

舗装層間剥離の新しい探査手法の開発

前川 亮太

港湾空港技術研究所 空港研究センター (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

空港アスファルト舗装の損傷形態のひとつであるアスファルト混合物層間の剥離を対象に、従来の探査手法よりも効率的かつ客観的な非破壊探査手法の開発を試みた。層間剥離の発生が路面温度にすることに着目して、路面温度を計測できる赤外線法を用い、その適用性を検討した。試験ヤードにおける予備実験および空港における夜間の実験の結果、赤外線法による剥離探査は探査効率面および剥離検知の精度面において有効であることが確認できた。

1. 背景

近年、航空需要の増加に伴い、滑走路や誘導路のアスファルト舗装に層間剥離が発生する事例が報告されている。層間剥離は舗装の表層、(中間層)、基層、路盤層のアスファルト混合物層について、本来互いが接合しているはずの層境界において接着が失われ、舗装構造としての一体性が失われる現象である。層間剥離の大きさは、現在実施されている打音調査や舗装の解体調査によると、直径数十cm程度のものが多く、剥離が生じている深度は、舗装表面から数cm～数十cmであることが多い。

層間剥離が進行すると舗装表面が隆起するブリストリング現象に至り、その後舗装表面の一部がはがれて航空機走行の安全に重大な支障を来すおそれがあるため、その前段階としての層間剥離の発見とその早期対処は極めて重要である(写真-1)。



写真-1 ブリストリングによる舗装の損傷例

層間剥離の探査方法について、舗装の解体調査、コア

抜き調査は舗装を破壊するため復旧に時間がかかることから、夜間の限られた時間に迅速な作業を要求される空港舗装調査としてはあまり好ましくなく、現在では、非破壊検査のひとつである打音調査によって層間剥離の発生位置を確認することが多い。しかし、空港滑走路において深夜の限られた運用閉鎖時間中に打音調査を実施するには一定の技術を持った調査者が多数必要であると同時に、探査結果が測定者の主観に大きく左右されるなど、打音調査にはいくつかの課題がある。

これらの課題を克服するため、新たな層間剥離探査手法として、面的に広く対象物を調査でき、かつその場で熱画像により剥離箇所を客観的に特定できる赤外線法による非破壊試験に着目した。

2. 赤外線による探査の原理

赤外線法による剥離探査とは、滑走路がクローズされている夜間の時間帯に、舗装表面から放出される赤外線エネルギーを赤外線カメラでとらえて画像化し、路面温度の分布状況から内部の層間剥離を検出しようとするものである(図-1)。

路面温度によって層間剥離の有無が把握できると考える原理を次に述べる。層間剥離部に介在している空気層の断熱効果により、健全部に比べて剥離部は鉛直方向の熱伝導が遮断されると考えられる。従って、日射による熱が路面から舗装内部へ伝導する昼間は、健全部の路面温度と比べて剥離部はより高くなり、日射がなく熱が舗装内部から路面へ伝導する夜間は、健全部の路面温度と比べて剥離部がより低くなることが期待できる。このことから、層間剥離の検知に赤外線カメラが有効であると考えた。

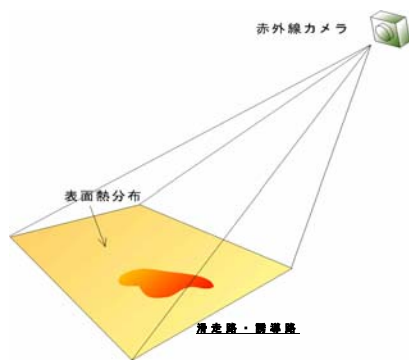


図-1 赤外線による剥離探査概念図



写真4 予備実験概要(その3)

3. 予備実験による適用性の検証

前述の想定どおりに赤外線法による剥離探査が可能かどうかを把握するための予備実験として、試験フィールドにおいて意図的に剥離箇所を設けた舗装を対象に剥離探査を試みた。

既設のアスファルト舗装を切削することにより直径40cmの円形のくぼみを4箇所設け（写真-2）、その上に板状に締固められたアスファルト混合物を乗せ（写真-3）、最後に周囲にアスファルト混合物を敷きならし転圧することにより、舗装内の層間剥離を再現した（写真-4）。

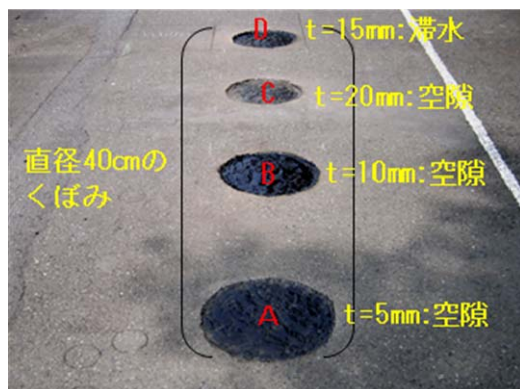


写真-2 予備実験概要(その1)

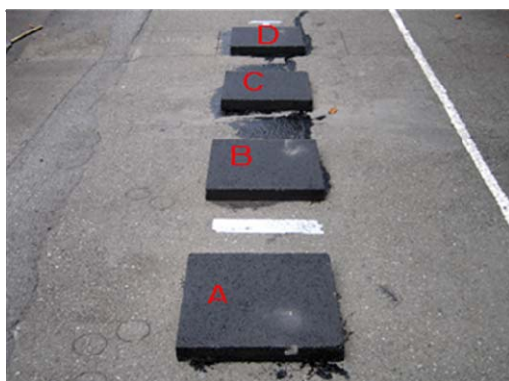


写真-3 予備実験概要(その2)

4箇所の剥離のうちA、BおよびCと設定した剥離は厚さをそれぞれ5mm、10mm、15mmとし、剥離部は空隙とした。Dと設定した剥離は厚さを15mmとしつつ、水を注入することによって滞水状態とし、水の有無が赤外線による剥離探査に与える影響の把握を試みた。

予備実験は6月に都内で実施した。昼間(14:00)、夕方(19:15)および夜間(23:30)における赤外線による探査結果を（図-2）に示す。

予備実験の結果、当初の予想通り昼間は剥離箇所の路面温度が周辺健全箇所のそれよりも高く、夜間は剥離箇所の路面温度が低くなることが把握できた。このことから、昼間または夜間において赤外線法による剥離探査が可能であることが推定できた。また昼間と夜間の間の夕方は、剥離箇所と周辺健全箇所との路面温度差は小さかった。

滞水箇所(図中"D")は昼間、夕方、夜間を問わず剥離箇所と周辺健全箇所との路面温度差が小さかった。これは、水の熱伝導性が空気と比べて大きいことから、滞水箇所剥離部が漸熱効果をあまり有せず、周辺健全部と同様に路面と深部との間で熱の移動があったためと考えられる。

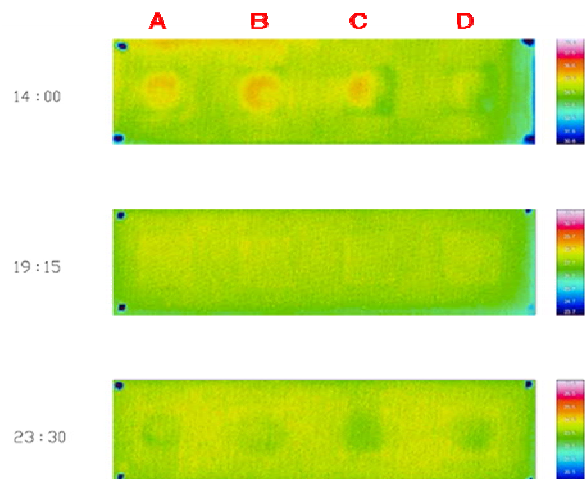


図-2 予備実験結果

4. 空港で使用する際の諸条件の設定

実際に赤外線カメラを用いて空港滑走路の層間剥離探査を試みた。赤外線カメラの撮影方法として連続式赤外線撮影法を採用し、幅が約60mで長さが約3,000mの滑走路の調査を行った。

赤外線撮影には、主に静止画の重ね合わせによる方法と連続式撮影による方法がある。静止画方法で実際の滑走路すべて撮影した場合、所要時間は200時間程度となり、探査にかかる作業時間とコストが大きな障害となった。また画像データの整理においても画像の歪み補正と接合のための画像処理が必要で、熱画像の不連続性の発生が懸念された。

そこで、今回の取り組みでは次に述べる連続式赤外線撮影を採用し、調査車に赤外線カメラを搭載した。1ラインの幅（今回の測定では幅3.5m）で1～5cm間隔による熱画像の連続スキャン方式を採用し、走行しながら連続的に赤外線画像を撮影する。これにより以下の利点が期待できた。

- ・撮影時の走行速度が最大54km/h（スキャン間隔：5cmピッチの場合、今回の試行は約10km/hで実施）となり、調査効率が飛躍的に向上する。
- ・また数cm刻みの撮影を繰り返すことで、画像の歪み補正の必要が生じず、接合時に画像データに関する不連続性がほとんど生じないので、接合の自動処理が容易となる。
- ・さらに可視画像カメラを合わせて調査車に搭載し、同様の連続式撮影を実施することで、路面状態の観察画像と赤外線画像の対比が行える。

以上の利点から連続式赤外線撮影の方法を用いた。

5. 測定結果

得られた熱画像を幅3.5m×長さ10mの範囲で整理した結果の一例を図-3に示す。同一箇所の可視画像も合わせて示している。可視画像では、過去の打音調査で層間剥離が発生していると推定された箇所が白いチョークで囲われている。当該の範囲においてチョークで囲われた箇所は2箇所ある（図中青矢印）。一方、熱画像にはφ20～40cm程度の斑点状の低温部がいくつか認められる（図中黒矢印）。これらは、打音調査で層間剥離と推定された箇所あるいはその近傍に生じている。新たに発生したか、あるいは過去の打音調査で認識できなかったのかは不明であるが、これらの低温部は層間剥離が発生している可能性が高いと考えられた。

6. まとめ

空港アスファルト舗装の層間剥離探査方法として、打音調査が一般的である現状に対して、調査効率の大幅な向上および調査結果の客観性確保を目指して、連続式赤

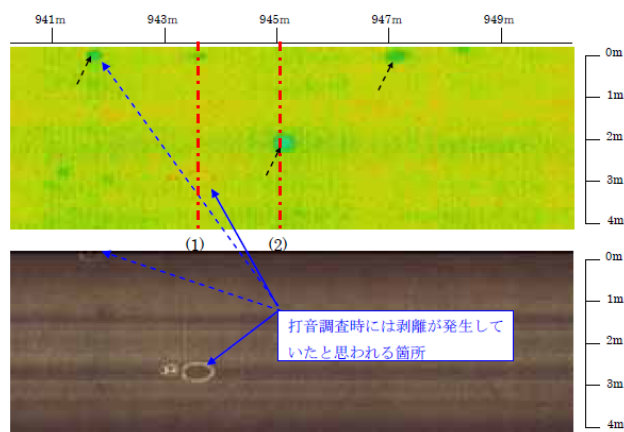


図-3 赤外線画像(上)と可視画像(下)の例

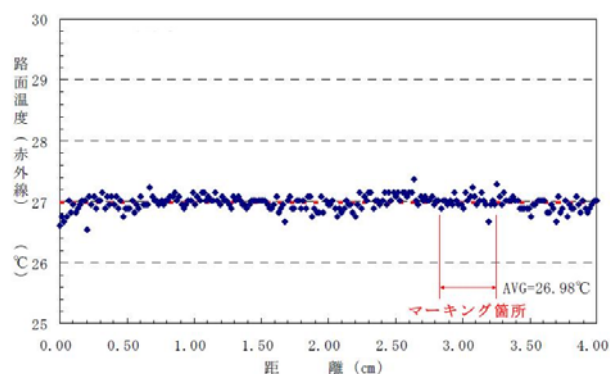


図-4 図-3における直線(1)部の路面温度

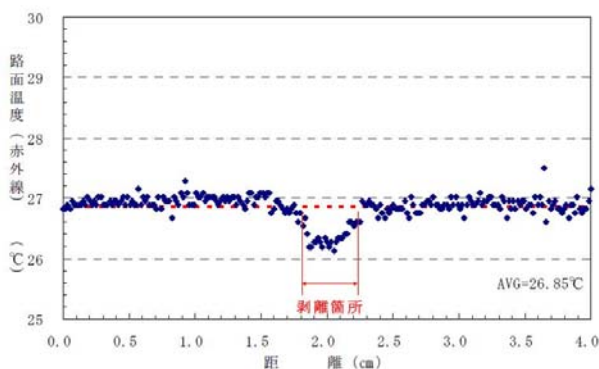


図-5 図-3における直線(2)部の路面温度

外線撮影による層間剥離の探査を試みた。得られた知見を以下に示す。

- ・実際の空港滑走路を対象に連続式の赤外線撮影を行い、舗装表面の熱画像を取得した。撮影に要した日数は2日間（夜間23時～翌朝5時で2晩）だけで、大幅な調査効率の向上を図った。
- ・赤外線撮影で得られた熱画像を詳細に整理した結果、打音調査で層間剥離と推定された箇所あるいはその近傍に、斑点状に表面温度が低下している箇所が熱画像に認められた。

以上より、空港舗装の層間剥離探査に赤外線撮影を導入することの有効性を示唆していると考えられる。