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

安倍隆二¹·岳本秀人²·衛藤謙介³

1正会員 独立行政法人北海道開発土木研究所 (〒062-0931札幌市豊平区平岸1条3丁目)

2正会員 独立行政法人北海道開発土木研究所 (〒062-0931札幌市豊平区平岸1条3丁目)

³非会員 国土交通省北海道開発局 港湾部空港課(〒062-0931札幌市豊平区平岸1条3丁目)

新千歳空港では平成12年6月滑走路点検時、表層に異常箇所が発見され補修が行われた.詳細調査を実施 したところ,表層だけではなく施工継目部の基層,アスファルト安定処理層が水の影響で強度低下している ことが確認された.「新千歳空港舗装検討会」で対策工法を検討した結果,滑走路の時間的制約から短時間 に施工が可能なシックリフト工法を併用した大粒径中温化アスファルト混合物を採用した本論文は舗装体 の劣化原因の調査,対策工法の検討結果についてまとめたものである.

Key Words : airport runway pavement, large-grain asphalt mixture, temperature reduction of asphalt mixture

1.はじめに

新千歳空港は昭和 63 年 7 月に供用開始した A 滑 走路(3000m × 60m)と平成 8 年 4 月に供用開始した B 滑走路(3000m × 60m)を有する第 2 種空港であ る(図-1).

平成12年6月に行った滑走路点検により,舗装 面が円形状に膨れ上がる現象が多数発見され,緊 急補修を実施したところである.その後,滑走路全 長にわたり,コア採取調査を実施したところ,表 層,基層,アスファルト安定処理層などアスファル ト混合物層間の剥離や,砂利状化している箇所が あることが確認されている.

国内の地方拠点空港である新千歳空港において,



図-1 新千歳空港平面図

舗装面が円形状に膨れ上がる現象が見られるばか りか,アスファルト混合物層の砂利状化という舗 装の劣化が進行しているのは明らかであり,将来 的にわたり舗装劣化に起因する事故を未然に防止 し,航空機の安全運航を確保するためには,A滑走 路およびD誘導路舗装の抜本的対策としての改良 工事を早急に実施する必要があった.

本論文は「新千歳空港舗装検討会」の検討内容を 中心に新千歳空港の舗装体の劣化原因の調査,対 策工法の検討および試験施工の結果についてまと めたものである.

2.調査結果

(1)異常箇所の発生時期

平成12年6月24日,A滑走路に異常箇所が報告 され,点検を行った結果,表層部分に直径20~ 40cm,高さ10~20mmのブリスタリング現象と思わ れる箇所が多数発見された.また,膨らみの頂上に クラックを生じている箇所もあり,補修箇所の方 法としては以下の方法で暫定的に補修を実施した.

軽微な箇所は膨らみ部分にピン等で穴を空け空 気(蒸気)を抜き,ガスバーナーで加熱してローラ で転圧し,クラック箇所はクラック補修材を注入 した.

表-1 新千歳空港の路面最高温度

н			路面温度		
Я		45 ~ 50	51 ~ 55	56 ~ 60	
4月	回	0	0	0	
当該日	日				
5月	回	6	0	0	
当該日	日	7,18,19,24,25,3	80		
6月		4	4	0	
当該日	日	13,24,29,30	16,17,18,21		
7月	回	5	3	1	
当該日	日	6,7,16,24,25	2,11,14	10	
8月	回	7	2	1	
当該日	H	9,12,13,14,19,	18,24	17	
計	回	22	9	2	

表-2 新千歳空港の舗装構成(A滑走路)

層番号	舗装構成	混合物の種類
1層目	オーバーレイ層	密粒度アスファルト混合物(20mm)
2層目	旧表層	密粒度アスファルト混合物(20mm)
3層目	基層(上部)	粗粒度アスファ ル ト混合物(20㎜)
4層目	基層(下部)	粗粒度アスファルト混合物(20mm)
5層目	上層路盤(上部)	アスファルト安定処理(40mm)
6層目	上層路盤(下部)	アスファ ル ト安定処理(40mm)

盛り上がり高さ15mm以上,ひび割れ幅3mm以上 については幅2m,深さ8cm程度で切削してオーバー レイによる補修を行った.

切削後の路面状態は,旧表層の施工継目(滑走路 中心から10mの位置)から水が浸みだし,下層から 水分が供給されていた.また,ブリスタリングの発 生している箇所は,ハンマで打音検査を行うと音 が健全部と異なり,異音がした.

次に平成12年度の新千歳空港の路面最高温度を 表-1に示す.外気温の影響を把握するため路面最 高温度の範囲45~60 を3階級に分け,発現回数 を上段,当該日を下段に示す.プリスタリングが発 見された6月24日の1週間前から路面温度が高くな り,路面最高温度が50 を超えている日が続いて おり,舗装体温度が上昇しているのが分かる.4,5 月は路面温度が50 以上になる期間が無く,6月中 旬の路面温度の上昇がプリスタリング現象を発生 させたと考えられる.

(2)採取コアの室内試験

a)採取コアの破損状況

表 - 2 に新千歳空港の A 滑走路の舗装構成を示 す.舗装構成は1層目にオーバーレイ層(平成11年 度施工)の下に旧表層,基層(上部,下部),アス ファルト安定処理層(上部,下部)の6層で構成さ れている.

図 - 1 に示す A 滑走路は起点 P=1800 から終点 P=4800 までの延長 L=3000m の滑走路である.





A 滑走路中心から左右 10m 離れたれた位置を 100m ピッチでコアを採取し,コアの状態を観察し た.図-2,3に各層のコアの破損状況を図示する. 図に示す破損コアは破損あるいはクラックが発生 しているコアを示す.図-2に示すR側は終点側や 取り付け誘導路の交差部(図上で楕円で囲んだ測 点),図-3に示すL側は起終点や取り付け誘導路の 交差部の位置の破損が多い.飛行機の離陸時に静 止加重が加わる位置や走行荷重の頻度が高いとこ ろが破損している.また,A滑走路の層間剥離状況 を図-4に示す(R側).層間剥離は滑走路全体に 亘って分布している.

b)水分量調查

無水ボーリングにより舗装体のコアを採取し, 舗装体に含まれている含水比を測定した.

図-5にオーバーレイ層,旧表層,図-6に基層(上部,下部),図-7にアスファルト安定処理層(上部, 下部)のP=4700の測点における横断方向の舗装体 の含水比を示す.P=4700 は図-1に示すようにA滑 走路の終点側に位置する.滑走路の施工継目位置 は滑走路中心,中心から左右10m,20mの位置であ る.水の分布状況は施工継目の位置の含水比が高 くなっており水は施工継目から浸入し,アスファ ルト舗装体に残留したと考えられる.

図-8にオーバーレイ層,旧表層,図-9に基層(上



コア内部状況	構成	層 厚(cm)	深度(cm)	採取コア
The second	オーバーレイ層	5.8	5.0	
	旧表層	4.7	10.5	1000
	基層 (上部)	5.0	10.5	2 200
	基層(下部)	6.5	15.5	
			- 22.0-	
E M7 4	アスファルト安定処理 (上部)	9.5	04.5	
	アスファルト安定処理 (上部)	9.3	31.5	anna an

写真-1 無水コアの状況(P=4700)

部,下部),図-10 にアスファルト安定処理層(上 部,下部)のP=4700の測点における舗装体の空隙 率を示す.アスファルト安定処理層の空隙率が高 く,最下層にあるため,基層に比べて水の横方向の 影響範囲は大きく,水分の保水性も高い.空隙率の 状態も旧表層,基層,アスファルト安定処理の順に 空隙率は高く,オーバーレイ層の空隙率が低いと ころもあり,水密性が高くなっている.

写真 -1 に無水ボーリングにより採取したコアと コアの内部の状況写真を示す.水分は層間に溜 まっているのが分かる.舗装体の中では安定して いるが,コアを採取すると応力が開放されて,コア がバラバラとなり骨材が剥離した.

滑走路におけるボーリングデータでは,地下水 位は地表面下3m程度の位置にあるため,浸入した

属釆旦	混合物夕	畄仚	測点					
眉田与	1亏 准合物名		P=3200	P=3400	P=4000	P=4100		
1層目	オ-パーレイ層	(cm/sec)	不透水	1.43 × 10 ⁻⁵	不透水	4.43×10^{-4}		
2層目	旧表層	(cm/sec)	1.74 × 10 ⁻⁷	不透水	不透水	1.66×10^{-4}		
3層目	基層(上部)	(cm/sec)	6.89×10^{-4}	4.88×10^{-4}	1.52 × 10 ⁻⁵	5.10 × 10 ⁻⁵		
4層目	基層(下部)	(cm/sec)	不透水	1.70×10^{-3}	4.12×10^{-5}	1.79×10^{-4}		
5層目	アスファルト安定処理(上部)	(cm/sec)	9.13×10^{-4}	9.55×10^{-4}	不透水	4.33×10^{-4}		
6層目	アスファルト安定処理(下部)	(cm/sec)	1.06×10^{-3}	3.36×10^{-3}	4.34×10^{-4}	2.04×10^{-3}		

表-3 加圧式透水量試験

良好部

表-4 A滑走路のアスファルト性状試験

試験項目	単位	試験条件	オーバーレイ層	旧表層	基層	上層路盤	標準的性状
抽出アスファルト量	%		4.93	-	5.48	4.64	
針入度	1/10mm	25 、100g、5sec	35	32	43	42	80-100
軟化点		環球法	54.4	53.9	50.8	52.7	42.0~50.0
伸度	CM	15 、5cm/min	13	10	26	18	100以上

7	ΓE	ᆂ	ᅒ
- 1	<u>۱</u>	Σc	נוב

試験項目	単位	試験条件	オーバーレイ層	旧表層	基層	上層路盤	標準的性状
抽出アスファルト量	%		5.89	-	5.45	4.41	
針入度	1/10mm	25 、100g、5sec	48	25	24	30	80-100
軟化点		環球法	51.8	58	57.1	56.6	42.0~50.0
伸度	CM	15 、5cm/min	22	6	6	6	100以上

表-5 マーシャル試験と舗装の等価値

A 滑走路のマー:		75% タイ	ル値=平	⊻均値 -	(最大値	- 最小値) / 係数			
	平均値 (kN)	標準偏 差(kN)	平均値 - 標準偏差	等価値	データ数	係数	最大値 (kN)	最小値 (kN)	75% タイル値 (kN)	等価値
オーバーレイ層	6.37	2.19	4.18	1.5	16	5.298	11.50	4.35	5.03	2.0
レベリング	6.80	2.52	4.28	1.5	3	2.547	9.73	3.58	4.38	1.5
旧表層	6.10	1.98	4.12	1.5	16	5.298	10.08	3.44	4.85	1.5
基層	6.64	1.94	4.70	1.5	32	5.897	10.47	2.62	5.31	2.0
上層路盤	8.99	2.49	6.50	2.0	32	5.897	13.00	4.21	7.50	2.0

A滑走路の水浸マーシャル試験結果

	平均値 (kN)	標準偏 差(kN)	平均値 - 標準偏差	等価値	データ数	係数	最大値 (kN)	最小値 (kN)	75% 91ル 値 (kN)	等価値
オーバーレイ層	6.52	1.98	4.54	1.5	30	5.897	11.02	225	5.03	2.0
レベリング	5.46	2.02	3.44	1.5	5	3.489	8.83	375	3.99	1.5
旧表層	7.10	2.02	5.08	2.0	28	5.897	10.64	212	5.65	2.0
基層	7.14	1.98	5.16	2.0	56	5.897	13.93	409	5.45	2.0
上層路盤	8.85	4.37	4.48	1.5	69	5.897	16.41	0	6.07	2.0



写真-2 異常箇所のコア



図-11 A 滑走路の水浸マーシャル試験(P=4700)



図-12 損傷原因の推定図

水は地下水の影響ではなく,雨水や降雪の影響で あると考えられる.

c)加圧式透水量試験

採取したコアを各層に切断して加圧式透水量試 験を行った.試験条件は500kPaを24時間加圧して 透水係数を求めた¹⁾.表-3に試験結果を示す.オー バーレイ層,旧表層(密粒度アスファルト混合物) 等に不透水層が見られる.特に表層,旧表層が不透 水層(1×10⁻⁷cm/sec以下)になり,層間に水分が 残留していればブリスタリング現象が起こる原因 となる.

次に,ブリスタリング箇所から採取したコアを 写真-2に示す.コアは旧表層と基層で層間剥離し, 下層の部分は骨材が一部剥離した.また,他のコア についてもブリスタリングが発生したコアは,層 間剥離が見られ,層間には土砂が付着しており,層 間に水が浸透し,土砂が溜まったと考えられる.

d) アスファルトの性状試験

表 -4 にA滑走路のアスファルト性状試験結果を 示す.A滑走路から採取したコアは,良好な箇所 (良好部)と層間剥離や崩壊していたコア(不良部) からアスファルトを回収し,アスファルトの性状 試験を実施した.試験では針入度試験,軟化点試 験,伸度試験を実施した.良好部と不良部ともに全 層に劣化が見られる.旧表層の劣化は外気温,紫外 線及び雨水等により劣化が促進されていると考え られるが,不良部の基層とアスファルト安定処理 層の劣化の原因は,水の影響によるものと考えら れる. e ヌーシャル安定度試験,水浸マーシャル安定度試験

図 -11 に P=4700 のアスファルト安定処理層の水 浸マーシャル安定度試験結果を示す.採取コアが 崩壊していたデータを0として表示してある.舗装 体の水による強度低下の影響範囲は,狭い範囲で あることがわかる.

表-5 にマーシャル安定度試験,水浸マーシャル 安定度試験の試験結果および舗装の等価値²⁾を示 す.等価値とは空港舗装における舗装体の健全度 を評価する値である.表では崩壊やクラックが発 生している箇所以外のコアを利用して試験を実施 した.強度低下はあまり見られず,この試験値から 舗装体の等価値を算出した.損傷部の既設アス ファルトを撤去する前提で等価値を算出すると平 均値-標準偏差と75%タイル値を総合的に判断し, アスファルト安定処理層の等価値は2.0(マーシャル安定 度4.9kN以上)と評価した.

f) 損傷原因の推定

新千歳空港における舗装表面の「ブリスタリン グ現象」および「アスファルト混合物層の砂利状化 現象」は,以下のような原因と過程により発生した ものと推定される(図-12).

クラックが舗装の弱点である滑走路中心など旧表層 施工継目部等から温度応力により直線的に発生した.

このことは,滑走路の補修工事前に実施したク ラック調査において,施工継目部にクラックが多 く発生している調査結果や滑走路の幅員が60mと 広いことから寒暖差による温度応力が舗装体に影 響し,舗装構造の弱点である施工継目に作用し,ク ラックが発生したと推定した. 表層クラックから雨水が浸透し,接着が弱かった舗装層間に浸入した.さらに基層以下の施工継 目(舗装の弱点部)から下層へ水が浸透した.

このことは,採取コアの全層に亘って層間剥離 が見られること(図-4)やコアの含水比が施工継 目部を中心に高くなっている現象(図-5,6,7), およびボーリングデータによる地下水位が表面か ら3m程度の位置にあり,地下水の影響は少ないと 判断し,雨水は舗装面の施工継目部から浸入し,下 層に浸透したと推定した.

浸透水が空隙率の高いアスファルト安定処理層 (上層路盤)に滞水し,水による劣化と凍結融解に より骨材とアスファルトを分離し砂利状化した.

このことは,採取コアによる水分量調査では,ア スファルト安定処理層の含水比(図-5,6,7)や 空隙率(図-8,9,10)が大きく,水分が滞水して いる状況にある.水による影響を確認するため マーシャル試験,水浸マーシャル試験およびアス ファルト性状試験を実施した結果,水浸マーシャ ル試験ではアスファルト安定処理層の強度が低い データ(表-5,図-11)やコア採取時に砂利状にな り(写真-1),崩壊するコアが見られた.また,ア スファルトの性状試験(表-4)では旧表層以外の 基層,アスファルト安定処理層にもアスファルト の劣化がみられ,水による影響と推定した.

アスファルト安定処理層は水分が含まれており, 水の影響や冬期間の凍結融解の影響が,アスファ ルト安定処理層の砂利状化の原因と推定した.

旧舗装体内の水分が完全に抜けきっていない状 態で,オーバーレイ工事を実施した.

このことは,採取コアによる水分量調査で水分 が確認されていること(図-5,6,7)やオーバー レイ工事の翌年に行った補修工事の際に舗装体の 施工継目からの水分が確認されている.

夏場の気温上昇時にアスファルト安定処理層, 基層の施工継目を伝って水分が上昇,オーバーレ イで密閉された旧表層面まで上昇した水分が,太 陽熱により気化し逃げ場を失ってブリスタリング 現象として発生した.

このことは,舗装体の加圧式透水量試験を行った結果,オーバーレイ層に不透水層が見られること(表-3)や舗装体に水分が含まれること(図-5,6,7)から施工継目部から水分が上昇して,舗装体の温度が上昇した6月にブリスタリング現象が発生したと推定した.

3.改良工法の検討 改良工法の検討に先立ち,前提条件は次のよう 第 1工程

第 2工程



図-13 新千歳空港の作業工程

に設定した.

(1)運用・工法に関する条件

A 滑走路は工事期間中,空港閉鎖はせずに日々 復旧し,交通開放する.

施工時間はA滑走路の供用時間外(23:00頃~翌 朝6:00まで)とする.

改良工事後のブリスタリング対策として,名古 屋空港の事例³⁾からブリスタリング現象はアスファル ト舗装の表面温度の上昇の影響を受けやすいこと を考慮して,表層および基層の1層厚は8cm以上と し,最低16cm(8cm×2層)の表層・基層を確保す る.

砂利状化している既設アスファルト安定処理層 撤去後の復旧は,施工時間の短縮からシックリフ ト工法(大粒径アスファルト混合物)を検討する.

交通開放までのアスファルト混合物層の冷却時 間短縮から,中温化混合物の採用を検討する.

ブリスタリング対策として表層混合物は透水係 数を改善するために,従来の配合に比べて最適ア スファルト量を減らし,空隙率が確保できる混合 物とする.また,長期間の空隙を確保するため,改 質型のアスファルトを使用する.

施工継目のクラックを防止するため,ホット ジョイントを考慮することや層間剥離を防止する ためゴム入りタックコートを使用する.

検討の結果, A 滑走路における改良工法は,図-13に示す4工程で行うこととした.

a) 第1 工程

第1工程は既設施工継目を上層路盤のアスファ ルト安定処理層も含め厚さ42cmにわたって帯状に 撤去し,復旧する工程である. なお,復旧には2層とも建設副産物の有効利用を 図るため,再生材混入率20%の再生大粒径中温化 混合物を使用することとした.また,空港舗装⁴⁾で はアスファルトの劣化による影響を考慮して混入 率の上限を40%以下としている.

打換え箇所(以下,帯状打換え)は基本的に一般 部として滑走路中心と左右10mの3レーンとした が,航空機がA滑走路を横断する誘導路交差部は, 滑走路中心から左右5mと20mの位置も加え7レー ンとした.

また,滑走路中心および左右 5m の航空機の車輪 が直接走行する部分と滑走路端部は最も重要な箇 所であり,上部 16cm に混合物温度を 50 低減でき る中温化混合物を採用した.

b) 第2 工程

第2工程は滑走路全幅 60m にわたって平均厚 16cm で全面切削を行い,厚さ 8cm の基層を舗設する工程 である.基層材には再生材混入率 20%の再生粗粒 度中温化混合物を使用することとした.

c) 第3 工程

第3工程は滑走路全幅 60m にわたって厚さ 8cm の 表層を舗設する工程である.表層材にはグルービ ングの目つぶれ防止や表層混合物の空隙率を確保 することを考慮し,改質 型バインダーを使用し た改質密粒度中温化混合物を使用した.

d) 第4 工程

第4工程は滑走路全幅60mにわたってグルービン グを施工する工程である.

4.試験施工

「大粒径アスファルト混合物」^{5~8)}および「中温 化混合物」^{9,10)}は最近開発された工法,材料であり, 各々一定の評価を受けてはいるが「大粒径中温化 アスファルト混合物」としての実施例はほとんど 無いのが実情である.

本工事に先立ち試験施工によりその適用性と作 業能力(施工能力,作業効率,歩係り)を確認した.

(1)配合設計

大粒径中温化混合物は表 - 6 の条件で実施した. 最大粒径は30mmとし,合成粒度を表 -7 に示す.試 験方法については舗装試験法便覧別冊に準じ,突 固め回数は112回とし,マーシャル安定度は規格値 の2.25倍,フロー値は1.5倍とした.試験に使用し たモールドは 152.4mmの円筒モールドを使用し た.大粒径アスファルト混合物のマーシャル試験 の規格値の補正や使用したモールド径は全米アス

表-6 大粒径アスファルト混合物の基準値・試験値

混合物の種類	大粒径アス	ファルト混合物	30 低減	50 低減	
	突固め回数(回)	112			
マーシャル安定度試験	空隙率(%)	3~7	4.9	5.0	
に対する基準値	飽和度(%)	65 ~ 85	66.7	66.2	
	安定度(kN)	19.80以上	22.93	20.42	
	フロー値(1/100cm)	30 ~ 60	51	50	
	残留安定度(%)	75以上	97.6	95.4	
	動的安定度(回/mm)	目標3000以上	2540(60)	3425(60)	
ホィールトラッキング 試験	供試体の厚さは10cm	(試験温度60)	358(80)	162(80)	
		(括弧内は試験温度)			

表-7 大粒径アスファルト混合物の目標粒度

最大料	泣径(30mm)	粒度規格	室内配合
	ふるい目(mm)		合成粒度
通	37.5	100	100
過	31.5	90 ~ 100	99
重	19.0	70 ~ 90	80.1
量	13.2	55 ~ 75	64.7
百	4.75	30 ~ 50	40.3
分	2.36	20 ~ 35	26.9
率	0.60	11 ~ 23	17.4
(%)	0.30	5~16	10.9
	0.15	4 ~ 12	5.8
	0.075	2~7	4.1
アスフ	ァルト量(%)	3.5~5.5	4.2

(平面図)

上層路盤および暫定表層・基層

摺付部	1-Dレ-ン	ニュートラル ゾーン	1-CL-7	ニュートラル ゾーン	1-Bレ-ン	ニュートラル ゾーン	1-Aレ-ン	摺付部
摺付部	2-Dレ-ン	ニュートラル ゾーン	2-CL->	ニュートラル ゾーン	2-Bl-V	ニュートラル ゾーン	2-Ab->	摺付部
基層およ	び表層							

3レーン表層	3レーン基層
5-Cレーン ニュートラル ソ・ーン	5-Bレーン ニュートラル 5-Aレーン

(断面図)





ファルト舗装協会 (NAPA) で使用している値¹¹⁾を 準用している.中温化剤は発泡系の材料を用いて 30,50 温度低減タイプの2種類を使用した.

室内試験結果を表 -6 に示す.30 低減タイプの 中温化混合物の動的安定度(DS)は目標値をやや 下回った.しかしながら,室内温度条件80 の大 粒径アスファルト混合物の試験値が,60 の室内 温度条件で実施した空港舗装(密粒度アスファル ト混合物)の試験値¹²⁾と同程度の値を示すことか ら,混合物の耐流動性としては交通開放時に大き な流動は発生しないと判断して配合を決定した.

(2)使用機械と締固め度

試験施工は図-14,表-8に示す要領で実施した.

仕上げ厚	敷均機械	初期転圧機械	二次転圧機械	区割り
		(転圧回数)	(転圧回数)	
上層路盤	高締固め	10tマカダムローラ(4回)	タイヤローラ(10回)	1-Aレ-ン
26cm	型フィ	8t振動ローラ	タイヤローラ(10回)	1-Bレ-ン
	ニッシャ	(無振1、有振3回)	タイヤローラ(12回)	1-Cb-7
			タイヤローラ(16回)	1-Dレ-ン
暫定表層	高締固め	10 t マカダムローラ (4回)	タイヤローラ(10回)	2-Aレ-ン
16cm	型フィ	8t振動ローラ	タイヤローラ(10回)	2-Bレ-ン
	ニッシャ	(無振1、有振3回)	タイヤローラ(12回)	2-Cb->
			タイヤローラ(16回)	2-Dレ-ン
基層(8cm)		10tマカダムローラ(4回)	タイヤローラ(10回)	3レーン
表層(8cm)		10tマカダムローラ(4回)	タイヤローラ(10回)	3レーン
基層(11cm)	高締固め	10tマカダムローラ(4回)	タイヤローラ(10回)	5-A
(誘導路)	型フィ	8t振動ローラ	タイヤローラ(10回)	5-B
	ニッシャ	(無振1、有振3回)	タイヤローラ(12回)	5-C

試験施工平面図には適用性を確認する予備試験施 エレーン(試験施工工区)のみを図示しているが, 主に作業能力を確認する本試験施工レーンについ ても予備試験施工で決定した転圧回数で試験施工 を行っている.なお,レーンとは同じ混合物を異 なる転圧回数で施工する試験施工工区である.

大粒径中温化アスファルト混合物については1, 2レーンの工区で行い,1レーンについては42cm切 削後,30 低減タイプの中温化混合物を暫定表層 (t=16cm)と上層路盤(t=26cm)に舗設する工区であ る.2レーンは50 低減タイプの中温化混合物を暫 定表層(t=16cm)に,30 低減タイプを上層路盤 (t=26cm)に舗設する工区である.3レーン,5レー ンはそれぞれ8cm,11cm切削後,基層(粗粒度アス ファルト混合物),表層(密粒度アスファルト混合 物)を舗設する工区である.なお,3レーン,5レー ンの混合物につては30 低減タイプの中温化混合 物を使用している.

表 -8 に試験施工の機械の組み合わせを示す.試 験施工では高締固め型アスファルトフィニッ シャーを用い,タンパ・バイブレータ併用型の機 種を使用した.初転圧は締固めの向上を図るため に振動ローラを使用している.大粒径中温化混合 物の最適転圧回数の決定については,表-9に示す 試験施工の結果から1,2レーンともに満足した値 を得られたCレーンの転圧回数が最適と判断し,振 動ローラ4回,タイヤローラ12回の転圧回数とし た.採取コアの締固め度については,t=16cmのコア は均一の密度にはなっているが,t=26cmのコアは3 分割にしてコアの密度を測定した結果,下面部は 敷き均し厚の影響から上面に比べて3%程度低い試 験結果となった.ただし,アスファルト安定処理 の規格値95%は満足している.

表-9 転圧機械と締固め度

レーン番	号	1	-A	1.	-B	1	-C	1.	-D
		10 t マカタ 回)	40-5(4	8 t 振動D 1 回)	-ラ(無振	8 t 振動ロ 1 回)	-ラ(無振	8 t 振動ロ 1 回)	-ラ(無振
転圧回数	故	8~20 t 9 回)	170-7 (10	(有振3回	1)	(有振3回	1)	(有振3回)	
				8~20t91 回)	8~20 t タイヤローラ(10 回)		イヤローラ (12	8 ~ 20 t タイヤローラ(16 回)	
		平均密度	締固め度	平均密度	締固め度	平均密度	締固め度	平均密度	締固め度
暫定表層	上	2.35	96.9	2.362	97.4	2.378	98	2.368	97.6
大粒径アスファ 小混合物	下	2.354	97.1	2.384	98.3	2.388	98.5	2.374	97.9
t = 16cm	平均	2.352	97	2.373	97.9	2.383	98.3	2.371	97.8
(-30°)	判定		×		×				×
			基準密度2.4	425、規格(直:締固め	度 = 基準語	密度の98%	以上	-
上層路盤	上	2.379	98.1	2.407	99.2	2.415	99.6	2.401	99
大粒径アスファ ル混合物	中	2.403	99.1	2.403	99.1	2.43	100.2	2.416	99.6
t = 26cm	下	2.32	95.7	2.317	95.5	2.346	96.7	2.323	95.8
(-30°)	平均	2.367	97.6	2.375	98	2.397	98.8	2.38	98.1
	判定								
			基準密度2.3	304、規格(直:締固め	度 = 基準管	密度の95%	以上	
レーン番	号	2	-A	2.	-В	2	-C	2-D	
	10 ヒマカタ ムローラ (48 ヒ振動ローラ (無回) 1回)		-ラ(無振	8 t 振動ロ 1 <u>回</u>)	-ラ(無振	振8 t 振動ロ-ラ(無振 1 回)			
転圧回数 8~20t9 回)		8~20 t 9 回)	イヤローラ (10	(有振3回	(有振3回)		1)	(有振3回)	
			8 ~ 20 t タイヤローラ(10 回)		8 ~ 20 t 9イヤローラ (12 回)		28~20t9470-5(1 回)		
		平均密度	締固め度	平均密度	締固め度	平均密度	締固め度	平均密度	締固め度
暫定表層	上	2.316	95.7	2.378	98.2	2.375	98.1	2.382	98.4
大粒径アスファ ルト混合物	下	2.37	97.9	2.398	99.1	2.41	99.5	2.402	99.2

い混合物	下	2.37	97.9	2.398	99.1	2.41	99.5	2.402	99.2
t = 16cm	平均	2.343	96.8	2.388	98.7	2.392	98.8	2.392	98.8
(-50°)	判定		×						
			基準密度2.4	425、規格(直:締固め	度 = 基準管	密度の98%	以上	
上層路盤	Н	2.408	99.3	2.436	100.5	2.414	99.5	2.411	99.4
、粒径アスファ い混合物	Ŧ	2.391	98.6	2.421	99.8	2.407	99.3	2.431	100.2
t = 26cm	뇌	2.331	96.1	2.335	96.3	2.349	96.9	2.336	96.3
(-30°)	平均	2.377	98	2.397	98.9	2.39	98.6	2.393	98.7
	判定								
	基準密度2.304、規格値:締固め度=基準密度の95%以上								

(3) 混合物の温度低下

第1工程の帯状打換え部は,上層路盤部に30 温 度低減タイプの中温化混合物,暫定表層部(第1工 程終了時に暫定的に開放する表層)に30 温度低 減タイプと50 温度低減タイプの2種類の中温化 混合物について温度低下の傾向を確認した.

a)30 温度低減タイプの中温化混合物

図 - 15 に 30 温度低減タイプの中温化混合物の 温度低下状況を示す.上層路盤の表面温度は,舗設 後2時間で20 程度低下したが,暫定表層の舗設開 始から約1.5時間温度が上昇し,80 近くまで上昇 した後はゆっくりと低下した.暫定表層の表面温 度は,舗設後2.5時間で60 程度まで低下したが, 日射の影響により気温が10 を超えたあたりから ゆっくりと上昇して行った.施工は5月15日の夜 間から始めたが,舗設時から冷却時間帯に風はほ とんど無い条件(風速1m/sec)で行った.交通開放 予定時間6:00の表面温度は63.2 である.

b)50 温度低減タイプの中温化混合物

図 - 16 に 50 温度低減タイプの中温化混合物の 温度低下状況を示す.上層路盤の表面温度は舗設 後3時間程度で約30 低下したが,暫定表層の舗設 開始から約1.5時間温度が上昇し,80 近くまで上 昇した後はゆっくりと低下した.



図-15 大粒径中温化混合物の温度低下状況(-30)



図-16 大粒径中温化混合物の温度低下状況(-50

括민	1>/	測定値(mm)						
「生力」		左	Ŧ	右	平均値			
暫定表層	1-A	5.63	3.97	6.71	5.44			
大粒径	1-B	3.74	4.48	3.51	3.91			
- 30 <i>ዓ</i> ኅን [°]	1-C	1.54	2.81	2.99	2.45			
	1-D	2.2	1.3	4.09	2.53			
	1平均				3.58			
暫定表層	2-A	2.95	4.26	3.38	3.53			
大粒径	2-B	1.67	4.64	2.85	3.05			
- 50 <i>ዓ</i> ኅን [°]	2-C	1.72	2.03	2.92	2.22			
	2-D	5.7	4.79	1.79	4.09			
	2平均				3.22			
大粒径	本試験施工	2.53		3.33	2.93			
基層	基層 3基層		1.92	2.34	1.9			
井岡	3表層	1.89	1.67	1.58	1.71			
以信	本試験表層	1.14		1.28	1.21			
規格値					2.4以下			

表-10 平たん性試験

暫定表層の表面温度は舗設後 2.0 時間で 50 程度 まで低下し,さらに,日射の影響のない時間帯まで 下降を続け46 まで低下した.その後,日射の影 響によりゆっくりと上昇して行った.施工は5月16 日の夜間から始めたが,風速(2 ~ 3sec/m)がややあ り,冷却促進の効果となった可能性も考えられる. 交通開放予定時間 6:00 の表面温度は 47.1 である.

(4)平たん性

表-10 に平たん性の試験結果を示す.試験は暫定

表層の中間位置で測定を行った.基層,表層の試験 値は,規格値を満足する値となっているが,暫定表 層の大粒径アスファルト混合物では,ほとんど規 格値を満足しない結果となった.

試験施工では,施工機械と転圧回数の組合せで 採用したCレーン(振動ローラ:無振1回,有振3 回+タイヤローラ12回)が最も小さい値となって いる.

暫定表層部で規格値を上回った要因としては, 試験施工ヤードはブロック毎に延長が短かったこ とや試験施工ではタイヤローラによる二次転圧で 終了したため,ローラーマークが残りその影響に よるものが考えられる.

本工事では,タイヤローラによる二次転圧後に 鉄輪による仕上げ転圧を行うことや施工が連続的 にできることから,平たん性が改善できるものと 考えられる.

(5)走行試験

表 -11 に走行試験結果を示す.暫定表層部は,表面-1cmの温度が概ね60,基層,表層は50 になった時点で10t ダンプトラック(鋼板14t 積載:接地 圧 0.43kN/mm²)の条件で走行試験を開始した.走行回数は100回走行し,走行回数25回,50回,100回でわだち掘れ量の計測を行った.

測定日			最	大 1	っだ	ち	量	(mm)
(開始)	工区名	No	タ	・ン	プ	走彳	亍 回	数
(時刻)	(混合物名)	NO.	25	pass	50	pass	100	pass
温度			左	右	左	右	左	右
5月16日	<u>1 - Cレーン</u>	1	7	6.5	9	9	12	10
8:45	暫定表層 十約公児合物	2	8	7	9	9	10.5	11
62	入私12/6日初 (由温化-30)	3	8.5	7.5	10	10	13	14.5
	(17)20110 000)	平 均	7	.4	9	. 3	11	.8
	厚さ42cmに対す	「る割合	1.8	30%	2.2	20%	2.8	30%
5月17日	<u>2 - Cレーン</u>	1	6.5	9.5	8	11	10	12.5
8:20	暫定表層	2	4	5	8	7	9	9
54	入私12/6日初 (由温化-50)	3	4.5	7	6	7.5	8	8.5
	(17)20110 000)	平 均	6.1		7.9		9.5	
	厚さ42cmに対す	「る割合	1.50%		1.9	90%	2.3	30%
5月18日	<u> 3レーン</u>	1	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
1:40	● 基 僧	2	2	2	2.5	2	3	2.5
50	祖和度/////// 混合物	3	0	2	3	3	3.5	3.5
	(中温化-30)	中温化-30)平均		. 8	2.6		2.9	
	厚さ8cmに対す	る割合	2.30%		3.30%		3.60%	
5月18日	<u> 3レーン</u>	1	3.5	3.5	4	4.5	6	6
1:40	衣 層 家坊度アフファルト	2	3	3.5	4.5	4.5	4.5	6
50	混合物	3	2	1.5	2.5	3	4	4
	(中温化-30)	平 均	2	.8	3.8		5	.1
	厚さ8cmに対す	る割合	3.	50%	4.8	30%	6.4	40%

表-11 走行試験(最大わだち掘れ量)

試験結果から暫定表層部の最大わだち量は基層, 表層に比べ2~3倍程度大きいものとなったが,最 大でも1cm程度であった.舗設層厚に対する割合で は,1~3%程度であり,基層,表層に比べ小さい ものである.

(6) すえ切り試験

すえ切り試験結果を表 -12 に示す.すえ切り試験 は10tダンプトラック(鋼板14t積載:接地圧0.43kN/ mm²)を使用し,静止時にハンドルを2回転した条 件で行った.すえ切り変形量は,すえ切りによって 骨材が飛散した箇所を舗装表面からの深さを測定 し,すえ切り変形量と定義した.暫定表層部におい て表面-1cmの温度が70,60,50の時点で,基 層,表層においては50 となった時点で行った.基 層,表層のすえ切り変形量2.5mmに対して,暫定表 層部では70 の時最大9.0mmと大きな値となって いるが,60 以下では1~3.5mmと相対的にほぼ同 等の値を示している.

このことから,大粒径アスファルト混合物は表 面温度60 程度で,表面温度50 の基層,表層と 同程度の表面強度を有しているものと考えられ, 表面骨材剥離に関しても同様と考えられる.

(7) サンドパッチング法によるきめ深さ測定

試験施工箇所はサンドパッチング法によりきめ 深さ測定を行った.一般的な空港舗装工事では粗 粒度アスファルト混合物により暫定的に交通開放

表-12 すえ切り試験

	工区名	石粉散布		试驗泪度		据切り変形量		变形量	
測定日		네가지테 (사 니 ·	測定数	叫"火"一支	を読取り位置		(mr	1) 	備考
	(混合物名)	の有無		()		石	노	平均	施工役フ後っ
5月15日	1-Cレーン		1	70	表面下-1cm	9	9	9	施工終」1夜5 0分
予備試験施 工	暫定表層		2	63	表面下-1cm	2	4	3	施工終了後 2 時間
	大粒径		3	62	表面下-1cm	3	4	3.5	施工終了後 4 時間
	(中温化 -30)	無し	4	59	表面下-1cm	2	3	2.5	施工終了後 5 時間
			5	59	表面下-1cm	2	2	2	施工終了後6 時間
			6	58	表面	0	1	0.5	ー 施工終了後6 時間 タイヤ走行部100 pass
5月16日	2-Cレーン		1	43	表面	3	3	3	施工終了後3 0分
予備試験施 工	暫定表層		2	47	表面下-1cm ま西	1	2	1.5	施工終了後 2 時間
	(中温化 -50)	無し	3	53	-26回 表面下-1cm	2	2	2	施工終了後4
				49	表面				N-(18)
			4	45	表面	2	2	2	施工終了後 5 時間
5月17日 予備試験施 工	3レ-ン、基層 (中温化 -30)	無し	1	50	表面下-1cm	3	2	2.5	
	3レ-ン、表層 (中温化 -30)	無し	1	50	表面下-1cm	2	3	2.5	
5月20日	4 レーン		1	70	表面下-1cm	4	5	4.5	
本試験施工	暫定表層	_ .	2	60	表面下-1cm	2	2	2	
	大粒径	無し	3	50	表面下-1cm	3	1	2	
	(中温化 -30)		4	41	表面下-1cm	1	2	1.5	施工終了後 4 時間
			1	70	表面下-1cm	4	3	3.5	
			2	60	表面下-1cm	4	3	3.5	
		有り	3	50	表面下-1cm	2	4	3	
			4	45	表面下-1cm	1	1	1	施工終了後 4 時間

表-13 サンドパッチング法によるきめ深さ測定

種別	レーン	きめ深さ (mm)
暫定表層	1-A	1.66
大粒径	1-B	1.36
- 30 <i>ዓ</i> ኅን [°]	1-C	1.21
	1-D	1.39
	1平均	1.41
暫定表層	2-A	1.61
大粒径	2-B	1.55
- 50 <i>ዓ</i> ኅፓ [°]	2-C	1.52
	2-D	1.22
	2平均	1.48
大粒径	本試験施工	1.3
基層	3基層	1.58
丰岡	3表層	0.45
以眉	本試験表層	0.35

を行うため,粗粒度アスファルト混合物のきめ深 さと比較した.

表 -13 に試験結果を示す.大粒径アスファルト混合物のきめ深さは粗粒度アスファルト混合物と同程度確保された.しかしながら,一部骨材が飛散している箇所も見られたので,本施工では粒度をやや細かくして施工した.

(8)試験施工の課題

試験施工では30,50 温度低減タイプの2種類 の大粒径中温化アスファルト混合物を実施し,試 験施工の結果から舗設温度を低下させ,充分な温 度管理することにより,耐流動性や骨材飛散抵抗





図-18 締固め度(本工事)

などの早期供用性に必要な耐久性を確保すること が可能であることが分かった.

本施工に向けて,以下の課題がある.

交通開放時に温度が下がらなかった場合や日射 の影響により温度が上昇する場合には,散水等の 強制冷却による温度低下の方法の検討

舗装表面温度の充分な温度管理

交通開放後に舗装剥離が生じた場合の補修体制

5.本工事

本工事では暫定表層の温度管理,密度管理および平坦性に着目して工事を実施した.

(1) 温度管理

本工事では試験施工の課題を解決するため,以下 の体制で工事を実施した.

舗設後の暫定表層の冷却は、散水車により強制冷却を行うが、舗装体の温度が低下しない場合は、空港管理者と協議を行うこととし、散水時間の延長や日射により温度が上昇する場合は、一時滑走路を閉鎖させ、散水により強制冷却をすることとした。

温度管理方法は,第1工程の帯状打換えにおいて, 暫定表層の舗装表面の温度が交通開放可能な温度ま で冷却しているか,および日射による上昇の度合い を確認するために,6:00,8:30,11:00,15:00に舗装 表面および表面-1cmの温度を計測した.また,交通 開放後の補修体制についても常に出動できる体制で



施工を実施した.

第1工程の初日(6月3日夜~6月4日)は,6:00 の作業終了時に44 と交通開放に対して問題無い 温度であったが,その後の日射により11:00には63 まで上昇したため,空港管理者との協議により, 翌日からは散水車およびタイヤローラによる散水 冷却を実施するとともに,8:30まで冷却時間を確保 し,交通開放を9:00とした.

その結果,交通開放時に舗装体の温度によるト ラブルは無く,第1 工程を完了することができた (図-17).

(2)締固め度

第1工程の厚さ26cmの上層路盤,および厚さ16cm の暫定表層・基層は,所定の密度を確保するために 試験施工で確認された機械の組合せと転圧回数に て施工した.その結果,各々の規格値を満足する締 固め度が得られた(図-18).

また,暫定表層・基層では,練上がり目標温度130 の中温化混合物(30 低減タイプ)と練上がり目 標温度110 の中温化混合物(50 低減タイプ)を 場所によって使い分けしたが,いずれも規格値98.0 %以上を満足する締固め度であった.

(3)平たん性

本工事では施工継目部の余盛り厚に注意を払う とともに,締固め機械の方向変換を工区外で行う 等の工夫をした結果,標準偏差値で2mm以上とや や不陸が生じたものの,全レーンで規格値を満足 することができた.なお,測定は施工幅員の中間部 を計測した(図-19).

- 6.まとめ
- (1)異常箇所の発生原因

異常箇所の発生原因は以下の原因と考えられる. 舗装構造上の弱点である施工継目の位置から浸透 した水が舗装体に滞水し,舗装体や層間に水分が含まれるようになった.

オーバーレイ工事により水密性の高い混合物が 舗設され,不透水になった箇所が生じた.

外気温が高い時期に層間や施工継目に含まれた 水分が日射により気化し,蒸気となって舗装体を 持ち上げるブリスタリング現象が生じた.

空隙率が高く保水能力の高いアスファルト安定 処理層に滞水し,水による劣化や凍結融解の影響 でアスファルトが劣化し,骨材が剥離する状態に なった.

(2)試験施工の結果

舗装厚 42cm の厚層施工を行うにあたって大粒径 中温化混合物を適用し,舗設温度を低下させ充分 な温度管理することにより,耐流動性や骨材飛散 抵抗などの早期供用性に必要な耐久性を確保する ことが可能であることが分かった.

しかしながら,外気温や日射による影響で舗装 体温度が上昇することがあるので,強制冷却の方 法の検討が必要である.

(3)本工事

本工事では舗装表面温度の管理を十分に行い, 散水車による強制冷却を実施することにより,舗 装体の表面温度を50 以下に冷却することが可能 となり,品質管理にも問題なく施工が行われた.ま た,緊急補修時体制についても準備して施工が行 われた.

7.おわりに

新千歳空港の現地調査および対策工法の検討結 果についてとりまとめた.本論文が他空港の基本 施設の補修工法の参考になれば幸いである.

本論文は北海道開発局「新千歳空港舗装検討会」 での検討結果を中心にとりまためたものである.そ の検討に当たっては久保宏委員長(北海学園大学教 授)をはじめとする各委員,国土交通省国土技術政 策総合研究所,国土交通省航空局,国土交通省東京 航空局,北海道開発局札幌開発建設部の関係各位よ り多くのご助言,ご尽力をいただいた.この場を借 りて感謝の意を表します.

参考文献

- 七五三野茂,佐藤正和,皆川忠雄:砕石マスチックア スファルトの床板防水層への適用性に関する検討,舗 装Vol34,pp.15-20,1999.10
- 2) 運輸省航空局:空港舗装補修要領(案),pp16-17, 1999.4
- 3) 長田雅人, 佐野一三, 浜昌史, 空港舗装のブリスタリン グ現象, 舗装, pp3-7, 2003.3
- 4) 運輸省航空局:空港舗装構造設計要領,pp22,1999.4
- 5) 藤井政昭,QRP工法(急速舗装修繕工法),道路建設, pp36,1999,10
- 6) 村上則男,QRP 工法(急速舗装修繕工法)の共同開発, 道路建設,pp54-55,1994 10
- 7) 鶴窪廣洋, 荒川英明, 大山浩人, 布田徳彦: 大粒径シッ クリフト工法試験施工, 道路建設, pp57-65, 1995.1
- 2港舗装における大粒径アスファルト混合物の表層・ 基層への適用性,高橋修,八谷好高,阿部寛,土木学会 舗装工学論文集 第4巻,pp187-197,1999.12
- 9) 吉中保,根本信行,市原利昭:中温化技術の適用温度の低温化に関する検討,土木学会舗装工学論文集第4
 巻,pp135-142,1999.12
- 10) 加納孝志,高橋光彦,鈴木秀輔,野村健一郎:アスファ ルトの成分に着目した中温化技術,道路建設,pp42-4 7,1997.7
- 11) 日本道路建設業協会:マーシャル配合設計手法用いた 大粒径混合物の試験評価(3),道路建設,pp72-77,1991,7
- 吉井昭博,高橋守人,安倍隆二:空港舗装における再 生加熱アスファルト混合物の適用に関する検討,北海 道開発局 開発土木研究所月報,No570,pp2-11, 2001.11

EXAMINATION OF CAUSES OF RUNWAY PAVEMENT FAILURE AND MEASURES AT NEW CHITOSE AIRPORT

Ryuji ABE, Hideto TAKEMOTO, Kensuke ETO

Blistering of the runway surface course was found during a runway inspection at New Chitose Airport in June 2001. A more detailed survey revealed that water penetration has reduced the bearing capacity of both the surface course and the binder course below the joint, as well as the asphalt stabilization layer. Because of a working time restriction on the runway, the thick lift method, whereby asphalt is placed in a short time, was applied in combination with a large-grain asphalt mixture that can be placed at lower temperatures than usual. The study reports the causes of pavement failure and the results of measures against such failure.