

新千歳空港における ブリスタリングの発生と対策について —A滑走路の改良とその後—

札幌開発建設部 千歳空港建設事業所 ○伊東 敦史
高木 哲夫
佐藤 仁司

平成12年6月、新千歳空港のA滑走路における路面異常が確認され、調査を行ったところ、①ブリスタリング現象、②As舗装層間剥離、③As安定処理路盤砂利状化といった舗装の損傷・劣化が明らかとなった。こうした問題への対応を図るべく検討の上、改良工事を実施した。

改良工事の検討にあたっては、最終便から翌朝の供用開始までの運航時間外において、短時間施工が可能な改良工法の適用や舗装材料の選定等、当時の先進的な技術を多数取り入れた。

本報告は、当時の設計・施工の概要、施工後の経過観察結果及びその評価について概説する。

キーワード：設計・施工、舗装、調査

1. はじめに

北海道の観光、ビジネスの玄関口である新千歳空港の航空旅客数は現在、年間約1650万人を数え、国際線旅客はアジアにおけるインバウンド需要増から、平成22年3月に新国際線ターミナルを供用開始し、空港機能の拡充を図っている。空港基本施設のうち、滑走路については、昭和63年7月にA滑走路、平成8年4月にB滑走路の計2本の3000m滑走路を供用しており、主にA滑走路が離陸用、B滑走路が着陸用として使用されている。離着陸回数は2本の滑走路で1日平均約150回ともなり、滑走路舗装に与えるストレスは、非常に大きなものとなっている。

平成12年6月、A滑走路（図-1）において、舗装面が円形に膨れ上がる現象（ブリスタリング現象）（写真-1：D誘導路の例）が多数発見され、緊急補修を実施。その後の舗装のコア採取等による路面調査により、表層・基層・アスファルト安定処理（以下「As安定処理」）層の各層間における剥離や、砂利状化といった舗装体の損傷・劣化が確認された。また同年、D誘導路においてもブリスタリング現象と見られる損傷が確認され、平成12～13年度に調査及び改良工法の検討、平成14～16年度にA滑走路及びD誘導路において、大規模な改良工事を実施した。本報告ではこのうち、A滑走路における当時の調査結果、改良工事の概要、そして施工後の追跡調査結果に基づく舗装の健全性についての考察を述べるものである。

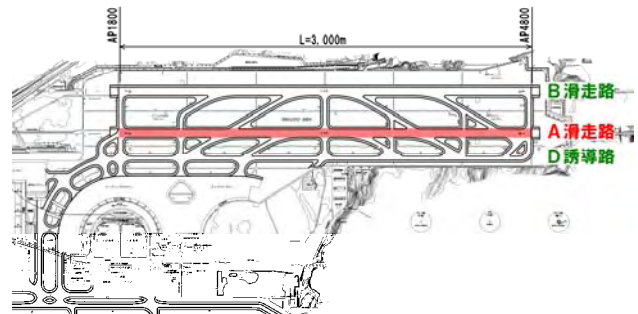


図-1 新千歳空港平面図

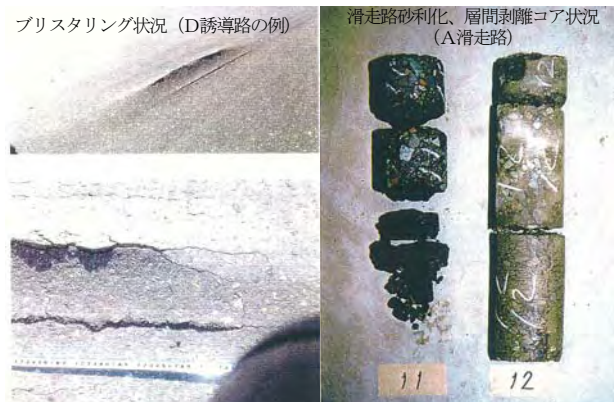


写真-1 舗装劣化状況

2. A滑走路の舗装調査

(1) アスファルトコア調査

滑走路の舗装調査にあたっては、舗装体の健全度を確実とする為、採取コアのマーシャル試験や水分量試験、アスファルト抽出による劣化状態判定を実施した。写真-1のコア写真の様に、As層間で剥離が発生していたり、

As安定処理層で砂利状化している箇所が見られた。そこで、舗装劣化の判断材料とした主な項目について、下記に述べる。

a) マーシャル安定度試験

標準マーシャル安定度試験結果（表-1）では規格値から外れるコアもあるが、極端に大きな強度低下を示したコアは見られなかった。しかし、水浸マーシャル安定度試験結果（表-2）を見ると、As安定処理層では強度が「0」のものもあり、水による劣化を相当に受けやすい状況にあったと考えられる。

表-1 A滑走路の標準マーシャル安定度

(単位：kgf)

	最大値	最小値	平均値	規格値
オーバーレイ層	1172	444	649.69	900以上
レベリング層	992	365	692.67	900以上
旧表層	1028	351	621.88	900以上
基層	1067	267	676.66	900以上
As安定処理層	1325	430	916.47	500以上

表-2 A滑走路の水浸マーシャル安定度

(単位：kgf)

	最大値	最小値	平均値	規格値
オーバーレイ層	1123	225	664.60	900以上
レベリング層	900	375	557.00	900以上
旧表層	1085	212	723.57	900以上
基層	1420	409	727.48	900以上
As安定処理層	1673	0	902.19	500以上

b) アスファルト性状試験

針入度試験結果から、各層で標準的性状を下回っており、軟化点試験では、全ての層で標準的な温度を超えている事から、針入度試験結果と併せて、アスファルトの硬化が進行していたものと考えられる。また、伸度試験からは、標準的な性状を下回っており、アスファルト自体の劣化傾向が伺える。

表-3 A滑走路のアスファルト性状

○良好部						
試験項目	単位	オーバーレイ層	密粒度 As	粗粒度 As	As 安定処理	標準的性状
抽出 As 量	%	4.93	—	5.48	4.64	
針入度	1/10mm	35	32	43	42	80-100
軟化点	°C	54.4	53.9	50.8	52.7	42.0~50.0
伸度	cm	13	10	26	18	100以上
○不良部						
試験項目	単位	オーバーレイ層	密粒度 As	粗粒度 As	As 安定処理	標準的性状
抽出 As 量	%	5.89	—	5.45	4.41	
針入度	1/10mm	48	25	24	30	80-100
軟化点	°C	51.8	58.0	57.1	56.6	42.0~50.0
伸度	cm	22	6	6	6	100以上

(2) 非破壊検査（FWD試験）

舗装体のコア調査と並行し、広範囲の舗装体における支持力を確認する目的で、非破壊調査法であるFWD試験を実施した。

a) 滑走路北側600m部

航空機の車輪が作用する中央帯及び縁端帯共に十分な支持力を確認した。

b) 滑走路南側600m部

中央帯・縁端帯の解析値にバラツキが見られ、平均値が基準値に近く、支持力の低下が見られた。

c) 中間部1800m部

縁端帯では支持力の低下は見られず、中央帯も解析値にバラツキが見られるものの、全体として支持力の低下はあまり無く、部分的に支持力の低下があると考えられた。

3. 舗装劣化・損傷原因の推察と対策方針

(1) 舗装劣化・損傷のプロセス

前述の舗装の劣化及び損傷の状況を踏まえ、平成13年度に実施された「新千歳空港舗装検討会」において、プリスタリング及び砂利状化現象の原因と進行に関する推察がなされた。プロセスは図-2の様になる。

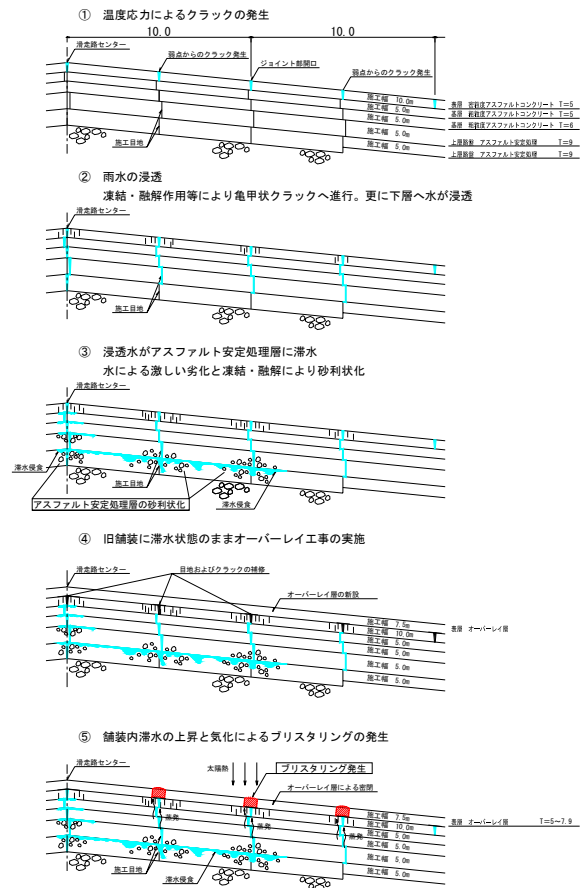


図-2 舗装劣化・損傷のメカニズム

ここでは、

- ①温度応力によるクラック発生（施工目地等）
- ②As層、層間への滞水（凍結融解、接着が弱い箇所）
- ③下層部へのクラック進行（下層の施工目地等）
- ④Asオーバーレイ等により水蒸気の逃げ場を閉塞
- ⑤舗装内が高温となる事による滞水の蒸発によりブリスタリング発生

という劣化のプロセスを示しているが、As安定処理層の砂利状化現象は、③の状況において、施工目地部のクラックより雨水が浸透し、凍結・融解作用が繰り返される事により、砂利状になったものと考えられている。

(3) 対策方針

調査に基づく結論、さらに施設の置かれた供用状況を考慮し、下記事項を対策工法の方針とした。

- a) As安定処理層は施工目地付近に損傷箇所が集中している事から、この部分の打ち換えを実施（オーバーレイ工法は不良部を舗装体に残存させる事から、将来の弱点となり得る）
- b) 表・基層部はブリスタリング対策の為、他空港事例によって表層8cm、基層8cmの16cm以上を確保
- c) 供用中の滑走路である事から、長期間施工による滑走路の使用制限が困難であった事から、日々復旧による夜間作業としつつ、施工時間を極力確保する為、大粒径の骨材を配合した中温化合物を使用

4. 滑走路改良工事

(1) 第1工程

施工目地部をAs安定処理層を含め42cm厚にわたり帯状に撤去し、復旧する工程である（図-3、写真-2）。帯状切削実施後、既設下層路盤（粒状材）を転圧し、上層路盤として再生大粒径中温化アスコンを26cm厚で舗設、表・基層の2層分を同アスコンにより16cm厚で舗設し交通解放した。この帯状打換えは、1日での復旧舗装厚が42cmと、シックリフト工法としても舗設厚が厚く、各工程の中で最も舗装体の温度が下がりにくい工程であった事から、舗装表面の舗装温度を計測しつつ、交通解放のタイミングを計る事とした。これにより天候の状況など、必要に応じて散水冷却を行うことにより、交通開放時には舗装体の温度によるトラブルも無く完了した。

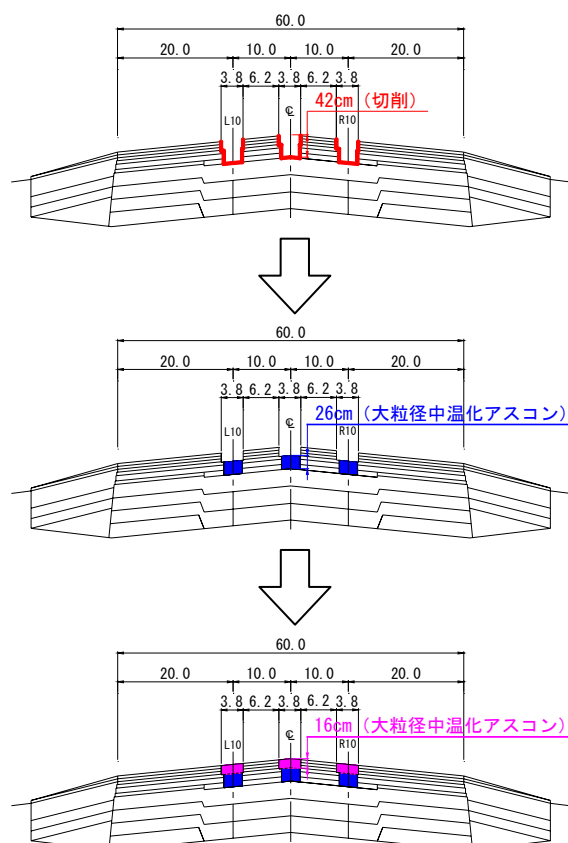


図-3 第1工程施工手順



写真-2 第1工程施工状況

(2) 第2工程

既設表層・基層部を全幅60mにわたり平均厚16cmで切削し、8cm厚の基層を舗設する工程である（図-4、写真-3）。基層厚は8cmであり、舗装体の冷却時間短縮を考慮して粗粒度中温化アスコンを使用した。また、基層の舗設は舗装の弱点となる施工目地を極力作らない様、ホットジョイントにて施工した。

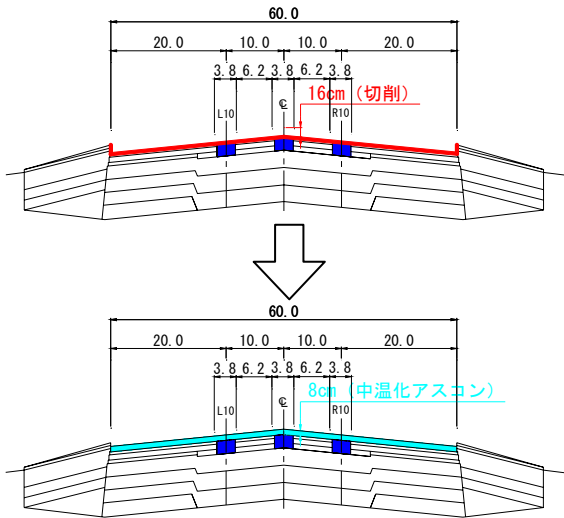


図-4 第2工程施工手順



表・基層切削



基層敷均し

写真-3 第2工程施工状況

(3) 第3工程

8cm厚の表層を舗設する工程である（図-5、写真-4）。0:00に表層の舗設を開始し、舗装体の冷却時間短縮を考慮して改質密粒度中温化アスコンを使用し、4:30まで舗設。日施工延長は50m程度であり、横断方向施工目地を極力減らす効果もあり、良好な平坦性を確保した。

また、損傷原因が施工目地部からの浸水と考えられた事から、施工目地はホットジョイント、テーパ施工を採用し、図-6の様にジョイント部を工夫した施工法を採用した。舗装体の温度も基層と同様に冷却が早く、7:00には交通開放することができた。

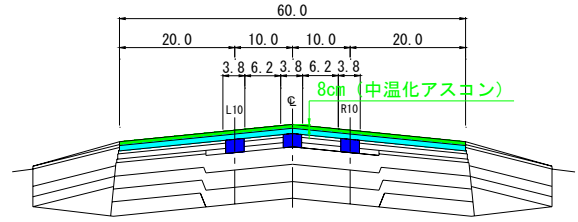


図-5 第3工程施工手順



表層敷均し



表層転圧

写真-4 第3工程施工状況

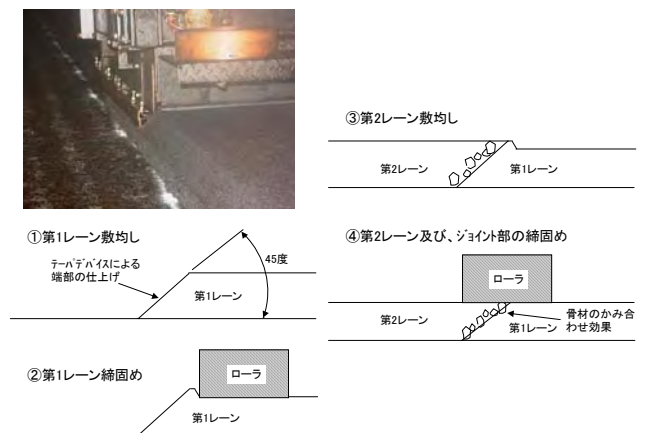


図-6 ジョイント部の施工イメージ

5. 改良工事後の追跡調査

(1) ブリスタリング現象発生要因

舗装体の劣化・損傷のメカニズムについては前述したとおりであるが、改良工事後のAs舗装体の劣化状況を確認していく上で、下記のブリスタリング現象発生の目安値¹⁾と対比する事で、改良効果の確認や問題点を確認する事とした。

- ・ 表層空隙率 2.5~3.0%以下
- ・ 表層透水係数 10^{-7} cm/sec以下
- ・ 舗装内含有水分 (炉乾燥含水比) 1.0%以上
- ・ 表・基層間の層間接着強度 1.0N/mm²以下 (引張強度試験、試験速度100mm/min、試験温度20℃)

(2) 舗装追跡調査による改良後の状況

舗装改良工事後、平成19年度までコア採取による舗装調査 (図-7)、平成20年度から本年度までは滑走路面の目視調査及び東京航空局による滑走路等路面性状調査 (PRI評価) により、調査を実施してきた。これらの結果から、改良工法の妥当性を検証する。

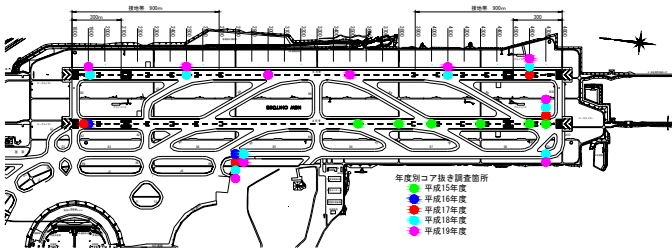


図-7 舗装調査箇所図 (H15~H19)

(2) 平成15年度~平成19年度調査

a) 空隙率

図-8に示す様に、施工直後の平成15年度と比較し、若干の変動があるが、表層2.0~5.0%、基層3.0~6.0%の施工基準を満足するとともに、ブリスタリング発生の目安値である2.5~3.0%を下回っておらず、健全な状態を保っていると考えられる。

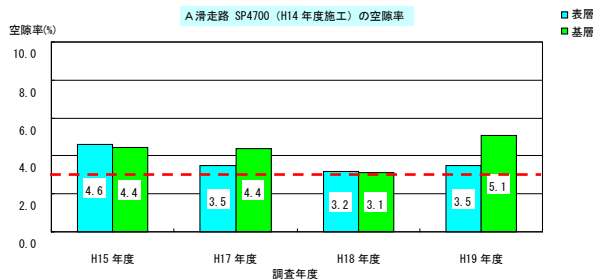


図-8 空隙率試験結果 (H15~H19)

b) 透水係数

表-4に示す様に、調査時期によりバラツキが見られる。

また、同じ測点でのコア採取にも関わらず数値の変化が見られる事から、施工による部分的なバラツキが原因と推察される。しかし、空隙率及び後述する層間の接着強度が一定程度確保されている事から、問題無いものと考えられる。

表-4 透水係数試験結果 (H17~H19)

透水係数 (cm/sec)	平成17年度		平成18年度	平成19年度
	SP1870	SP4700	SP4700	SP4700
表層	不透水	7.76×10^{-8}	不透水	6.44×10^{-8}
基層	1.50×10^{-7}	6.08×10^{-7}	不透水	2.08×10^{-5}
大粒径	3.91×10^{-7}	1.16×10^{-7}	—	—

c) 舗装内含有水分

図-9に示す様に、表層は極めて良好な状態を保っているが、SP4700付近では基層の水分量が増加傾向にある。前項同様、他の指標を考慮すると、問題とは考えにくいですが、今後の経過観察をする上で、当該箇所付近を注視する必要がある。

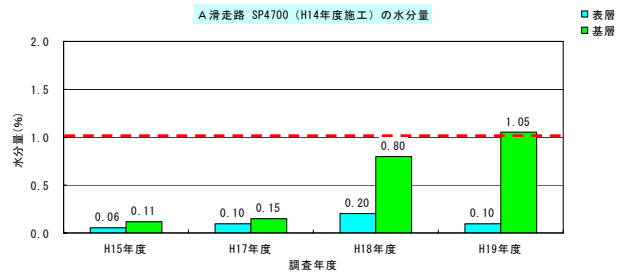


図-9 含水量試験結果 (H15~H19)

d) 表・基層間の接着強度

図-10に示す様に、表・基層間における引張接着強度は、ブリスタリングの目安値である1.0Mpa(N/mm²)を超えており、対ブリスタリング抵抗性を確認できる。

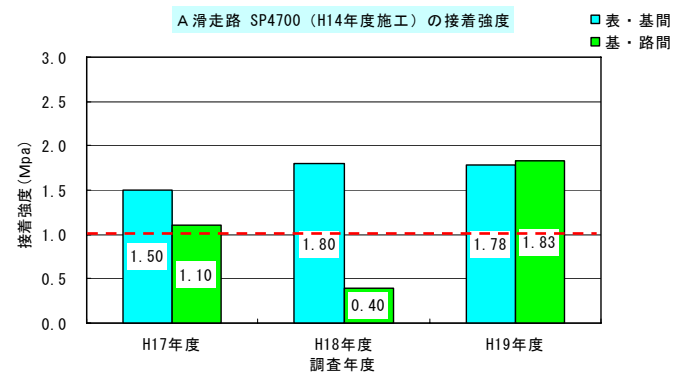


図-10 接着強度試験結果 (H15~H19)

(3) 平成20年度~平成22年度調査

a) 目視観測結果

平成19年度までの調査結果を踏まえ、路面目視観測を継続しつつ、変状が発生した場合には詳細調査を行う事とした。目視観測においては、ブリスタリング現象に特

微的な変状の有無に着目した。平成20～22年度に実施した目視観測では、A滑走路において、こうした変状は確認されなかった。ただし、他の施設と比較して相対的にひび割れの発生が多く、特に中央部(SP2750～SP4000)のひび割れが目立っており、今後の着目点と考えられる。

(4) 滑走路等路面性状調査 (PRI評価)

a) アスファルト舗装のPRI評価

空港舗装におけるアスファルト舗装の評価は、ひび割れ、わだちぼれ、平坦性の3項目の調査結果を用い、表-5に示す評価法²⁾により、適切に補修を実施する事としている。

表-5 PRIの評価

表-3.2 PRIの評価

舗装区域	評価		
	A	B	C
滑走路	8.0以上	3.8以上8.0未満	3.8未満
誘導路	6.9以上	3.0以上6.9未満	3.0未満
エプロン	5.9以上	0以上5.9未満	0未満

表-3.3 舗装破損の各項目に対する補修要否の目標値

項目	舗装区分	評価		
		A	B	C
ひび割れ率 (%)	滑走路	0.1未満	0.1以上6.5未満	6.5以上
	誘導路	0.9未満	0.9以上12.7未満	12.7以上
	エプロン	1.9未満	1.9以上17.0未満	17.0以上
わだちぼれ (mm)	滑走路	10未満	10以上38未満	38以上
	誘導路	17未満	17以上57未満	57以上
	エプロン	22未満	22以上70未満	70以上
平坦性 (mm)	滑走路	0.26未満	0.26以上3.64未満	3.64以上
	誘導路	0.91未満	0.91以上6.57未満	6.57以上
	エプロン	1.50未満	1.50以上8.63未満	8.63以上

(注) A:補修の必要なし
 B:近いうちの補修が望ましい
 C:できるだけ早急に補修の必要がある

ここで、ブリスタリング現象発生の要因として、目地やひび割れが考えられている事、近年の目視観測によりA滑走路のひび割れが多く見られている事から、評価指標のうち「ひび割れ率」について、経年の変化を確認する事とする。

b) A滑走路のひび割れ率の経年変化

ひび割れ率の算定は、次の(式1)の様 に算定される。

$$\text{ひび割れ率 (\%)} = \frac{\text{ひび割れ面積 (m}^2\text{)}}{\text{単位ユニットの面積 (m}^2\text{)}} \times 100 \quad (\text{式1})$$

A滑走路の調査結果は、図-11の様 に供用後3年程度で黄色いユニットが増加し、改良工事後も同様な傾向を示している。



図-11 A滑走路におけるひび割れ率の推移

そこで、ひび割れ率を10ユニット(300m×60m)毎に平均しプロット、更に各年の全ての平均値をグラフにしたものを図-12に示す。平成3～6年には全般的にひび割れ率が大きくなっているが、平成9年の時点ではあまり変化が見られない。一方、改良工事実施後の調査では、平成18～21年に若干のひび割れ率の上昇が見られる。新規に滑走路を整備した後の状況よりも、ひび割れ率の上昇は、抑制されている傾向が見られる。

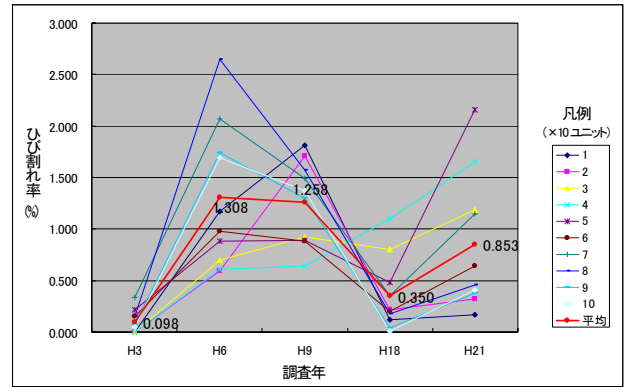


図-12 A滑走路におけるひび割れ率の推移(グラフ)

6. まとめ

改良工事後のAs舗装調査において、A滑走路の状態は健全な状態を保っているものと判断される。しかし、空港滑走路舗装にとって、劣化が避けられない事は事実である。今後は調査結果を踏まえ、着目点を中心に施設を注意深く観測し、適切な時期にリフレッシュ工事を実施する必要がある。また、本改良工事は、日々供用されている重要施設の改良事業であった事から、調査検討は極めて短期間で結論を出す必要があった。さらに最終便～第1便までの限定された施工条件において当時考えられる技術や能力を結集し整備を実施、その後の追跡調査により蓄積された知見は、今後の空港施設の整備や技術者のスキルアップに貢献するものと考えられる。

7. おわりに

本論文は過去の「新千歳空港舗装検討会」や施工報告等の資料を中心にとりまとめたものです。その調査検討や施工にあたり、多数の関係各位のご助言やご尽力を頂きました。この場をお借りして、感謝と敬意の意を表します。

参考文献

- 1) 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,久保ほか,土木学会舗装工学論文集 第9巻,2004.12
- 2) 空港舗装補修要領(案),国土交通省航空局,平成19年4月