

空港アスファルト舗装の 効率的な調査・施工のための 新技術

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

報告内容

■ 熱赤外線調査による層間剥離探査

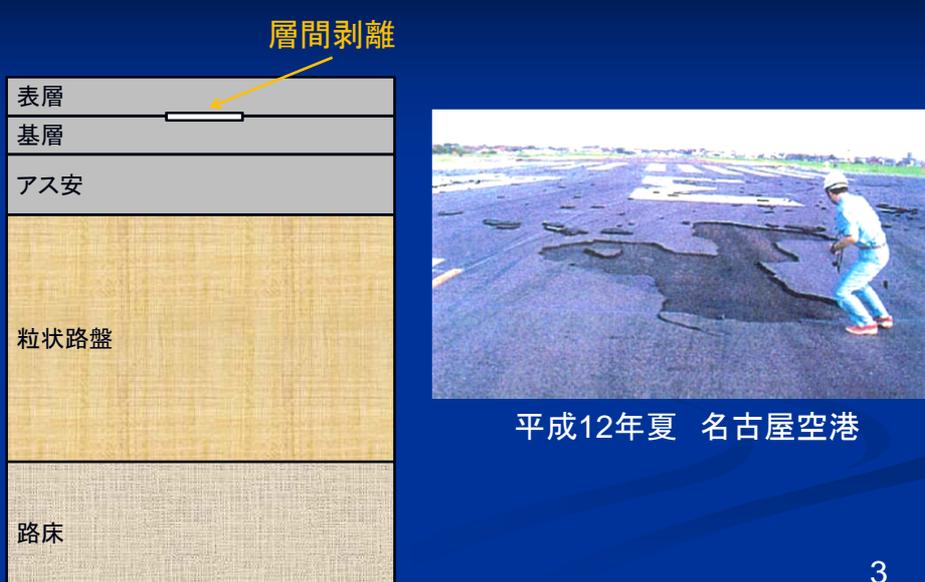
補修要領において「非破壊調査」の一つとして位置づけ、
熱赤外線カメラにより舗装表面の温度を撮影し、
アスファルト舗装の層間剥離を検出する手法

■ 舗装温度解析プログラムによる アスファルト舗装の降温時間推定

補修要領において参考として示されているプログラム、
国総研で開発した舗装温度解析プログラムにより、
夜間のアスファルト舗装施工において、舗装温度が
交通開放温度以下となるまでの降温時間を推定する手法

2

層間剥離



The diagram on the left shows the vertical structure of pavement layers: 表層 (Surface Layer), 基層 (Subgrade), アス安 (Asphalt), 粒状路盤 (Gravel Subbase), and 路床 (Subgrade). A yellow arrow labeled 層間剥離 (Interlayer Delamination) points to a gap between the 表層 and 基層. To the right, a photograph shows a worker inspecting a road surface with a large, irregularly shaped delamination area. The photo is captioned 平成12年夏 名古屋空港 (Summer 2000, Nagoya Airport).

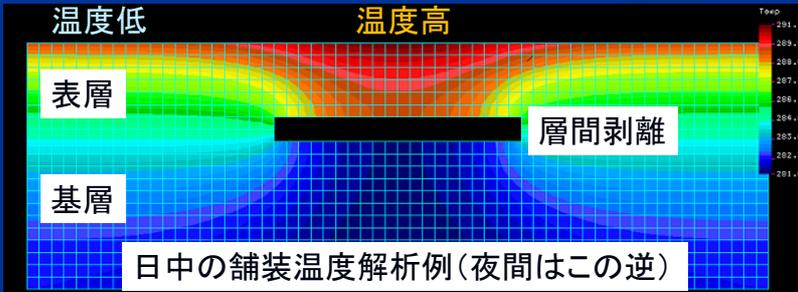
3

熱赤外線調査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



The thermal image shows a cross-section of the pavement layers: 表層 (Surface Layer) and 基層 (Subgrade). A dark horizontal band in the middle of the surface layer is labeled 層間剥離 (Interlayer Delamination). A color scale on the right indicates temperature (Temp) from 201.80 to 209.18. The text below the image reads 日中の舗装温度解析例(夜間はこの逆) (Example of pavement temperature analysis during the day (night is the reverse)).

4

報告事例

①適用性調査

那覇空港(平成17年9月)
新潟空港(平成18年10月)において,
夜間の調査を対象とした適用性調査を実施.



空港舗装補修要領改定
(平成23年4月)

②実際の適用事例

大阪国際空港(平成23年7~10月)において,
実際の点検に使用.

5

適用性調査

- ・那覇空港(平成17年10月)及び新潟空港(平成18年9月)で実施
- ・10m×10mの範囲の打音調査を実施
- ・高所作業車からの静止画撮影を実施
- ・コア採取による剥離の有無, 剥離深さを確認



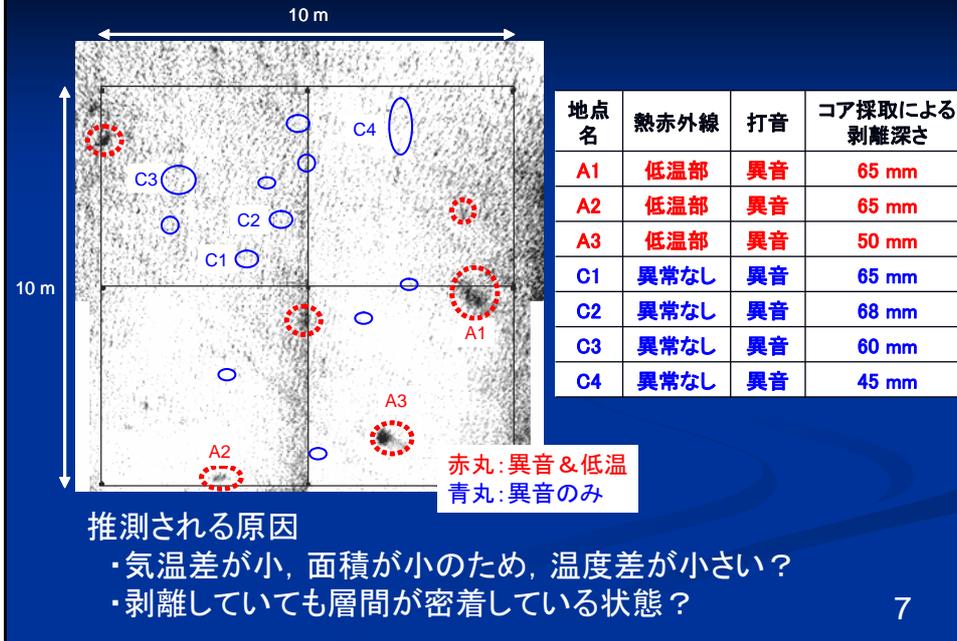
静止画撮影状況



赤外線カメラ

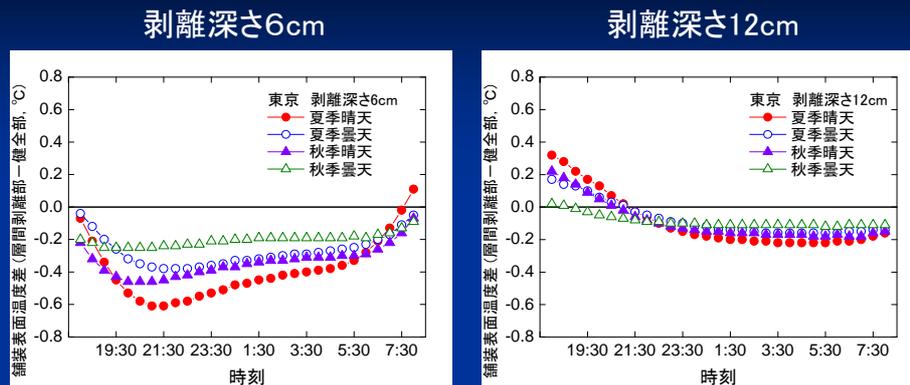
6

適用性調査結果(那覇空港)



7

適用性調査結果(温度解析)



層間剥離に起因する舗装表面温度差

- ・天候 晴天 > 曇天
- ・季節 夏季 > 秋季
- ・剥離深さ 6cm > 12cm

8

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)



9

調査手順

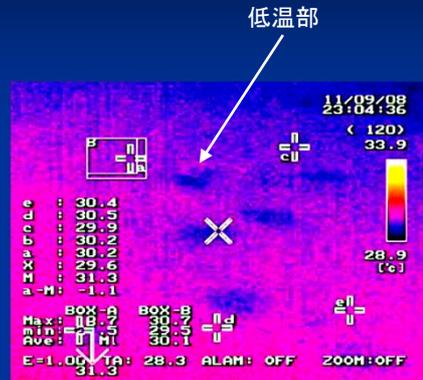
- ①カメラ設定キャリブレーション
微妙な舗装表面の温度差を検出するため、
モニタ表示の温度レンジ(上限温度と下限温度)を設定。
- ②調査の実施
カメラ担当者が舗装表面温度を観察し、低温部を探索。
- ③異常個所の確認
カメラ担当者が低温部を確認した際は、
低温部をレーザーポインタで照射することで
打音調査担当者に位置を知らせ、打音調査を実施。
- ④位置の記録
異常個所をマーキングし、異音が大きい場合は緊急補修、
異音が小さい場合は経過観察。

10

可視画像と熱赤外線画像



可視画像



熱赤外線画像

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。

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。

13

まとめ

- 熱赤外線カメラにより低温部検出→打音調査
という調査手順により、層間剥離を迅速且つ安価に
発見することが可能。
- 熱赤外線調査のみでは、
全ての層間剥離を検出するのは困難。
- 気温が低い時期は調査に適さない。
日中あるいは夏季深夜に実施するのが良。

14

舗装温度解析プログラムによる アスファルト舗装の降温時間推定

- 空港アスファルト舗装の補修工事において
混合物の温度がまだ高い間に交通を開放すると
初期わだちに繋がる
- 交通開放温度: 表面温度が50°C以下(ストアス)
- 施工開始から交通開放温度以下となるまでの
「降温時間」は経験と勘. 気象条件にも左右される
- 降温時間は, 施工計画(日施工可能量)に影響

15

目的

夜間の空港舗装施工を対象として

- 気象条件, 施工条件が降温時間に及ぼす影響を
明らかにする
- 気象条件, 施工条件から降温時間を簡易的に
推定する手法を確立する

16

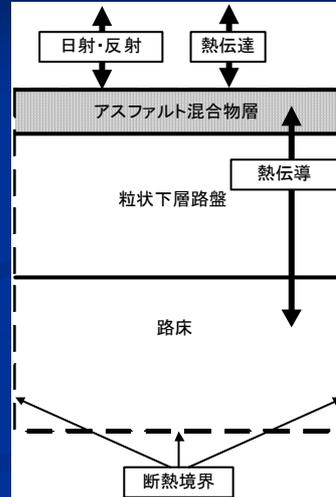
空港舗装温度解析プログラムの開発

概要

- ・舗装内部の熱伝導
- ・舗装表面の熱伝達
- ・日射による影響(昼間のみ)
 を考慮した熱収支解析を
 二次元有限要素解析で実施

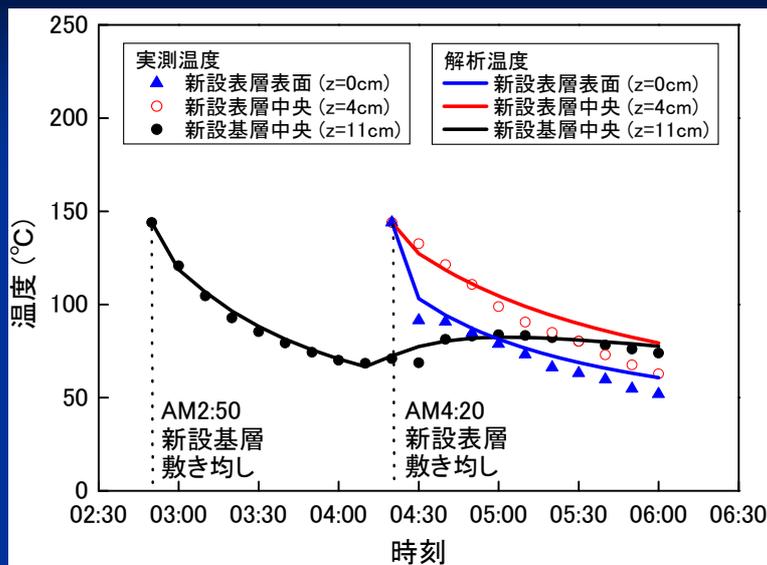
特徴

- ・複数層施工時の温度解析が可能
 例) 0:00から6:00まで温度解析
 1:30に一層目施工開始
 3:00に二層目施工開始 など



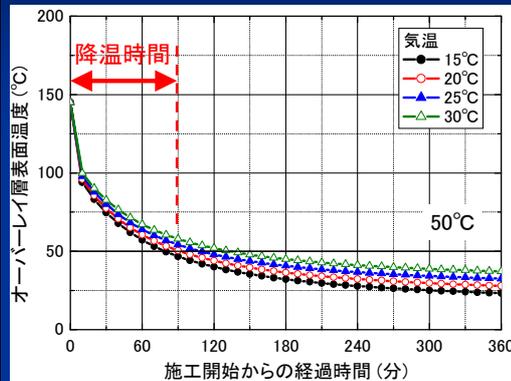
17

プログラムの適用性検証



18

気温が降温時間に及ぼす影響



気温	降温時間(分)	
	一層施工	二層施工
15°C	80	200
20°C	100	220
25°C	110	250
30°C	140	290

60分の差 90分の差

気温の影響は複数層施工ほど大きい

19

定量的な分析

目的

どのパラメータが降温時間にどの程度影響するのかを定量的に明らかにする。

パラメータ

一層施工の場合

気温, 混合物初期温度, 一層施工厚

二層施工の場合

気温, 混合物初期温度, 合計施工厚,
 施工時間間隔

(一層目施工開始から二層目施工開始までの時間)

検討手法

プログラムにより降温時間を計算

→パラメータを説明変数として, 重回帰式を算出

20

定量的な分析

一層施工

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

一層施工厚

降温時間

初期温度

気温

合計施工厚

施工時間間隔

二層施工

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

二層施工厚

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

21

まとめ

- 気温, 初期温度, 施工厚が降温時間に及ぼす影響は大きく, 施工時間間隔の影響は比較的小さい
- 降温時間を簡易的に算出する手法を開発し, 各条件が降温時間に及ぼす影響を定量的に明らかにした

22

詳細資料のご案内

国総研HPにおいて研究資料を公開

空港施設研究室



熱赤外線調査(適用性調査)については

国総研報告 No.41

空港舗装の設計・維持管理手法の
高度化に関する研究

降温時間推定については

国総研資料 No.653

空港アスファルト舗装の夜間施工時の
降温時間に関する解析的検討

23