

2012/2/10 空港土木施設技術に関する講演会@東京

空港舗装補修要領について

国土交通省 国土技術政策総合研究所
空港研究部 主任研究官
坪川 将丈

1

空港舗装に関する技術基準・要領

- **空港土木施設の設置基準解説** (H20.7改定, H22.4一部改訂)
基本施設等(滑走路・誘導路・エプロン等)
に関する要求性能, 性能規定, 幅・勾配等
- **空港舗装設計要領** (H20.7改定, H22.4一部改訂)
基本施設のAs舗装, Co舗装に
求められる性能と照査方法(新設時の設計法)
- **空港舗装補修要領(案)** (S56(案)作成, H11, H19に一部改訂)
基本施設のAs舗装, Co舗装の
調査法, 評価法, 補修設計法

➡ H23.4に「空港舗装補修要領」に改定 2

主な改定ポイント

- 補修設計法
新設設計(空港舗装設計要領)と同様に
性能規定化 & 照査法に理論的設計法の導入
- 調査・評価方法
FWD調査, 路面性状調査の部分改定
熱赤外線調査の導入
- 補修材料, 補修方法
タックコート, アスコン層最小施工厚,
再生アスコン, グルーピング施工の部分改定
コンクリート補修工法の追加

3

新補修要領における補修フロー

- 定期点検の実施
路面性状調査, すべり摩擦係数調査
↓ 路面の評価がNGの箇所
- 非破壊調査の実施
FWD調査, 熱赤外線調査, 累積疲労度調査
↓ 構造上問題がある可能性がある箇所
- 解体調査の実施
可能性小 →As層の試験(コア採取・室内試験)
可能性大 →As層・路盤・路床の試験(室内試験・原位置試験)
↓ 構造上問題の有無を判定
- 補修
走行安全性能・表層の耐久性能の回復(構造問題無し)
上記+荷重支持性能の回復(構造問題有り)

4

調査・評価方法について

5

路面性状調査

PRI (Pavement Rehabilitation Index)

- ・ 空港舗装の供用性を示す指標
- ・ アスファルト：ひび割れ率，わだち掘れ，平坦性
- ・ コンクリート：ひび割れ度，目地部の破損率，段差
- ・ 3年に一度調査
- ・ アンケートによる「技術者の主観的評価」と実測値による「舗装の劣化性状の測定値」とを関連付けるために示された（港研資料，1982）
 - 「性能」から決まったものではない
- ・ 「PRI」のみで見るべきではない。
それぞれの「3項目の値」で評価も可能。

6

① わだち掘れ測定方法の改定



横断プロフィールグラフ



ハンディプロファイラー

今回追加

※ 路面性状測定車も追加

7

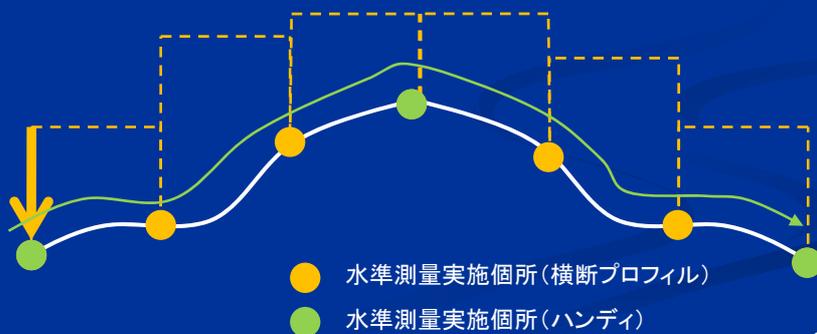
① わだち掘れ測定方法の改定

横断プロフィールグラフ

3~4mごとに計測するので、時間がかかる。

ハンディプロファイラー

端から端まで一回で測定可能なので、迅速な調査が可能。

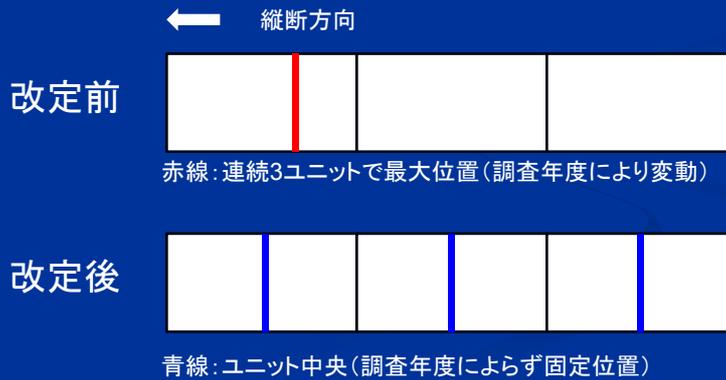


8

① わだち掘れ測定方法の改定

わだち掘れ測定位置の変更

改定前 3ユニットのうち最大の位置で測定
問題点 データ密度が希薄. 毎回計測位置が異なる
改定後 全てのユニットにおいて**固定位置**で測定

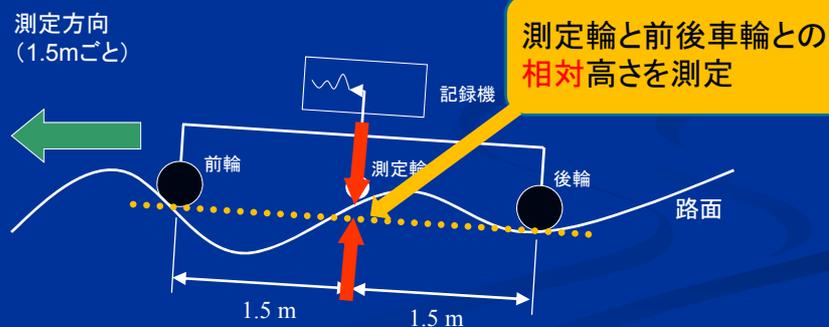


9

② 平坦性測定方法の改定

改定前

3mプロフィールメータ(の原理を用いた路面性状測定車)による
平坦性 σ (1.5mごとの相対高さの標準偏差)の測定
平坦性 σ =ある区間の平均的な凹凸量を数値化した値



3mプロフィールメータの原理による平坦性 σ の原理

10

② 平坦性測定方法の改定



路面性状測定車

11

② 平坦性測定方法の改定

問題点

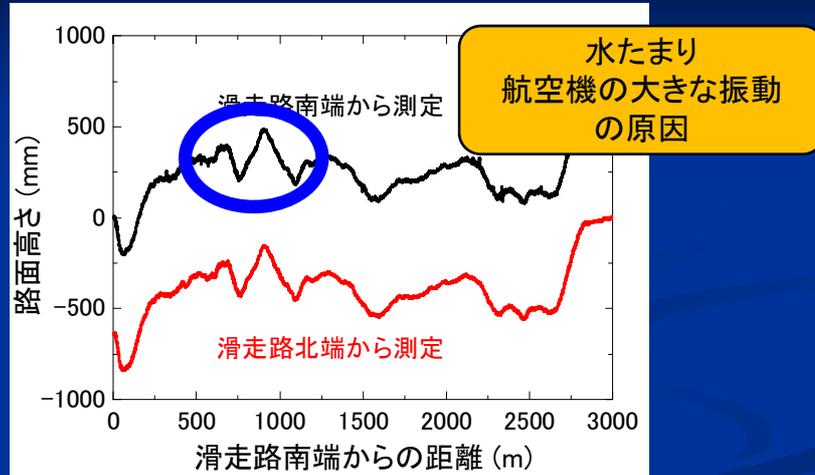
- ・簡単だが、わかることが少ない
- ・平坦性 σ は路面の波長によって大きく変化する値
- ・航空機の走行に支障を与える凹凸の検出ができない

改定後

- ・路面の縦断絶対プロファイルを計測する
- ・絶対縦断プロファイルを測定可能な機器を使用する
(ハンディプロファイラー, 一部の路面性状測定車)
- ・絶対プロファイルを測定することにより
従来の平坦性 σ の算出
局所的な凸凹の把握 が可能となる
- ・当面は平坦性 σ による評価を継続

12

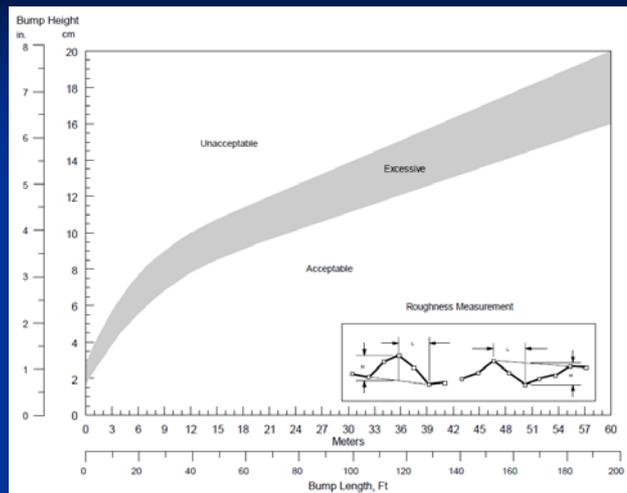
② 平坦性測定方法の改定



10cmピッチで測定した3000m滑走路の絶対縦断プロファイル
(測定開始点の高さをゼロ)

13

Boeing Roughness Criteria



K. J. DeBord : Runway Roughness Measurement, Quantification and
Application - The Boeing Method, *Boeing Document D6-81746*, Boeing
Commercial Airplane Company

14

③ PRI評価の改定

改定前(数値は滑走路の場合)

A区分=補修の必要はない 8.0~10.0

B区分=近いうちの補修が望ましい 3.8~8.0

C区分=できるだけ早急に補修の必要がある 0.0~3.8
 路面の評価は3項目より算出されるPRIに基づき行う。

問題点

B区分の幅が広すぎ、評価に苦しむことがある。
 PRIのみで評価する傾向がある？

改定後

B区分を三分割

B1=優先度低, B2=優先度中, B3=優先度高
 路面の評価は3項目及びPRIに基づき行う。

15

PRIによる評価

表-2.12 PRIによる評価基準の例

舗装区域	評価				
	A	B1	B2	B3	C
滑走路	8.0 以上	6.6 以上 8.0 未満	5.2 以上 6.6 未満	3.8 以上 5.2 未満	3.8 未満
誘導路	6.9 以上	5.6 以上 6.9 未満	4.3 以上 5.6 未満	3.0 以上 4.3 未満	3.0 未満
エプロン	5.9 以上	3.9 以上 5.9 未満	2.0 以上 3.9 未満	0 以上 2.0 未満	0 未満

(注) A:補修の必要はない
 B:近いうちの補修が望ましい
 (B1:優先度 低, B2:優先度 中, B3:優先度 高)
 C:できるだけ早急に補修の必要がある

16

各項目による評価

表-2.13 アスファルト舗装破損の各項目に対する評価基準の例

項目	舗装区分	評価				
		A	B1	B2	B3	C
ひび割れ率 (%)	滑走路	0.1 未満	0.1 以上 2.2 未満	2.2 以上 4.4 未満	4.4 以上 6.5 未満	6.5 以上
	誘導路	0.9 未満	0.9 以上 4.8 未満	4.8 以上 8.8 未満	8.8 以上 12.7 未満	12.7 以上
	エプロン	1.9 未満	1.9 以上 6.9 未満	6.9 以上 12.0 未満	12.0 以上 17.0 未満	17.0 以上
わだち掘れ (mm)	滑走路	10 未満	10 以上 19 未満	19 以上 29 未満	29 以上 38 未満	38 以上
	誘導路	17 未満	17 以上 30 未満	30 以上 44 未満	44 以上 57 未満	57 以上
	エプロン	22 未満	22 以上 38 未満	38 以上 54 未満	54 以上 70 未満	70 以上
平坦性 (mm)	滑走路	0.26 未満	0.26 以上 1.39 未満	1.39 以上 2.51 未満	2.51 以上 3.64 未満	3.64 以上
	誘導路	0.91 未満	0.91 以上 2.80 未満	2.80 以上 4.68 未満	4.68 以上 6.57 未満	6.57 以上
	エプロン	1.50 未満	1.50 以上 3.88 未満	3.88 以上 6.25 未満	6.25 以上 8.63 未満	8.63 以上

(注) A: 補修の必要はない
 B: 近いうちの補修が望ましい
 (B1: 優先度 低, B2: 優先度 中, B3: 優先度 高)
 C: できるだけ早急に補修の必要がある

17

④ FWDによる構造評価方法の改定

FWD(フォーリング・ウエイト・デフレクトメータ)
 = 舗装の支持力を非破壊で測定する装置



空港用FWD(国総研所有)
 最大荷重: 100, 150, 200, 250 kN
 載荷版直径: 450 mm



道路用FWD(舗装会社所有)
 最大荷重: 50~150kN
 載荷版直径: 300 mm

18

④ FWDによる構造評価方法の改定

改定前

- ・高度な解析手法を用いているが、精度が低い。
- ・FWD載荷荷重は200kNを標準
(200kN対応は国総研, 港空研, 成田, 関空, 一部会社が所有)

問題点

- ・判定結果が現実とかい離(解析手法の信頼性の問題)
- ・空港での調査=小規模空港であっても空港用FWD(200kN)

19

④ FWDによる構造評価方法の改定

改定後

評価法の改定

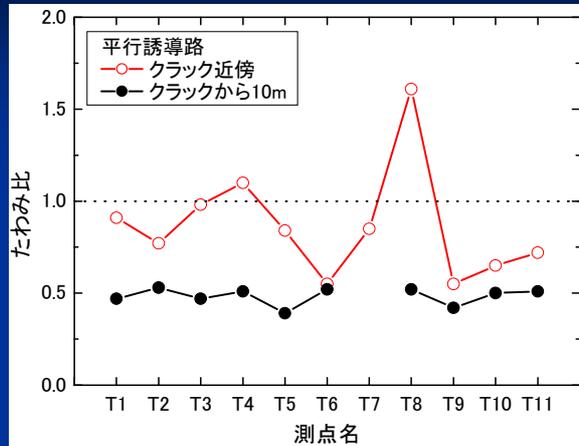
- ・構造上問題の有る「可能性のある箇所」を特定する試験
→当該個所については詳細な解体調査を実施し評価
- ・たわみ比=計測たわみ÷規準たわみ
の比較により評価を行うシンプルな評価方法に変更

運用方法の改定

- ・200kN以下のFWDでも使用可能
→舗装厚に応じて舗装会社所有の100kN, 150kNでもOK
- ・舗装新設後, 大規模改修後に初期値を測定することを標準.
→次期大規模改修時の参考値とする.

20

④ FWDによる構造評価方法の改定



仙台空港での計測例

21

④ FWDによる構造評価方法の改定

アスファルト舗装における載荷荷重の目安

基準舗装厚	載荷荷重
90cm以上	150kN以上
90cm未満	100kN以上

コンクリート舗装における載荷荷重の目安

版厚	載荷荷重
36cm以上	150kN以上
36cm未満	100kN以上

- ・上表はあくまで目安
- ・道路舗装程度の場合は、50kN以上でも可

22

④ FWDによる構造評価方法の改定

アスファルト舗装における載荷荷重の目安

基準舗装厚	載荷荷重
90cm以上	147kN以上
90cm未満	98kN以上

コンクリート舗装における載荷荷重の目安

基準舗装厚	載荷荷重
36cm以上	147kN以上
36cm未満	98kN以上

載荷荷重を一般的な呼称に改定予定

23



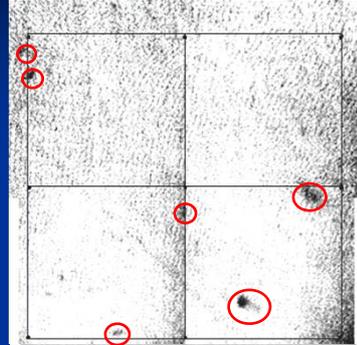
2000年夏 名古屋空港

24

⑤ 熱赤外線画像による層間剥離探査



打音調査



熱赤外線調査

改定前
改定後

ハンマーによる打音調査(人海戦術)
 熱赤外線画像による調査(迅速)
 調査に適した気象条件か否かの事前判定式,
 使用する熱赤外線カメラの要件を記載

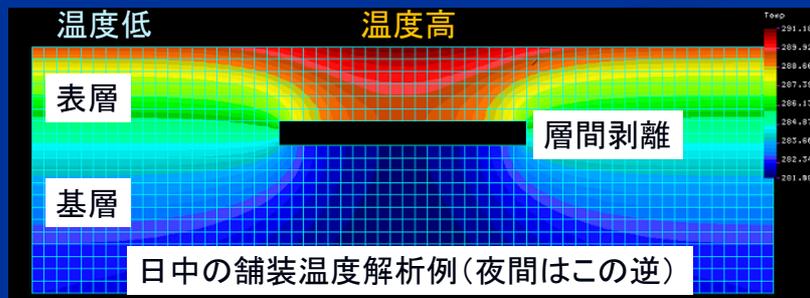
25

⑤ 熱赤外線画像による層間剥離探査

熱赤外線カメラを用いて、層間剥離に起因する
 舗装表面の高温部/低温部を検出 する手法

剥離直上部は「熱しやすく冷めやすい」状態

- ・日中(温度上昇期) 剥離部温度 > 健全部温度
- ・夜間(温度下降期) 剥離部温度 < 健全部温度



26

⑤ 熱赤外線画像による層間剥離探査

赤外線調査のポイント

- ①層間剥離の「空気層」が厚いほど検出しやすい。
剥離していても「接触」していれば検出しづらい。
- ②全ての剥離を検出できるものではない。
面的に赤外線で検出→点的に打音で確認する。
- ③その場で判定可能。
誰がのぞいてもその場でわかる(慣れは必要)。
- ④昼夜の気温差が大きい方が検出しやすい。
冬季は厳しい(予想算定式あり)
- ⑤昼間に調査可能なら、昼間の方が検出しやすい
剥離部は周囲に比べ、昼間は高温、夜間は低温

27

実際の適用事例

- ・大阪国際空港2011年7月～10月において計6回実施
- ・3人/パーティー(熱赤外線カメラ担当, 打音調査担当, 記録担当)



28

調査手順

- ①カメラ設定キャリブレーション
微妙な舗装表面の温度差を検出するため、
モニタ表示の温度レンジ(上限温度と下限温度)を設定。
- ②調査の実施
カメラ担当者が舗装表面温度を観察し、低温部を探查。
- ③異常個所の確認
カメラ担当者が低温部を確認した際は、
低温部をレーザーポインタで照射することで
打音調査担当者に位置を知らせ、打音調査を実施。
- ④位置の記録
異常個所をマーキングし、異音が大きい場合は緊急補修、
異音が小さい場合は経過観察。

29

可視画像と熱赤外線画像



可視画像

熱赤外線画像

30

観測された舗装表面温度

調査日時	日平均気温 (°C)	健全部温度 (°C)	異常部温度 (°C)	温度差 (°C)	異音状況
2011/8/9 21:30~23:15	30.5	33.2	30.9	2.3	大
		32.4	32.0	0.4	小
2011/8/23 21:30~23:30	27.5	30.0	29.4	0.6	小
		29.7	29.1	0.6	小
		29.2	28.7	0.5	小
		29.2	28.4	0.8	小
		29.5	28.6	0.9	小
		29.7	28.7	1.0	小
		29.6	29.0	0.6	小
		29.9	29.1	0.8	小
		29.8	29.4	0.4	小
		29.3	28.9	0.4	小
2011/9/8 21:30~24:00	24.9	30.3	29.1	1.2	大
		31.0	29.8	1.2	大
		29.9	29.0	0.9	大
		29.8	29.0	0.8	大
		30.3	30.1	0.2	小
		29.8	29.7	0.1	小
		30.9	30.0	0.9	大
		30.4	29.6	0.8	大

異音が大きい個所は比較的溫度差が大きく、
 カメラにより発見しやすい傾向がある。

31

長所と短所

大阪空港事務所の調査担当職員からの聞き取り。

【長所】

- ・3人/パーティーで広範囲を短時間に調査可能。
 およそ15000m²を2時間程度。
- ・準備が簡単。機動性に優れ安価。
- ・打音調査(点調査)で漏れた箇所を
 熱赤外線調査(面調査)で発見することが可能
- ・局所的破損なのか広範囲の破損なのか、
 進行しているのかいないのかの記録が得られる。

【短所】

- ・全ての異音箇所を発見するのは困難。
- ・モニタ表示設定(上限温度, 下限温度)が難しい。
- ・気温が低下すると探査が困難。

32

補修材料・補修工法について

33

⑥ 高性能タックコート

PKM-T使用



界面で破壊しにくい

PK-4使用



界面で破壊しやすい

改定前(H19改定事項)

作業条件等によりタックコートの養生時間が確保できない場合は
付着性が高く、速乾性のある改質系乳剤の使用が望ましい

改定後

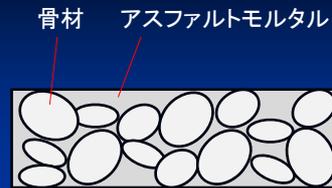
夜間の施工においては日本アスファルト乳剤協会規格
JEAAS-2011に示されているPKM-Tを使用することを原則
昼間の施工においても使用が望ましい

34

⑦ アスコン最小施工厚

改定前

表層は最大骨材粒径の**2倍**以上
20mm骨材 → 4cmが最小厚
13mm骨材 → 3cmが最小厚



問題点

最大骨材粒径に対して施工厚が薄い場合、
施工性や平坦性が低下する。

改定後

表層は最大骨材粒径の**2.5倍**以上
20mm骨材 → 5cm
13mm骨材 → 4cm
※「LA-3以上の場合は、耐流動性の観点から、
表層は骨材20mm以上が望ましい」を追加

35

⑧ 再生アスファルト混合物の使用

改定前

新規アスファルト混合物と同様の配合規準
マーシャル安定度, フロー値, 空隙率, 飽和度,

問題点

再生アスファルト混合物は水に対する抵抗性が低く、
長期的には、骨材とバインダが剥離し、ポットホール等の
破損が発生しやすい。

改定後

新規アスファルト混合物の配合基準に加え、
水浸ホイールトラック試験による剥離面積率が
5%以下であることを確認する。

36

⑨ 改質Asに対するグルーピング養生日数

改定前

空港土木施設施工要領

「グルーピングの安定性を確保するため、
表層は可能な限り養生期間をとることとし、
最低でも2箇月間養生後、グルーピングを施工する」



施工直後に目つぶれ・角欠けが発生したグルーピング 37

⑨ 改質Asに対するグルーピング養生日数

問題点

- ・2ヶ月間ノングループ状態になる。
 - すべり摩擦・排水性能の低下
 - 航空機の運航に影響(風速上限値の低下)
- ・改質Asはグルーピングの安定性が高い。

改定後

補修工事後にグルーピングを施工する場合には、
表層のアスファルト混合物を施工してから
2ヶ月以上経過した後に行う必要がある。
ただし、表層に改質アスファルト混合物を用いる場合には、
施工してから1ヶ月以上経過した後に
グルーピングを施工することができる。

⑩ 薄層付着オーバーレイ工法

空港コンクリート舗装の補修方法(既設Co版温存)

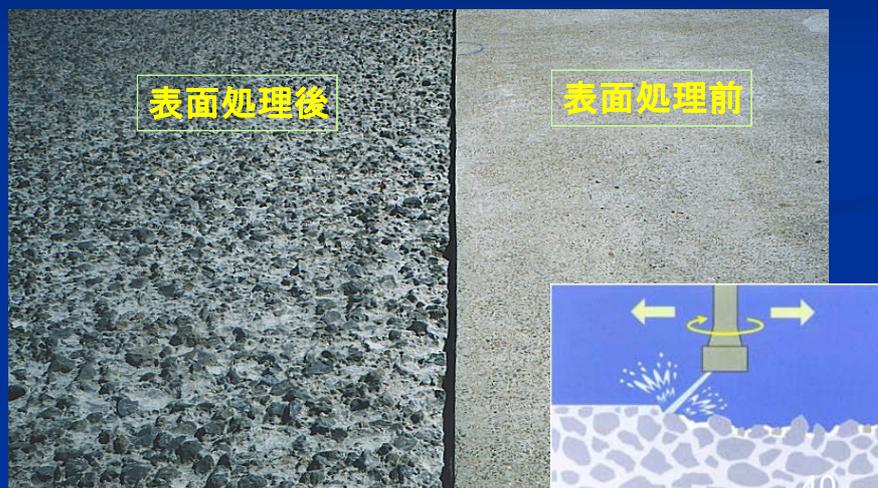
- 直接オーバーレイ - 非常にあいまい
- 分離オーバーレイ - 既設版と新設版を分離
- 付着オーバーレイ

- ・既設コンクリート舗装の有効利用
- ・勾配修正に適用可能(オーバーレイ層の薄層化)
- ・共同研究では「WJ+SB」「SB+接着剤」を検証



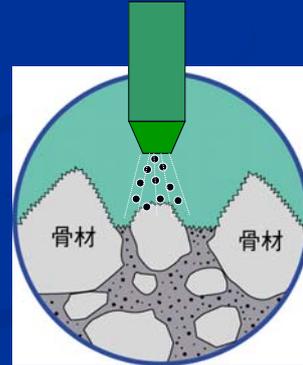
⑩ 薄層付着オーバーレイ工法

ウォータージェットによる表面処理



⑩ 薄層付着オーバーレイ工法

ショットブラストによる表面処理



41

⑩ 薄層付着オーバーレイ工法

ショットブラスト・接着剤による表面処理

ショットブラスト



接着剤塗布



42

⑩ 薄層付着オーバーレイ工法

- 必要付着強度
最小引張強度が1.6MPa以上
室内引張試験で確認.
- 界面付着処理方法
WJ+SB併用工法
SB+接着剤併用工法 の適用性を確認
- 材料
普通コンクリートで問題なし
- オーバーレイ厚
最小OL厚5cmで施工可能

43

⑩ 薄層付着オーバーレイ工法

- コスト
施工面積が小さいと打換えと比べて不利.
- 既設版の評価
全ての既設版に対して適用可能なわけではない.
特に材料の劣化で既設版の表面が傷んでいる
(ポップアウトやスケーリングなど)場合には
付着が十分に確保できない場合がある.
- 適用事例
新千歳空港, 東京国際空港

44

参考) 舗装温度解析プログラム

研究成果

- ・舗装温度の時系列解析を行うことが可能.
- ・複数層施工時にも対応.
- ・表面温度のみならず, 内部温度も推定可能.

主な用途

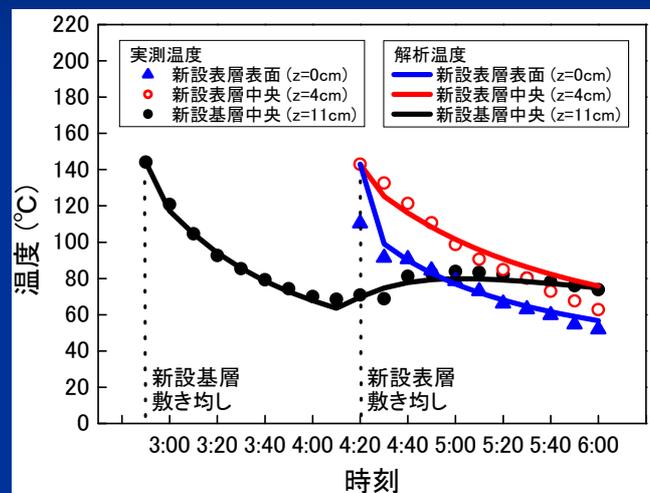
- ・同日複数層施工の表基層オーバーレイ工事時の明朝までの舗装温度低下予測.
- ・StAs, 改質Ⅱ, 中温化などの合材敷き均し温度が異なる場合の降温時間を予測可能.

補修要領にて当該プログラムを参考として記載

45

解析事例

一層目温度, 二層目温度ともに概ね実測値と一致する.



46

定量的な分析

一層施工 $t_{cool} = -213 + 0.96T_i + 3.3T_a + 13a$

二層施工 $t_{cool} = -314 + 1.48T_i + 5.0T_a + 10b + 0.71c$

降温時間 初期温度 気温 一層施工厚 合計施工厚 施工時間間隔

条件	相当する降温時間	
	一層施工で 30分程度短縮	二層施工で 45分程度短縮
初期温度	30°C低下	
気温	9°C低下	
一層施工厚	2cm程度の減厚 (二層施工では合計4cm程度)	
施工時間間隔	—	60分程度の 短縮

47

ご静聴ありがとうございました