

赤外線路面点検車導入による点検業務の高度化と展望

エアポートメンテナンスサービス株式会社

土木事業部 土木保全課

坂本 明仁

1.要旨

現在、成田国際空港における基本施設（滑走路・誘導路）の舗装点検業務は点検員の目視・打音点検により行われているが、少子高齢化を背景とした生産年齢人口の減少による人材不足や、運用時間の延長、施設の拡大等の空港機能の強化に伴う点検時間の縮小問題に対する方策の一つとして、2015年度より赤外線を用いた新たな路面点検技術の検証を重ねてきた。結果として、赤外線測定による路面点検の有用性が確認されたため2019年度より赤外線カメラを用いた路面点検車両（「赤外線路面点検車」）を導入した。検証より得られた赤外線路面点検車の有用性、また導入により見込まれる成果並びに運用方法等を共有し、機能拡大の次フェーズと最終的な展望について発表を行うものである。

検証の結果として、赤外線測定による舗装変状検出の精度や導入による変状発見数の増加率を得られている。また、運用方法の一つとして変状密度による舗装状態の評価方法を策定することができ、それらを元に施設全体の傾向把握と劣化予測が可能となっている。

また、導入後の習熟期間において得られた現場作業における課題や運用計画並びに赤外線路面点検車の位置付と、将来的な機能拡大に関する展望を本稿にて記載する。

2.はじめに

昨今、我が国においてAI技術を筆頭とした「機械化（自動化）」の動きがその加速度を増している。土木建設業界においても、国交省が掲げる生産性向上のためのプロジェクトの一つ、「I-construction」等、ICT(=Information and Communication Technology：情報通信技術)を導入することによりその生産性を向上させようとする試みが推し進められている。

特に土木建設業界については生産性の向上がほとんど進展していない分野でもあり、今後機械化（自動化）が推進されていく中で効率化の成果が顕著に表れると言われている。

また、国土交通省並びに総務省の統計より、建設業に従事する労働者の数が年々右肩下がりに推移しているのに対し平均年齢は右肩上がりに上昇していることから、高齢化及び技術者の不足、技術力の分散は今後さらに加速していくものと思われる。

一方、成田国際空港の舗装点検業務は、運用時間の延長や施設拡大に伴う点検時間の縮小に対し単純に人手を増やすといった方策をこれまで実施してきた経緯がある。前述の社会情勢を踏まえ、今後人手に頼らない効率化を意識した取り組みが必要となる。

赤外線路面点検車の導入は、変状を自動判別するシステムを車載型にすることにより、現状より短時間で同量以上の点検をすることができ、破損評価の定量化により点検員の熟練度を問わない等の成果をあげることが期待されている。これまでの検証による赤外線路面点検車の性能と、運用計画の整理、現状判明している課題と将来的な機能拡大について記す。

3.概要

3-1.基本事項

赤外線カメラを用いた舗装路面の点検は真新しい技術というわけではない。ハンディタイプの赤外線カメラにて舗装表面を撮影し、熱画像から舗装表面の温度差を読み取り内部変状を推定するという点検手法は既に広く知れ渡っているものである。しかしながら、ハンディタイプの赤外線カメラは徒歩にて使用するものであり、撮影範囲も広くないため点検対象施設全域を同手法で実施するのは時間的にもコスト的にも現実的ではなく、あくまでポイントで使用されているケースが多い。

本取り組みは赤外線カメラを車載タイプにし、点検速度を向上させることで上述の効率面のデメリットを改善させつつ、目視では判別できない舗装内部の変状を検出するという点検業務の高度化に寄与するメリットを得ることを目指したものである。

3-2.経緯

成田国際空港では、2014年6月に舗装内部の変状に起因する突発的な舗装破損が運用時間中の誘導路で発生し、一時当該誘導路が閉鎖される事案が発生している（図-3-2）。当該事案を受け、舗装内部の変状を把握する技術に着目したのが赤外線路面点検車導入のきっかけである。



図-3-2 舗装内部の変状に起因する舗装面破損

3-3.舗装内部の変状と検出の仕組み

赤外線カメラによって検出できる変状とは、舗装表面に温度差を生じうる舗装内部の変状である。舗装層間における付着力が舗装内部の水分等により低下することにより生じる「層間剝離現象」や、その層間剝離が進行することで発生しやすい舗装内部の水分が気化し舗装表面を押し上げる「ブリストリング現象」が挙げられる。いずれも舗装体内に水分や空隙等の異常があるケースであり、これらが存在することで舗装体内の熱伝導が均一にならず舗装表面に温度差が生じ、赤外線カメラの撮影による熱画像にて変状を可視化することができる。

3-4.赤外線路面点検車の基本性能

赤外線路面点検車の外観を図-3-4-1に、基本諸元を表-3-4に記す。

表-3-4 赤外線路面点検車の基本諸元

ベース車両	ワンボックスタイプ
赤外線カメラ-測定温度範囲	-20℃～+350℃
赤外線カメラ-温度分解能	<0.02℃（標準0.018℃）
解析機能（基本システム）	Jシステム （西日本高速道路エンジニアリング四国(株)）
測定幅	4.5m（有効幅 4.0m）
測定速度	30Km/h
カメラ固定高さ	地上 3.75m
GPS 機能の活用	測定結果と位置情報のリンク
	走行路のナビゲーションシステム

赤外線カメラにより取得される熱画像の解析には西日本高速道路エンジニアリング株式会社が開発した「Jシステム」を使用している。通常の熱画像から異常箇所を自動で判別し温度差のレベルに応じて色分けされた結果をリアルタイムで表示する。（図-3-4-2）

さらに、GPSによる位置情報を赤外線測定によって得られたデータと結びつけることで図面化し、施設全体の傾向を読み取ること、危険箇所を把握しハザードマップを作成することが可能である。



図-3-4-1 赤外線路面点検車外観

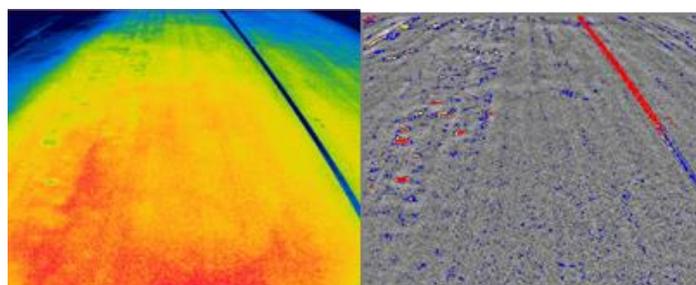


図-3-4-2 熱画像と解析画像（リアルタイム）

4.検証結果

4-1.精度検証（As 舗装解体調査）

赤外線測定により検出した内部変状が実際に存在しているかどうかを確認するため As 舗装の解体調査（コア抜き）を行い、その精度についての検証を行った。As 舗装の解体調査の状況を図-4-1 に、全 20 か所の結果を表-4-1 に示す。

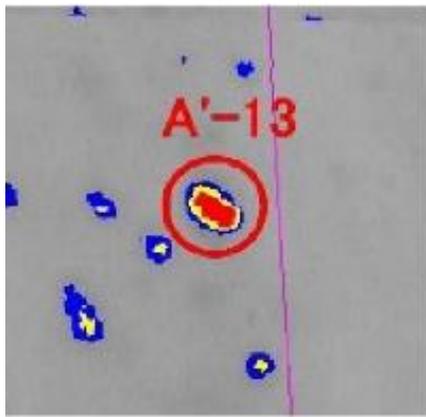


図-4-1 As 解体調査の状況

表-4-1 損傷状況一覧と総括

No	変状抽出面積 (m ²)	コア損傷状況		No	変状抽出面積	コア損傷状況	
		ひび割れ	層間剝離			ひび割れ	層間剝離
1	0.123	×	×	11	0.038	×	○
2	0.060	×	×	12	0.075	○	○
3	0.040	×	×	13	0.160	○	○
4	0.063	○	○	14	0.160	×	○
5	0.063	×	○	15	0.090	×	○
6	0.063	○	○	16	0.120	×	○
7	0.040	×	○	17	0.120	×	○
8	0.040	×	×	18	0.160	○	○
9	0.075	×	○	19	0.120	×	○
10	0.123	×	○	20	0.120	×	○

舗装解体調査 コアボーリング調査	As舗装破損箇所
20	16 (80%)

表-4-1 の通り、全 20 箇所の As 舗装解体調査の結果、赤外線測定により検出された変状箇所が実際に損傷していた割合は 80% となった。

赤外線測定により検出されていたにも関わらず、損傷が確認されなかった 4 箇所については、GPS の誤差によるもの又は内部変状が極端に小さくコア内に収まってしまった可能性がある。また、赤外線測定の課題であるが、舗装表面の温度差を異常値として検知するため舗装表面に水分等の異物があった場合はそれを感知した可能性が考えられる。

4-2.性能検証（舗装変状の発見数比較）

既存の点検業務は、基本施設全域の車上点検を 1 回/週、車上点検と重複して、過去の破損頻度の履歴等から選定した箇所の徒歩点検を 1 回/週行っている。既存の点検手法は目視による点検と、目視にて異常がある箇所の打音点検により構成されているため、舗装内部に異常があり、表面化していない

ものについては発見することが困難な状況にある。

一方、赤外線測定を用いた点検手法を組み入れることにより、舗装内部の状況も把握できることから既存点検手法に比べ破損の発見数が約26%増加することが検証により判明している。

検証では、同一範囲にて既存の手法による点検と赤外線測定による点検を実施し、それぞれの変状の発見数を比較した。その結果を表-4-2に示す。

表-4-2 変状発見数の比較

既存点検手法	赤外線測定の併用	増加率
241	303	26%

また、徒歩による詳細な点検についても過去の破損傾向から重要と思われるエリアのみで実施しているため、基本施設のほとんどは車上点検により賄われているのが現状であるが、赤外線測定を組み入れることにより効率的に空港全域のAs舗装内部の状態把握が可能となる。

5.測定データの活用

赤外線路面点検車により得られる結果は、リアルタイムで可視化できる舗装内部の変状推定箇所とデータ整理後の測定結果の平面図（図-5-1）があり、そこからさらに変状推定箇所を密度換算した図面（図-5-2）を作成する。

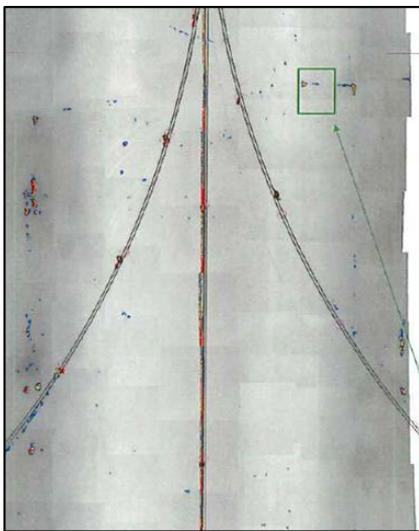


図-5-1 測定結果平面図

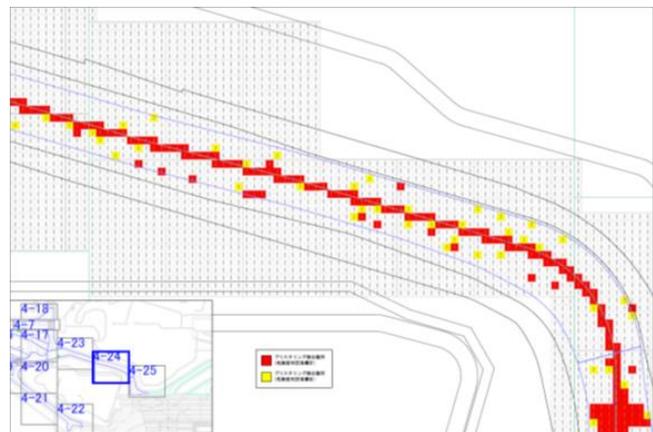


図-5-2 密度換算施設図面

これらを両立することで現地での表面・内部両方の点検による高度化と、データ整理による重点点検箇所の絞り込みによる効率化が図れ、密度換算図面を用いて劣化予測等の施設評価が可能となる。

6.課題

走行技術の習熟

既存の点検手法は目視によるものであったため、ある程度既定の点検幅を定めてはいたものの融通の効くものであり運転に神経を費やすものではなかった。一方の赤外線測定は、測定可能な点検幅が固定されているため、測定効率が走行ラインに依存するものである。

あらかじめ定められた間隔で走行し続けるのは困難であり、現地に直接の目標物がないため図-6-1のように測定漏れが生じてしまう。

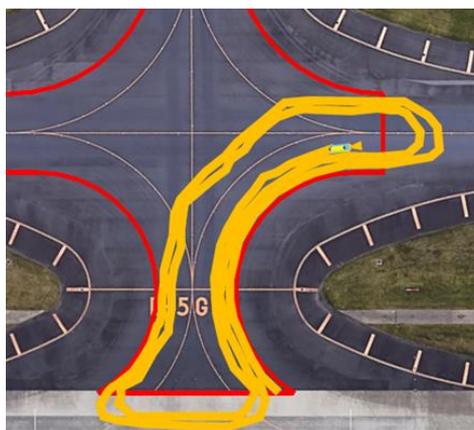


図 6-1.走行課題イメージ図

短期的な改善策としては、運転席のモニターに表示される走行軌跡図面に走行ラインを表示し、運転をサポートするよう試みており、特に直線部分では測定漏れの改善に効果が出ている。

また、長期的な改善策としてはプロジェクションマッピング技術を用いて走行ラインを現地投影する技術の開発や自動運転技術の適用を考えており、実現すれば測定効率の大幅な改善が見込まれる。

その他、マーキングや灯火等の固定支障物が解析時に常に異常箇所として検出されてしまうため、自動で控除するような機能が必要である。(現在は手動で控除している)

7.展望

我々が最終的に目指しているものは「総合路面点検車」であり、その開発の第一ステップとして完成させたのが今回の「赤外線路面点検車」である。「総合路面点検車」を実現する上で、核となる「自動損傷判別システム」と「車両パッケージ化」両方を同時に試行でき、且つそれ単体でも運用が可能である点から「赤外線路面点検車」の検証と導入を今回行った。

「総合路面点検車」とは、舗装の表面・内部両方の破損を自動検出し、点群データを取得することによるわだち掘れ量、施設の勾配の把握を同時に行うものである。さらにこれらを一台の車両パッケージとし将来的には自動運転制御を組み込むことで現場作業における人の手がほとんどかからない点検手法の構築と、損傷レベルの判定についてはAIを用いた複合的な判定システムを構築することを目指している。

様々な要素より今後さらなる縮小が見込まれる点検可能時間と、それと比例して減少が見込まれる生産年齢人口がもたらす技術者不足の問題に対し、効率化と品質維持の両方を獲得する技術の開発を今後目指していきたい。