

シックリフト工法の空港誘導路舗装への適用

瀧口 高¹・江口 秀二²・茂崎 慎治³・福岡 知久⁴

¹ 正会員 大成ロテック株式会社関西支社技術部 (〒541-0081 大阪市中央区南船場1-14-10)

² 日本政策投資銀行地域企画部 (〒100-0004 東京都千代田区大手町1丁目9番1号)

³ 国土交通省四国地方整備局港湾空港部 (〒760-0017 高松市番町3丁目4番18号)

⁴ 日本工営株式会社首都圏事業部交通運輸部 (〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4)

大型航空機が低速で走行・停止をする大阪国際空港B誘導路において、既設アスコン層の調査結果から厚さ28cmの撤去、復旧の必要があると判断された。

対策工法として大粒径アスファルト混合物の適用が望ましいと考え、配合・使用材料の検討、供用中の空港における制約条件に係る施工的な細部の検討を行った。

本報文では、厚層(シックリフト工法)施工を空港舗装に適用する場合の問題点を明らかにし、試験施工およびパイロット工事により解決策を求め、実施工に適用して妥当性を確認した結果を報告する。

Key Words: large aggregate asphalt mixture, airport pavement, thick lift method

1. はじめに

大阪国際空港は、昭和39年度から整備工事が始められ、昭和46年4月に現有施設の全面的な供用を開始し、平成6年9月関西国際空港の開港までの間、関西圏で唯一の国際空港として利用されてきた。

空港基本施設の中でもB誘導路は大型航空機が低速走行、離陸待ちの一時停止を行い、アスファルトコンクリート舗装としては非常に過酷な供用条件におかれてきた。特に路面温度が60℃程度に達する夏季を中心として路面損傷が多く確認され、平成7年度に全面改修を行ってから7年間で輸跡部における路面の補修率が50%以上となった。路面にはひび割れ、わだち掘れ等が発生し、一部では粒状化破損等も確認され根本的な対策が必要となった。

B誘導路の供用性改善を図るために、舗装に関わる調査・検討を行い、対策工法として大粒径アスファルト混合物(以下、大粒径アスコン)によるシックリフト工法を選定し、本工事に採用した。

本報告は、当該工法決定に至った調査結果を紹介するとともに、大規模切削・打換え工法を用いた実施工について報告するものである。

2. B誘導路の破損状況

B誘導路は昭和46年4月の供用以来、3回の全面改良工事が行われている。その都度、当時の技術を駆使し、アスファルト材料を変更する等の対処を取ってきたが、航空機の大型化や利用頻度の増加等が重なり、約8年/回の改良工事を行っている。数回の改良工事により、B誘導路の

現状舗装断面は図-1に示すように硬い鉤さい層の上に厚さ57cmのアスコン層がある状態となっている。

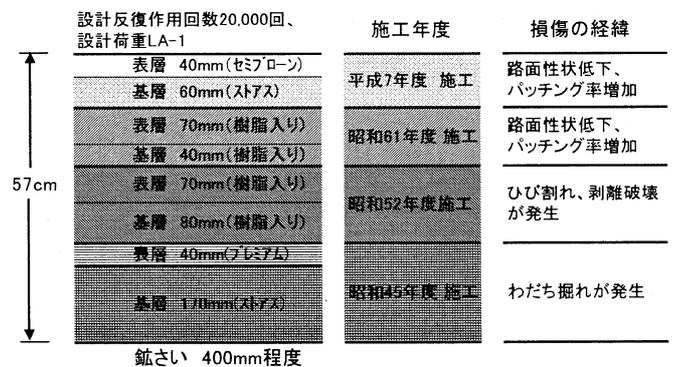


図-1 舗装断面及び改修履歴

3. 現地調査結果と破損原因推定

路面損傷の発生時期は、夏季に多く、わだち掘れとひび割れが主な損傷である。また、一部の区間においてはプリスタリングも認められた。このような損傷形態の原因としては、アスコンの感温性に伴う性能の低下、老朽化などに伴う上方からの水分浸入が考えられた。

この推測を究明、把握するためにコア採取等の調査を行った。ひび割れ深さ、アスコン含有水分量、層間剥離状況、剥離抵抗性等について深度別に調査を行った結果の総括を表-1に示す。コア採取の結果、既存資料でも報告²⁾されている層間剥離や混合物の剥離が認められた。

昭和45年度施工アスコンの性状が最も低下しているほ

か、昭和52年度施工アスコンは概ねGL-28cmまでの性状低下が確認された。

表-1 現地調査結果の概要

施工年度	ひび割れ	空隙率	含水量	層間剥離	剥離抵抗性	安定度
平成7年	GL-20cm程度までととなっている	上部は低下	GL-25cm程度までが多い	GL-10cmに有り	問題なし	問題なし
昭和61年		大きな変化なし		GL-21cmに有り	やや悪い	問題なし
昭和52年		上部は低下			GL-28cmまで悪い	問題なし
昭和45年		低下			基層は悪い	基層強度は確保しない

昭和45年度アスコンはGL-36cmに位置し、現行舗装設計法³⁾では下層路盤に位置する。空港舗装の標準下層路盤は切込砕石であり、アスコンは劣化し安定処理層としての機能は発揮できていないものの、粒状路盤材程度の性能は期待でき、切込砕石同等として基準舗装厚を満足すると評価した。

そのため、アスコン層としての機能を発揮していない層は表-1よりGL-28cmまでと評価できる。

また、大型切削機の施工可能深度は30cm/回であり、施工面からも実現可能な深度と考えた。

これらの調査結果を踏まえて、路面損傷の原因を以下のとおりとし、対策工を検討することとした。

- ① ひび割れは上方より発生しており、既設表層の材料特性、経年変化の劣化に伴い発生した。
- ② さらに、ひび割れより降雨が浸入して剥離破壊を生じ、バインダーによる結合力が低下している。また、深部のアスコンには過去に含水した水分が残留している。
- ③ 水によるアスコン性状低下、夏季の温度上昇に伴うアスコン弾性係数の低下、塑性流動化により夏季の損傷が多くなった。
- ④ 舗装内部水分により一部でプリスタリング現象が生じた。
- ⑤ 航空機の進行・停止の制動（水平荷重）に伴うせん断応力より施工界面部に層間剥離が生じた。

4 対策工の検討

(1) 対策工の方針

性状が低下した層を残した対策を行うと、舗装寿命を低下させる原因となることから、GL-28cmまでを切削し、打換えることとし、調査結果を踏まえ、図-2のような対策を講じることとした。

(2) 施工上の制約条件

入場可能時間は21:30～6:00であり、かつ、始発便が通過する7:00には有害な初期わだち掘れが生じない温度まで低下させる必要がある。

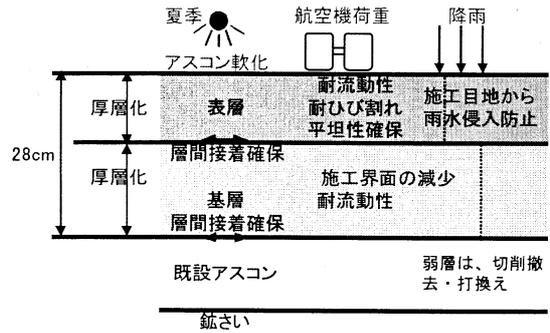


図-2 対策工法に求められる要件

(3) 対策工法の選定

既設舗装と同じく、アスファルトコンクリート系で対策工法を選定すると、耐久性の高い材料を用いた混合物を薄層に積層していく従来工法と、シックリフト工法を踏まえた厚層化施工が考えられた。すなわち、耐久性の高い材料の選定と施工性等を踏まえた施工層厚の設定が必要となった。

施工層厚は、層間剥離が生じていた事実を踏まえれば、施工界面は極力減らす必要がある。

そこで、図-2に示す2層施工が適切と考えた。

表層にはひび割れ抵抗性と耐流動性が要求され、基層にも耐流動性が要求される。このような要求性能を満足させるため、既存研究⁴⁾や他空港施工事例⁵⁾なども踏まえて、以下の混合物の採用を選定した。

○表層：改質アスファルトⅡ型使用 密粒度アスコン

○基層：大粒径アスコン

また、施工厚さは他空港実績²⁾や平坦性の確保などを考慮して表層厚を8cmとし、残りの20cmを基層として大粒径アスコンを適用することとした。

基層20cmの大粒径アスコンは空港舗装では特に誘導路に適しているといわれている⁶⁾が、実際に改良工事として大規模に適用した事例はなかった。そのため、対策工を実効あるものとするには、大粒径アスコンの配合仕様の設定、シックリフト施工に伴う供給量の確認、施工仕様・施工計画の設定が必要となった。

5. 大粒径アスコンの配合・施工仕様検討

(1) 配合検討

配合設計では既存資料⁴⁾を参考に、特に粗骨材の配合比をパラメータとして混合物性状を把握した。その結果、図-3に示す合成粒度（最大粒径30mm）が最も耐流動性を確保できることが確認できた。骨材配合の特徴としては、5号砕石を省き、骨材のかみ合わせを高めるような方策を採っていることであり、このような合成粒度の混合物は耐流動性が向上することが報告されている⁷⁾。また、硬くなりすぎることによるひび割れ発生も防ぐ必要があるため、ひび割れ抵抗性、剥離抵抗性についても確認を行い、表-2に示す混合物仕様を設定した。

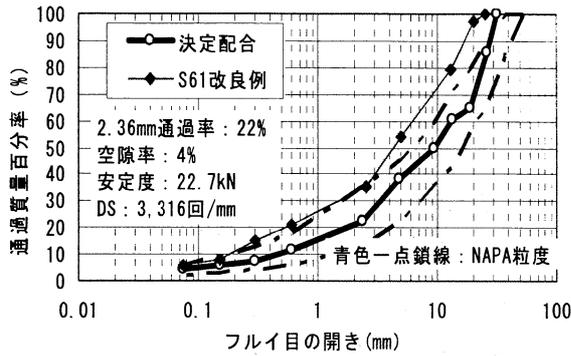


図-3 大粒径アスコンの合成粒度

表-2 配合要求仕様と試験結果

項目		要求性能	室内試験値
マーシャル特性	安定度 (kN)	19.8以上	22.7
	フロー値 (1/100cm)	30~60	39.0
	空隙率 (%)	3~5	4.0
WT試験	動的安定度 (回/mm)	3,000以上	3,316
曲げ試験	破断ひずみ	5×10^{-3} 以上	2.2×10^{-2}
水侵WT試験	剥離率 (%)	5以下	0

※室内試験はストアス、最大粒径30mm

なお、配合検討とあわせて、市中プラントにヒアリングし、大粒径アスコンの製造可否、供給体制などを調査している。

前記したとおり初期わだち掘れを抑える必要があり、一般には初期わだち舗装表面温度を50℃以下として交通解放している⁸⁾。しかし、解放温度は混合物の特性に応じて設定することが合理的であり、フルデプス指針⁹⁾では60℃、QRP工法¹⁰⁾では交通量にもよるが80℃といった指標が設けられている。そこで、本検討では、供試体温度を50~70℃としてホイールトラッキング試験を実施し、密粒アスコンの50℃時と同等の動的安定度となる70℃を大粒径アスコンの交通解放温度とした。(図-4を参照)

(2) 試験施工

試験施工は、室内試験等により設定・確認した性能が現地で再現できるかを確認することを目的とし、①所定の締固め度を確保できる転圧仕様の設定、②アスコン温度の低下傾向の把握、③施工歩掛りの把握、等の調査を行った。なお、試験は運用上航空機走行のないB誘導路内で実施した。

試験施工は、転圧仕様(転圧機種、転圧回数)、バインダー、中温化材をパラメータとして計画した。

試験施工結果を以下に示す。

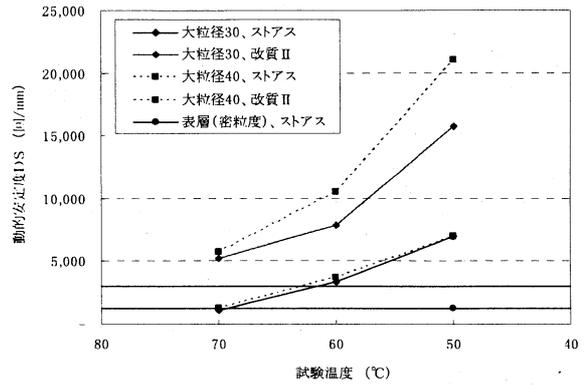


図-4 供試体温度と動的安定度の関係

- ① 締固め度98%以上を確保し、仕上がり状態等を勘案し、以下の転圧仕様を設定した。
一次転圧：振動ローラ8t級 4回(初回は無振)
二次転圧：タイヤローラ25t級 12回
- ② 舗装温度測定結果をもとに、本施工における温度シミュレーション解析を行った結果、舗装中心までの平均温度が70℃になるには220分を要することがわかった。この結果を本工事条件に当てはめた場合、本施工の敷均しは3:30頃には完了する必要があることが想定される。
- ③ 中温化材を添加することで、転圧温度の下限値を下げる効果が期待できるが、この効果を施工延長に換算すると5m/日の増加に止まった。費用対効果を考えると中温化材は不要と結論した。

(3) 実規模耐久性確認(パイロット工事)

これまでの補修・損傷履歴より、対策直後の夏季に路面変状が急激に変化すると予測された。そのため、選定した配合仕様、施工仕様にて供用中のB誘導路でパイロット工事を施工し、航空機走行に伴う供用性の変化を調査した。パイロット工事断面は、図-5に示す4断面とし、2003年4月から2003年9月まで追跡調査を行い、最終的な舗装断面を決定するものとした。

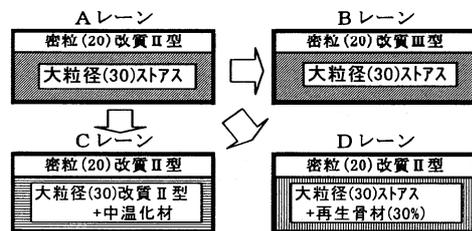


図-5 耐久性確認試験断面

図-5の断面に対して路面性状変化、コスト等を比較したものを表-3に示す。混合物性状の比較ではどの断面についても設定した規格を満足している。路面性状についてはAレーン以外では安定している。加えて、Dレーンではコスト面で有利であるので対策工断面として望ましいと判断した。

表-3 耐久性確認試験結果

項目		Aレーン	Bレーン	Cレーン	Dレーン
混合物性状	動的安定度(回/mm)	3,316	3,706	3,500	5,250
	安定度(kN)	25.69	25.69	30.41	23.17
路面性状	平坦性(mm)	1.92	1.60	1.99	1.38
	横断わだち(cm)	1.07	0.15	0.04	0.31
コスト比率	表層+基層	1.00	1.09	1.06	0.99

6. 大規模厚層化切削打換え舗装工事の概要

(1) 工事の概要

工事名：大阪国際空港B誘導路改良工事
 工期：2003年12月5日～2004年3月12日
 施工内容：28cm厚のアスファルトコンクリート切削・打換え工
 施工数量：延長=752m，幅員=23m，面積=18,428m²

本工事は平成16年1月より行い，施工上のトラブルもなく工事は完了した。日施工延長は30～45mであり，結果的には当初計画以上の日施工量が確保できた。

施工は28cmの切削と基層部20cmの舗設を行った後，端部のすりつけ工事を行い暫定交通解放し，航空灯火工事を行った後に表層8cmを施工した。

(2) シックリフト工法施工に係わる対策と結果

a) 基層施工時の開放温度

実施工初日において実測した温度測定結果を図-6に示す。

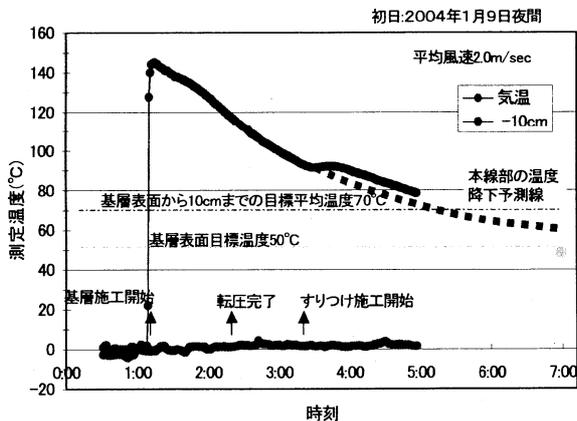


図-6 舗装体温度計測結果

熱電対温度計埋設位置が擦り付け位置に相当していた関係で，予測線という形となったが，

- ① 敷均し温度145°Cの基層大粒径混合物の中心部(-10cm)の温度は120分で90°Cまで降下する。
- ② 温度降下の状況を予測線で延長すると供用開始の7:00AMには65～50°Cとなるものと推測される。

ことがわかった。

幾分かの余裕を持たせて150分(2時間30分)の養生を行え

ば，基層中心部の温度は少なくとも70°C以下，実際には65～50°Cとなっているものと考えられ，目標の基層表面から10cmまでの平均温度70°C以下を十分に満足することが確認できた。また，表面温度については別途表面温度計で計測したが，120分経過後で48°Cとなっており，目標の50°Cを下回ることを確認した。

以上より，150分の養生時間を見れば要求事項の平均温度70°C以下を満足できることを確認した。なお，施工計画検討時では，外気温の上昇等の気象変化を想定して，解放温度の確保のために，中温化材の適用，アスファルト舗装強制冷却車(パワークーラー)の導入も検討していたが，養生時間を確保することにより開放温度を制御することで対応することとした。

b) 初期わだちの計測結果

施工直後にわだち掘れを計測し，翌日同一地点で初期わだちを計測したところ，最大で3mmの変化であり，交通解放温度の適切性が検証されたと考える。

c) 平坦性

平坦性確保に関しては，混合物の安定供給が大きな課題であり，基層施工時には2基のプラントから出荷した。表層施工時には①施工延長を100m以上に設定，②混合物の安定供給，③アスファルトフィニッシャーに5個の超音波センサーを使用する非接触式舗装厚自動制御装置を使用，といった対策を講じた。平坦性の測定結果は表-4のとおりである。

表-4 平坦性計測結果 (単位:mm)

測定位置	L側9.3m	L側5.5m	センター	R側5.5m	R側9.3m
表層上	1.39	1.45	1.49	1.48	1.39
基層上	—	3.35	3.48	3.30	—

基層施工完了時には標準偏差は3.4mm程度で，よい結果とは言えない。表層の出来型基準⁸⁾は2.4mmでこれを適用すると1.5倍の標準偏差である。これは，一日の基層施工数量が30～45m程度と日施工延長が短いことが原因と考えられる。ただし，表層完了後では1.4mmまで回復できており，十分に基準を満足している。28cmを施工するのに施工層数が2層であることと，表層混合物は，施工厚さが8cmで空港土木工事共通仕様書に示される仕上がり厚7cmより1cm厚いため平坦性に関する懸念があったが，舗装表面において十分に規格内の品質を確保できた。

なお，筆者らの経験で言えば，空港改良工事例では平坦性は1.0mm程度と思われ，完成直後の路面としては，若干平坦性が落ちることが言える。

(3) 使用材料

a) タックコート

層間の接着強度を高め、航空機のせん断力に耐えるよう、既設切削路面および基層上に散布するタックコートはゴム入りアスファルト乳剤(PKR-T)を使用した。なお、切削面や基層暫定解放面においては、加熱機で路面温度を上昇させてからタックコートを散布し、分解を促進させる対策を採った。

b) 基層混合物

大粒径混合物の主要性状を以下に示す。

表-5 基層混合物の主要性状表

骨材配合率 (%)	4号砕石	6号砕石	7号砕石
	38.5	16.0	10.0
	粗砂	消石灰	再生骨材
骨材粒度 (%)	フルイ目 (mm)	合成粒度 (%)	粒度範囲
	4.0	1.5	30.0
	37.5	100.0	100~85
	31.5	99.2	-
	26.5	82.4	100~67
	19	64.7	80~56
	13.2	60.3	72~43
	9.5	54.0	60~37
	4.75	37.8	45~22
	2.36	22.8	35~14
	0.6	13.6	18~6
	0.3	9.7	13~4
	0.15	5.9	9~3
	0.075	4.6	6~2
マーシャル性状	項目	測定値	規格
	アスファルト量 (%)	4.40	-
	密度 (g/cm ³)	2.440	-
	空隙率 (%)	3.80	3~5
	安定度 (kN)	22.11	19.8以上
	フロー (1/100cm)	44	30~60
ホイールトラック試験	動的安定度 (回/mm)	4,350	3,000以上

c) 表層混合物

密粒度(20)改質II型混合物の主要性状を表-6に示す。

表層混合物については、空隙率を規格範囲内で大きく設定した。これは、過去の当該誘導路で発生したブリスタリングへの対応をしておくというもので、これまで採用していた3.5%から0.4%程度ではあるが空隙を増やし3.9%とした。

表-6 表層混合物

骨材配合率 (%)	5号砕石	6号砕石	7号砕石	
	17.5	27.5	14.5	
	スクリーニングス	粗砂	石粉	
骨材粒度 (%)	フルイ目 (mm)	合成粒度 (%)	粒度範囲	
	11.5	24.0	5.0	
	26.5	100.0	100	
	19	99.2	100~95	
	13.2	82.4	90~75	
	47.5	55.2	65~45	
	2.36	40.1	50~35	
	0.06	24.6	30~18	
	0.03	17.6	21~10	
	0.15	8.5	16~6	
	0.075	5.8	8~4	
	マーシャル性状	項目	測定値	規格
		アスファルト量 (%)	5.20	-
		密度 (g/cm ³)	2.393	-
空隙率 (%)		3.90	2~5	
安定度 (kN)		13.23	8.80以上	
フロー (1/100cm)		30	20~40	
ホイールトラック試験	動的安定度 (回/mm)	5,489	5,000以上	
	曲げ試験	破断ひずみ (×10 ⁻³)	5.6	5.0×10 ⁻³ 以上

(4) 施工に関して

a) 切削工

28cmの切削工事を行うに当たり、施工機械の故障等のリスクも考慮して切削機を3台として2層で切削することとした。

b) 縦施工ジョイント

縦施工ジョイントは、全で一晩のうちに施工するのでホットジョイントあるいはセミホットジョイントとなり、不具合の原因となりにくい状況ではある。しかし、過去の破損状況なども考慮し、航空機(B747-400, 最大荷重400ト)、タイヤ接地圧(1.38N/mm²)の車輪配置を考慮し、下図のように配慮した。

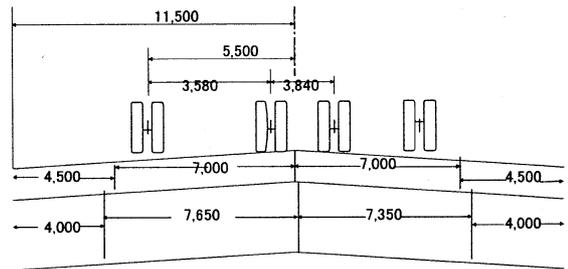


図-7 航空機(B747-400)車輪配置と縦施工ジョイントの関係

また、アスファルトフィニッシャの端部を改造してテーパをつけ、接着面積の拡大と、転圧時のニーディング効果でジョイント部の付着性を確保した。アスファルトフィニッシャの端部の状況を写真-1に示す。



写真-1 アスファルトフィニッシャのテーパデバイス

7. まとめ

大阪国際空港B誘導路の改良工事に係る検討結果をまとめ、以下に示す。

- ①利用条件が厳しい誘導路に対して、現行の管理基準⁸⁾以外に基層ではDS、表層ではDS及び破断ひずみの品質管理項目を設け、確実な性能の確保を図った。
- ②我が国の空港誘導路舗装では適用実績のない、誘導路全幅に対して28cm厚もの切削打替え工法を行い、

トラブルなく工事を完了できた。適用の妥当性が実証されたと考える。

- ③ 配合設計では耐流動性を向上させるため、粗骨材の配合に着目し、動的安定度3,000回/mm以上を得ることができた。
- ④ 施工においては、温度シミュレーションおよび試験施工を踏まえた温度管理を行い、ゴム入りの乳剤を使用して層間付着性を増加させる等の対策を採った。結果として、初期わだちを抑制すると共に、平坦性の確保などの目標性能を確保することができた。
- ⑤ 大粒径アスコンの厚層施工により従来工法(積層式)に対して主に機械損料が低減され、約4%のコスト縮減が図れた。

8. おわりに

現在(2005年6月)、1夏を経過した時点でストップライン直近に8mmのわだち掘れが見られるが、非常に部分的なものである。その他に、ひびわれ・ブリスタリング・ポットホール等は発生しておらず順調に推移していると言える。

今後、現地の追跡調査を継続することにより当該工法の適用状況を把握して行きたい。

また、今後の課題として、施工時期の選定も大切な検討要素であることがわかった。今回の実績からいえば気温が10℃を下回る条件での施工となったが、冬季以外の施工、あるいは20cm以上の一層施工厚さとなるときには中温化材の適用等の対策が必要と考える。

空港舗装でも新設から維持更新への転換により、当該誘導路のような大規模厚層改良工事が行われるものと思われる。未だ基準化されていないため、標準的な改良工法にはなっていないが、今回の一連の検討で、

空港アスファルト舗装の補修工法としての技術開発(厚層化施工・耐流動性対策)の一助になったと考える。

謝辞：本報文は平成13年度の改良調査検討会、平成14～15年度改良工法検討会の討議内容をとりまとめたものである。ここに、関係各位に深甚なる感謝の意を表するものである。

参考文献

- 1) 戸出勝：平成16年度近畿地方整備局管内技術発表会、施-7、2004.7
- 2) 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 第9巻、pp.35-40、2004.12
- 3) 国土交通省航空局：空港舗装構造設計要領、1999
- 4) 高橋修、八谷好高、阿部寛：空港舗装における大粒径アスファルト混合物の表・基層への適用性、土木学会舗装工学論文集 第4巻、pp.187-197、1999.
- 5) 松本浩史：新千歳空港滑走路改良工事における大粒径中温化アスコンの適用について、第3回空港技術報告会資料、2002.
- 6) 内田精一、安藤政浩、溝渕優：表層用大粒径アスファルト混合物に関する2、3の特性、舗装24-10、1989.10
- 7) 高橋修、増井和也、八谷好高：粗骨材の骨材構造に着目した大粒径アスファルト混合物の配合設計に関する一検討、土木学会舗装工学論文集 第9巻、pp.57-64、2004.12
- 8) 国土交通省航空局：空港土木工事共通仕様書、平成16年4月
- 9) (社)日本アスファルト協会：フルデプス・アスファルト舗装設計施工指針(案)、昭和61年9月
- 10) 建設省中国地方建設局：QRP工法設計・施工技術指針(案)平成6年2月

THE APPLICATION OF THICK LIFT METHOD TO RECONSTRUCTION OF THE AIRPORT TAXIING WAY PAVEMENT

Takashi TAKIGUCHI, Syuuji EGUCHI, Shinji MOZAKI, and Tomohisa FUKUOKA

In Osaka International Airport. It was necessary to reconstruct asphalt layer (28cm) of B taxiing way. However, on the airport under use, there was a technical problem in reconstructing in the asphalt layer of the 28cm thickness. Then, we examined the rapid construction method that will be able to open next morning. It reports on the application of "Thick Lift Method" that used "Large Aggregate Hot Mix Asphalt" for rapid reconstructing of the thick asphalt layer.