

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

東北大学 正会員 ○内藤 英樹 東北大学 学生会員 夏目 泰輔
(株)NIPPO 正会員 白井 悠 日本大学 正会員 前島 拓

1. はじめに

我が国の空港は、航空機の走行性やメンテナンス等の観点から、滑走路にアスファルト舗装が施工される場合が多い。滑走路のアスファルト舗装は、表層、基層、中間層などの多層で構成されており、これら層間では剥離が生じる場合がある。層間剥離の発生メカニズムは夏季の温度膨張や繰返し荷重载荷などがあり¹⁾、調査方法は赤外線サーモグラフィによる非破壊評価が実用化されている。しかし、赤外線サーモグラフィによる調査では、測定の時間帯や深さに制限がある。ここで、これら制限を補う層間剥離の評価手法として、著者らが道路橋RC床版の健全性診断にて検討²⁾³⁾している局所振動試験による評価手法が応用できると考えた。本手法は図-1のように、加振器を用いて舗装上から局所振動を励起し、共振周波数(剛性)の低下によって、構造物内部のひび割れを推定するものである。本研究では、層間剥離を模擬した滑走路舗装を施工し、局所振動試験による評価手法を検討した。

2. 実験概要

長さ16.2m×幅3.6mのフィールドに、2種類の滑走路舗装(H240とH300)を施工した。H240は、図-1の表層、基層、中間層の厚さがそれぞれ80mm(アスファルト層厚 $H=240$ mm)である。H300は、3層の厚さがそれぞれ100mm($H=300$ mm)とした。施工の観点から、H240とH300の舗装表面を同じ高さに揃えるため、それぞれ厚さ110mmと50mmの下層路盤(粒状碎石C-40)上にアスファルト3層を施工した。表層は密粒度アスファルト混合物(20,改質II型)、基層は粗粒度アスファルト混合物(20)、中間層は大粒径アスファルト混合物(30)を使用した。表層、基層、中間層の質量密度(設計値)は、それぞれ 2350 kg/m^3 、 2350 kg/m^3 、 2400 kg/m^3 である。3層の空隙率はいずれも5%程度を想定し、転圧重機により締固めた。

舗装内部には、剥離位置と寸法の異なる層間剥離を3種類の材料(鉄板、離型紙、砂層)により模擬した。剥離位置と寸法を表-1に示す。鉄板(厚さ2mm)と離型紙はそれぞれ2枚重ねて模擬剥離を形成した。砂層による模擬剥離は、厚さ12mmの鉄板によって舗装に型取りをして、内部に砂を詰め込んだ。滑走路舗装は、さいたま市にて、2019年8月の2日間で施工した。施工時の天候は晴れ、気温は $31.2\sim 36.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 程度であった。

3. 実験結果

夏季と冬季に実験を行ったが、以降では主に冬季の実験結果を示す。冬季の実験は、2020年1月の日中、天候は小雨、気温は $6.3\sim 8.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、熱電対による舗装内部の温度は $7\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 程度であった。図-1の加振器を用いて、舗装表面と下層路盤間の重複反射(局所振動)を励起した。振動試験

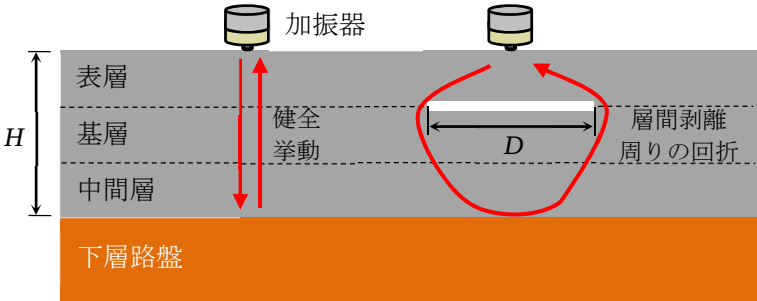


図-1 局所振動試験による滑走路舗装の層間剥離評価

表-1 剥離パラメータ

	剥離寸法 (mm)	剥離位置
U100	100 × 100	表層と基層の間
U200	200 × 200	表層と基層の間
U300	300 × 300	表層と基層の間
U400	400 × 400	表層と基層の間
U500	500 × 500	表層と基層の間
U600	600 × 600	表層と基層の間
L200	200 × 200	基層と中間層の間
L400	400 × 400	基層と中間層の間
L600	600 × 600	基層と中間層の間
U100L200	100 × 100	表層と基層の間
	200 × 200	基層と中間層の間
U200L400	200 × 200	表層と基層の間
	400 × 400	基層と中間層の間
U300L600	300 × 300	表層と基層の間
	600 × 600	基層と中間層の間

キーワード：空港滑走路、アスファルト舗装、層間剥離、振動試験、非破壊評価
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

はホワイトノイズによるランダム加振とした。加振器の基本設定は、周波数帯域 300-20,000 Hz に渡ってパワースペクトル密度 (PSD) を $0.5 \text{ (m/s}^2\text{)}^2/\text{Hz}$ に一定制御した。加速度波形の振幅の実効値 (RMS) は 99 m/s^2 であった。加振点から 50-100 mm 程度離れた位置に圧電式加速度センサを舗装表面に接触させて、5 秒程度の平均化処理により共振曲線を測定した。

H300 の健全箇所での共振曲線を図-2 (a) に示す。振幅の最大ピークとなる周波数を共振周波数と定義すると、共振周波数は 5720 Hz となった。測定精度の検討として、健全箇所にて 30 回測定した共振周波数の統計分析を表-2 に示す。冬季測定の変動係数は 3 % 程度であり、既往の RC 床版と同程度となった³⁾。なお、共振周波数の二乗によって評価したアスファルト舗装の剛性の比較は、夏季は冬季の 1/10 程度であり、測定のばらつきも大きかった。

一方、図-2 (b) に示す H300 の剥離箇所では、共振周波数が 1980 Hz まで低下した。共振周波数と剥離寸法の関係を図-3 に示す。図より、i) 剥離寸法の増加に伴って共振周波数が低下する、ii) 模擬剥離の種類 (鉄板、離型紙、砂層) に依らない、iii) 舗装表面から剥離面までの距離に依らないことが示された。これら i)-iii) は、回折法の特徴でもある。図-1 のような剥離周りの波の回折を仮定すると、共振周波数は次式で評価できる³⁾。

$$\frac{f}{f_0} = 1 - \frac{D}{2H}$$

(1)

ここで、 f は共振周波数、 f_0 は健全状態での共振周波数、 D は剥離寸法、 H は舗装厚さ、式 (1) は $D/2H < 0.8$ の条件で用いられる。図-3 より、共振周波数の測定値と式 (1) が良好に対応したことから、図-1 のような層間剥離周りの回折によって滑走路舗装の共振周波数が低下することが示唆された。

4. まとめ

加振器を用いて滑走路舗装の局所振動を励起し、共振周波数の低下に着目して、層間剥離の寸法を推定できる可能性が示された。今後は、測定時間の短縮や作業性向上を図り、実務への活用につげたい。

参考文献：

1) 久保宏ほか: 最近の空港アスファルト舗装の損傷と改良工法について, 土木学会舗装工学論文集, Vol.9, pp.35-40, 2004.

2) Hideki Naito, John E. Bolander: Damage detection method for RC members using local vibration testing, *Engineering Structures*, Vol.178, pp.361-374, 2019.

3) Hideki Naito, Ryosuke Sugiyama, John E. Bolander: Local Vibration Testing and Damage Evaluation for RC Bridge Decks, *Journal of Structural Engineering*, 2020. (in printing)

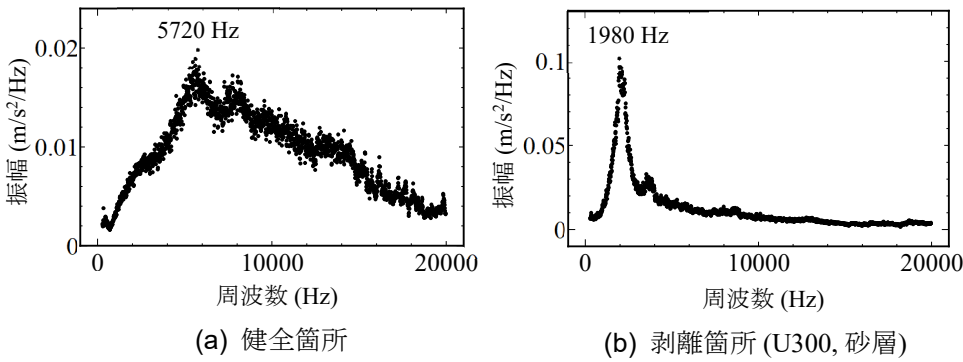


図-2 健全箇所での共振曲線 (H300)

表-2 健全箇所での共振周波数の測定精度

舗装種別	H240		H300	
	冬季	夏季	冬季	夏季
実施時期	冬季	夏季	冬季	夏季
舗装温度 (°C)	7-10	40-50	7-10	40-50
データ数	30	30	30	30
平均値 f_m (Hz)	7480	2410	5750	2260
標準偏差 σ (Hz)	200	490	213	452
変動係数 (%)	2.7	20.4	3.7	20.0

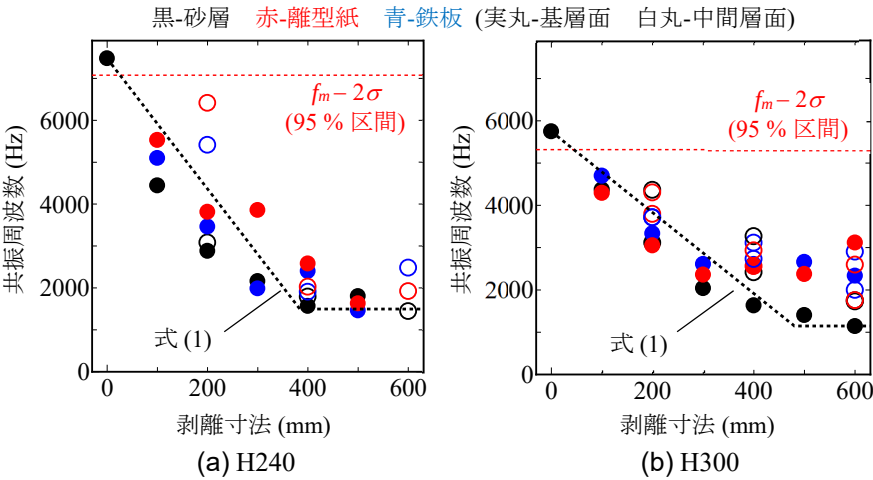


図-3 共振周波数と剥離寸法の関係