

機械学習を用いた空港滑走路アスファルト舗装の層間剥離評価手法の検討

東北大学
(株)NIPPO

学生会員
正会員

○藤咲 友輔
白井 悠

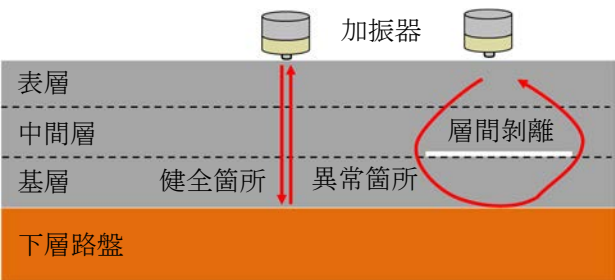
東北大学
日本大学

正会員
正会員

内藤 英樹
前島 拓

1. はじめに

我が国の多くの空港滑走路において、アスファルト舗装が用いられている。このアスファルト舗装は複数の層から構成されており、層間にて剥離が生じる場合がある。この剥離が進展することにより、表層が剥がれ滑走路の供用が停止することにもつながりかねない。しかし過密空港においては保守点検にあてる時間帯が限られるなどの制約がある。



図－1 滑走路舗装への局所振動試験の適用

著者らは道路橋 RC 床版に対し局所振動試験を用いることで健全性評価を行う検討¹⁾を行っており、局所振動試験を滑走路舗装にも適用可能であると考えた。図－1 に示されるように層間剥離の生じている箇所においては共振周波数が低下することが予想される。また、近年機械学習の産業分野の応用が進んでいる。機械学習には人間が把握することが不可能なわずかな変化を捉えることや、大量のデータを処理することが可能であるなどの利点がある。

本研究では、局所振動試験で得られた振幅スペクトルを機械学習により異常検知する手法を検討する。なお、本論文は参考文献 2)の継続に位置づけられる。参考文献 2)の結果の一部も用いて本論文では検討を行った。

2. 実験概要

2.1 試験フィールド概要

空港滑走路を模した 2 種類の厚さの試験フィールド (H240 と H300) を施工した。アスファルトの総厚さはそれぞれ 240mm と 300mm とした。舗装は表層、中間層、基層の 3 層で構成されており、それぞれの厚さは等しい。これらの舗装は下層路盤(粒状碎石 C-40)の上部に施工され、H240 舗装と H300 舗装の下層路盤の厚さはそれぞれ 110mm と 50mm とした。各層の使用材料は、表層は密粒度アスファルト混合物(20, 改質 II 型)、中間層は粗粒度アスファルト混合物(20)、基層は大粒径アスファルト混合物(30)を使用した。舗装内部の各層間には、施工不良や施工後の劣化等により生じる層間剥離を 2 種類の材料(砂、離型紙)を用いて再現した。各剥離の位置と大きさを表－1 に示す。剥離モデル名の U は表層と中間層間の、L は中間層と基層間の空隙をそれぞれ表す。離型紙による模擬剥離は、離型紙を 2 枚重ねて形成した。砂による模擬剥離は、厚さ 12mm の鉄板で舗装に型取りしたのちに、型取り部分に砂層を形成した。

表－1 剥離パラメータ

剥離モデル	剥離寸法 (mm)	空隙位置
U100	100×100	表層中間層間
U200	200×200	
U300	300×300	
U400	400×400	
U500	500×500	
U600	600×600	
L200	200×200	中間層基層間
L400	400×400	
L600	600×600	
U100L200	100×100	表層中間層間
	200×200	中間層基層間
U200L400	200×200	表層中間層間
	400×400	中間層基層間
U300L600	300×300	表層中間層間
	600×600	中間層基層間

2.2 局所振動試験概要

実験は夏季と冬季の 2 回にわたって行われた。夏季、冬季共に加振条件はホワイトノイズによるランダム加振とした。加振器による加振点から 50-100mm ほど離れた地点において舗装表面に加速度センサを接触させており、5 秒程度の応答の平均化処理とフーリエ分析を行い、周波数応答関数を測定した。周波数分解能は 20Hz とした。

夏季の実験は 2019 年 8 月 19 日に行われ、熱電対により測定した舗装内部の温度は 40~50℃であった。周波数帯域 300-20,000Hz にわたり、パワースペクトル密度(PSD)を 0.1(m/s²)²/Hz に制御した。このとき、加速度波形の振幅

キーワード アスファルト舗装, 機械学習, 非破壊検査, 振動試験

連絡先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL : 022-795-7449 FAX : 022-795-7448

の実効値(RMS)は 44m/s^2 であった。そして、H240 および H300 舗装の健全箇所においてそれぞれ 30 回、模擬剥離設置箇所 1 か所につき 1 回ずつ局所振動試験を行った。冬季の実験は 2020 年 12 月 16 日に行われ、測定した舗装表面の温度は $4.5\sim 18.3^\circ\text{C}$ であった。周波数帯域 $500\sim 20,000\text{Hz}$ にわたり、パワースペクトル密度(PSD)を $0.5(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ に制御した。このとき、加速度波形の振幅の実効値(RMS)は 99m/s^2 であった。そして、H240 および H300 舗装の健全箇所においてそれぞれ 150 回、模擬剥離設置箇所 1 か所につき 5 回ずつ局所振動試験を行った。

2.3 機械学習概要

機械学習ライブラリ scikit-learn の主成分分析(PCA: Principal Component Analysis)を用いて異常検知を行った。PCA は主に次元削減に用いられる手法であるが、次元削減した特徴量を再構成することが可能である。この際、PCA に対し健全データのみを訓練データとして与えると、テストデータにおいて健全データの再構成誤差は小さいが、異常データの場合には再構成誤差が大きくなる³⁾。この再構成誤差に着目する。局所振動試験によって得られた振幅スペクトルを最小最大スケール(正規化)した各周波数振幅を特徴量とし、次元削減の際には全体の分散の 95%を維持する次元まで削減した。表-2 にデータセットの概要を示す。このデータセットをもとに ROC 曲線を作成した。訓練データはすべて健全箇所のものであり、テストデータにおいては健全箇所と不健全箇所を同数とした。

表-2 データセット概要

		夏季	冬季
H240 舗装	訓練データ数	10	75
	テストデータ数	32	150
H300 舗装	訓練データ数	10	75
	テストデータ数	40	150

また、実際に異常検知用の閾値を設け、測定したすべてのデータに対し異常検知を行った。機械学習モデルの性能を評価する交差検証法の一つである Leave-One-Out 法を用い、上記と同様に再構成誤差を求めた。この際、訓練データとしていた健全データから半数を取り出し、閾値設定用とした。これらは訓練には用いず、再構成誤差を求め、その平均に標準偏差を加えた値を閾値とした。

3. 結果と考察

求められた異常検知能力を評価する ROC 曲線の一部を図-2 に示す。また、ROC 曲線下の面積(auROC)と閾値を設けた場合の正解率を表-3 に示す。auROC の値は 0.9 程度であり、高精度での分類が可能である。また、先述した方法で定めた閾値による正解率も平均 84%であり、閾値の設定が適していると考えられる。夏季は冬季より測定のばらつきが大きくなることが示されているが²⁾、機械学習を用いることで季節によらず局所振動試験の層間剥離検出への利用が可能であると考えられる。

4. まとめ

局所振動試験と機械学習を組み合わせることにより高い精度で層間剥離を検出することが可能である。また、本手法を用いることで健全箇所のデータのみで多様な損傷の検出が可能であることが示された。

図-2 H240 舗装の ROC 曲線

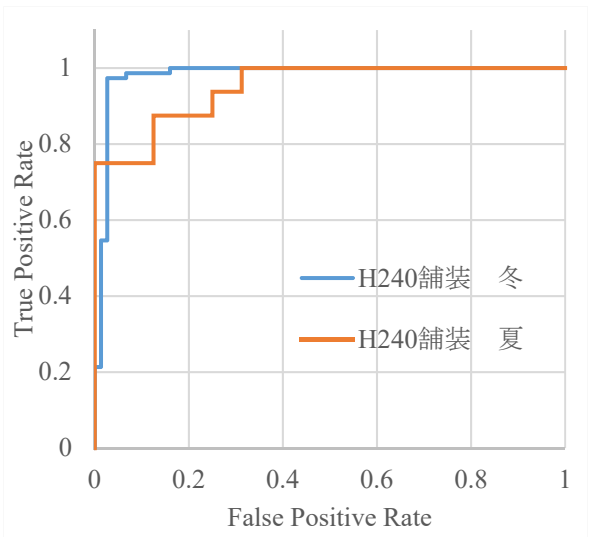


表-3 異常検知結果

		auROC	正解率
H240 舗装	夏季	0.95	89%
	冬季	0.98	96%
H300 舗装	夏季	0.93	79%
	冬季	0.82	73%

参考文献：

- Hideki Naito, John E. Bolander: Damage detection method for RC members using local vibration testing, *Engineering Structures*, Vol. 178, pp. 361-374, 2019.
- 内藤英樹, 夏目泰輔, 白井悠, 前島拓: 局所振動試験による空港滑走路アスファルト舗装の層間剥離評価手法の検討, 土木学会第 75 回年次学術講演会, V-308, 2020.
- 乾稔, 矢入健久, 河原由伸, 町田和雄: 次元削減の再構成誤差を用いた異常検知手法の比較, 第 23 回全国人工知能学会大会, 2009.