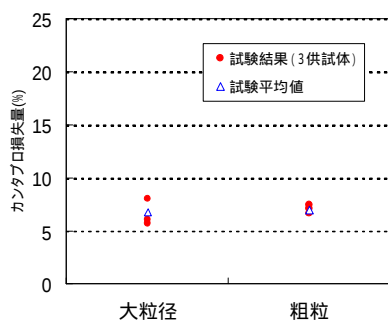


図-9 カンタブロ試験結果

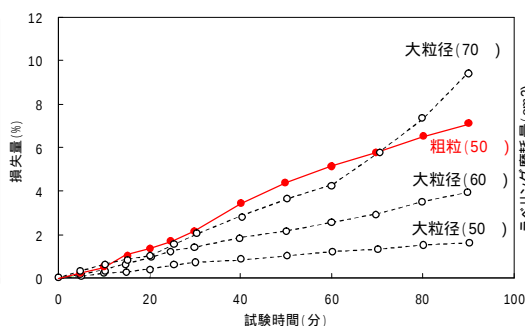


図-10 回転式WT試験結果

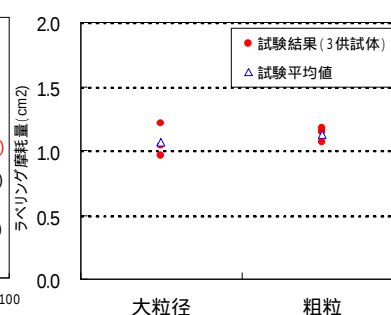


図-11 ラベリング試験結果

アスファルト50 と同等の性能を示すことが確認できた。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問題ないと判断した。また実際の工事で、も暫定開放後、目視観察により骨材剥離状況について確認することとした。

5. 滑走路改修工事の概要

(1) 施工期間中の運用条件

工期の短縮、施工の効率性の観点からクローズ日は出来る限り多く確保し、1日の施工時間が長い方が望ましいが、2本の滑走路のクローズ日を工夫し国際空港としての24時間発着を可能とすること、発着回数の多い23時近くまでは第1滑走路をオープンしておくことが求められたことから以下の通り設定した。

第1滑走路のクローズ

期 間：2007年10月～2008年8月末
日：週5日（日、火、水、金、土）
時間帯：23:10～翌日6:40（7時間30分）
残りの2日は第2滑走路がクローズ

(2) 資材の搬入

本改修工事では、総量16万トンもの大量のアスファルトコンクリートが必要となり、ピークでは1日2千トン使用することとなる。これを効率的かつ安定的に確保するため、空港内に仮設アスファルトプラントを設置し、大量の骨材等の材料は海上輸送し、空港の海上アクセス地区から陸揚げを行った。また、供給能力を上げるためホットサイロも併設した。



アスファルトプラント能力 360 t/h (2基×160 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

(3) 施工工程

- ・大粒径アスファルトコンクリートを用いた嵩上げ（中間層）は3層に分けて実施、一層当たりの厚さは8～12cmで施工。
- ・日々交通開放を行うため舗装工事の末端は1%ですり付けを実施。
- ・制限時間内に効率的に工事ができるようアスファルトフィニッシャー4台を同時施工。

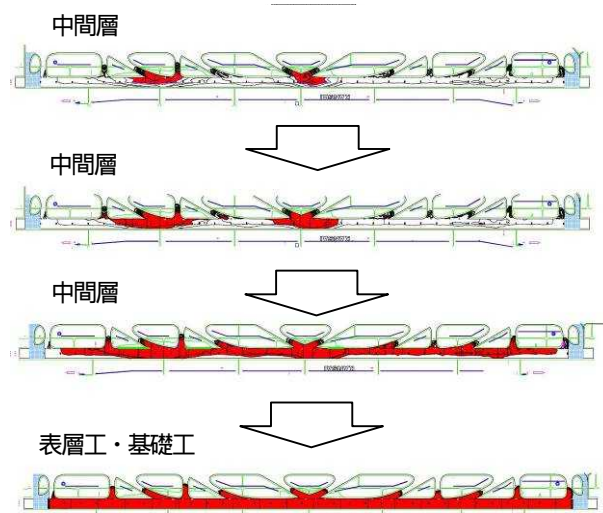


図-12 工事の展開図



写真-6 工事の状況

6. 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

7時間30分の施工時間の中で舗装の養生時間を短くし、敷均し時間を長く確保する方が施工の効率化が図れる。大粒径アスファルトコンクリートは標準的なアスファルトよりも動的安定度が高いことから、交通開放温度を高め設定し養生時間を短くできる特性がある。そこで関西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ションすることで交通開放温度の検討を行った(図-13)。なお、この予測手法は牛尾の方法⁹⁾を参考に実施している。

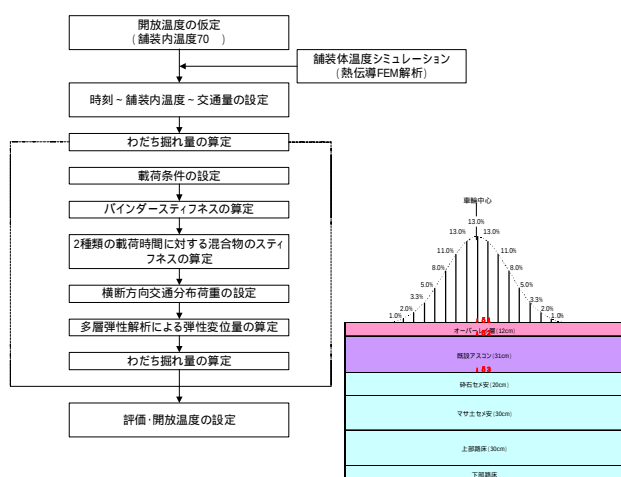


図-13 わだち掘れ量の推定方法

4章で示した骨材剥離抵抗性は開放温度70 程度でも問題ない結果となっていることから、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、これは補修要領で評価B(10mm～38mm)に相当することから運用上問題のないレベルと判断した。したがって交通開放温度(内部温度平均)は70 と設定した。

(2) 試験施工および本工事での検証

施工サイクルタイムを決める上で、工事開始前に仮設ヤードにおいて試験舗装を行い、交通開放目標温度に達するまでの経過時間を測定した。また本工事では、最初に施工する場所をモニタリング箇所(図-16)として、路面の変形量や舗装温度を計測した。舗装の温度測定には表面温度計および熱電対により連続的に舗装内部温度を計測している。

図-17は試験舗装での大粒径アスファルトコンクリートの舗装内温度測定結果である。試験舗装では6箇所計測が行われ、平均78分で目標とする70 に到達した。本工事では60分程度で目標温度に達したことから、以後の大粒径アスファルトコンクリートの舗装工事については、最終敷均し時間を、試験舗装で設定した時間より30分遅らせることで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舗装の施工直後と交通開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。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。図-18に中間層 において計測した結果を示す。

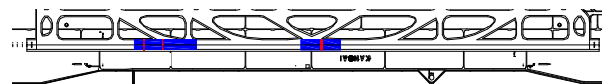


図-14 モニタリング箇所

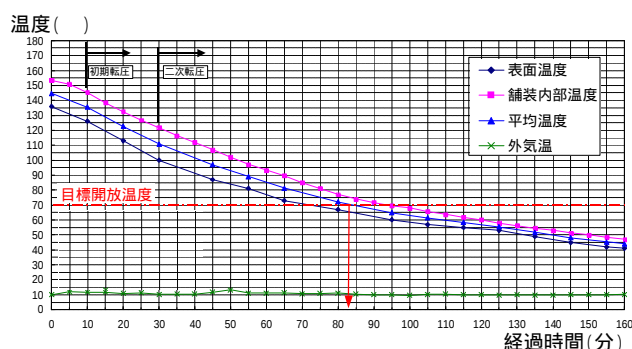


図-15 試験舗装での舗装内温度測定 事例

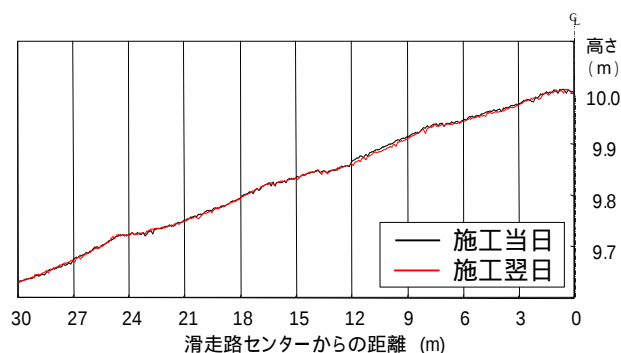


図-16 大粒径アスファルト舗装の横断形状計測事例



写真-6 大粒径アスファルト舗装の表面

7. まとめ

本報告では、関西空港で初めて実施した第1滑走路の大規模改修について、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による交通開放の安全性について室内試験により検証したこと、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問題ないことを報告した。

本工事での大粒径アスファルトコンクリートの施工では、均一性を保つことが難しく表面が粗くなる箇所も発生するなど室内試験などではわからない問題点も明らかになった。この問題については、混合物の配合を工夫し、施工方法に改善を加えることで対応したが、通常のアスファルトと比較し施工に注意を要する材料である。大粒径アスファルトコンクリートの空港舗装への適用に当たっては、材料としての性能だけではなく施工方法を含めた総合的な検討が必要であることがわかった。

今後は、点検業務、FWD、PRI調査など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きたい。

8. おわりに

滑走路の改修方法については、学識経験者や専門家による委員会を設置し、ご意見を頂きながら検討を進めて

きた。本委員会の委員長を務めていただいた福手勤 東洋大学教授をはじめ委員の方々には大変貴重な助言をいただいた。この場を借りて感謝申し上げます。

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, pp.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, pp3-7, 2003.
- 4) 安部隆二，岳本秀人，衛藤謙介：新千歳空港舗装体の劣化原因調査および対策工法の検討，土木学会舗装工学論文集 Vol.8, pp.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, pp.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 / -59, pp241-246, 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，pp.2151-163, 1982.7.