

鋼球打撃によるたわみ共振を利用したアスファルト舗装を有する RC 床版の水平ひび割れ検出の基礎検討

東京都立大学 学生会員 ○笠嶋 龍太郎 正会員 大野 健太郎
東京都立大学 正会員 宇治 公隆 上野 敦

1. はじめに

既設鉄筋コンクリート (RC) 床版内部に生じる水平ひび割れの検出に際し、様々な非破壊試験方法が活用されており、打音法、衝撃弾性波法、赤外線サーモグラフィ法、電磁波レーダ法などによる検討事例が多く報告されている。その中でも、衝撃弾性波法を用いてアスファルト舗装上から水平ひび割れを検出することは困難となる場合があり¹⁾、本研究の予備検討においても、アスファルト上面をφ11 およびφ19mm の鋼球で打撃し、多重反射法に基づく方法で欠陥検出を試みたところ、供試体全体のたわみ振動が卓越し、多重反射成分が明瞭に検出できず欠陥検出ができなかった。そのため、本測定では鋼球打撃位置の違い、すなわち欠陥直上での打撃が供試体全体のたわみ振動に影響を及ぼし、たわみ振動の特性の違いから欠陥の有無を推定可能と仮定し、検討した。

2. 実験概要

供試体は図-1 に示すように、800×800×160mm の RC 床版上面に厚さ 50mm のポリマー改質密粒アスファルト II 型を舗装した構造とし、4 体作製した。Case1 を健全な供試体とし、水平ひび割れを模擬したφ60, 120, 180, 240mm のスチレンボード (厚さ 1mm) を位置と深さを覚えて埋設したものを Case2, 3, 4 (それぞれ深さ 85, 165, 175mm) とした。たわみ振動の測定は、アスファルト上面の 50mm 間隔格子点上をφ40mm の鋼球で打撃し、左側 50mm の位置に加速度計 (感度: 20mV/(m/s²), 周波数範囲±3dB: 0.1~10,000Hz) を手で押し当てて測定した。なお、アスファルト表面の凹凸により打撃の際に入力信号が一定とならない懸念が生じたため、本測定では厚さ 3mm のゴム板を打撃点直下に静止して打撃した。信号の記録は、サンプリング時間 20ms, 時間間隔 1μs とした。

ここで、たわみ振動は以下の式²⁾より算出でき、本供試体の健全部では、表-1 の材料特性値を使用すると約 930Hz となり、欠陥直上でのたわみ共振は表-2 のように算出でき、欠陥の埋設深さの変化よりも欠陥径が小さくなるほどたわみ共振周波数が高くなることがわかり、本測定で使用した加速度計の周波数特性より、欠陥検出対象は欠陥径 240mm の全埋設深さと径 180mm で深さ 85mm の欠陥となる。

$$f = \frac{4.99}{2\pi} \sqrt{\frac{EI^2}{12\rho(1-\nu^2)a^4}} \quad (1)$$

ここで、 E : 弾性係数、 I : 板厚、 ρ : 密度、 ν : ポアソン比、 a : 円状欠陥の半径である。

3. 測定波形と周波数スペクトル

図-2 に各供試体の最も欠陥が大きい E11 地点にて鋼球打撃した際の受信波形と周波数スペクトルを示す。いずれ

キーワード RC 床版, アスファルト, 水平ひび割れ, たわみ共振

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL: 042-677-1111

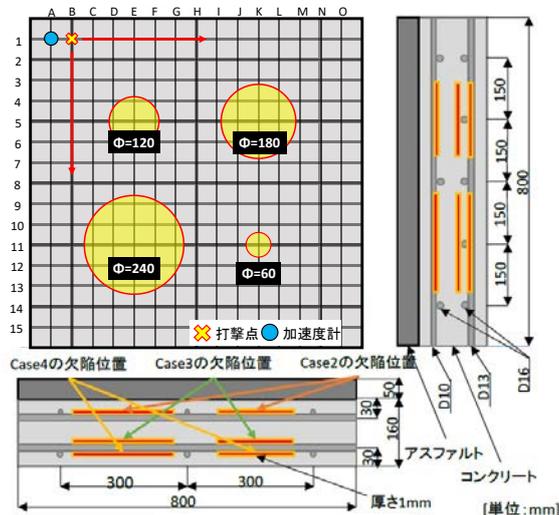


図-1: 供試体概要図

表-1: 材料諸元

	コンクリート	アスファルト
厚さ [mm]	160	50
弾性係数 [kN/mm ²]	25	5
ポアソン比	0.2	0.3
密度 [kg/m ³]	2200	2350

表-2: たわみ共振

たわみ共振 [kHz]	欠陥埋設深さ [mm]			
	85	165	175	
欠陥径 [mm]	φ 60	53.9	125.4	134.3
	φ 120	13.5	31.4	33.6
	φ 180	6.0	13.9	14.9
	φ 240	3.4	7.8	8.4

の供試体においても、1kHz 付近に卓越周波数が認められ、供試体のたわみ共振周波数とはほぼ一致した。また、Case2, 3, 4 では Case1 に比べ 2.5kHz よりも高い周波数でスペクトル強度が大きくなっており、欠陥のたわみ共振の情報を得られていると考えられる。

4. 欠陥検出方法とその結果

ここでは、供試体全体のたわみ共振周波数（約 1kHz）よりも高い周波数の存在が欠陥からの情報であると仮定し、1.22kHz, 2.33kHz, 2.81kHz から 5.00kHz のそれぞれのスペクトル面積を算出し、図-3~5 にコンター表示した。なお、図中黒丸線は平面的な欠陥埋設位置を表し、コンター図の下限閾値は健全供試体の最大値近傍とした。

これらの結果から、検討対象となる欠陥径 180mm 以上において、欠陥の有無がより明確に判別可能なのは、高周波領域 2.81kHz 以上であることが示唆された。図-2 の周波数スペクトルでは、いずれの供試体においても 2kHz 周辺でスペクトル強度が高くなっており、これは供試体全体のたわみ共振の 2 次モードが検出されているためと考えられる。また、図から 3 次モードは確認されなかった。したがって、本検討において除外すべき周波数は、供試体全体のたわみ共振周波数の 2 次モード以下となるため、欠陥のたわみ共振の情報だけを明確に取り出すには、高周波領域 2.81kHz 以上が妥当であると考えられる。

本検討において検討対象である Case4（欠陥埋設深さ 175mm）と、Case3（欠陥埋設深さ 165mm）の埋設深さの差は 10mm であるが、Case4 では欠陥検出は困難であった。これは Case4 の人工欠陥埋設位置が、鉄筋直下であることにより、鋼球打撃により励起された人工欠陥部でのたわみ共振が鉄筋により抑制されたためと考えられる。

5. まとめ

アスファルト舗装上から、供試体および欠陥でのたわみ共振の検出に際し、供試体全体のたわみ共振周波数の二次モード以下（約 2kHz）を検討から除外し、高周波領域 2.81kHz 以上を検討対象とすることが適切であると示唆された。本手法において、欠陥埋設位置 165mm 以浅、欠陥径 240mm および欠陥埋設位置 85mm、欠陥径 180mm において欠陥検出が可能であった。また、欠陥が鉄筋直下にある場合は、本手法は適用範囲外であると考えられる。

謝辞

本研究は、一般財団法人上田記念財団の 2020 年度研究助成を受けて実施した。また、アスファルト敷設に際し日本道路（株）の藤井洋志氏にご協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 安井和也, 鈴木真, 寺澤広基, 鎌田敏郎: 上面増厚および高機能舗装を有する RC 床版における水平ひび割れ評価手法に関する検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文集, 第 20 巻, pp.161-166, 2020.10
- 2) 鈴木哲也, 島本由麻: 鉄筋コンクリート表層に発達した欠陥の非破壊検出に関する基礎的研究, 農業農村工学会論文集, No.310, pp.I_67-I_75, 2020.6

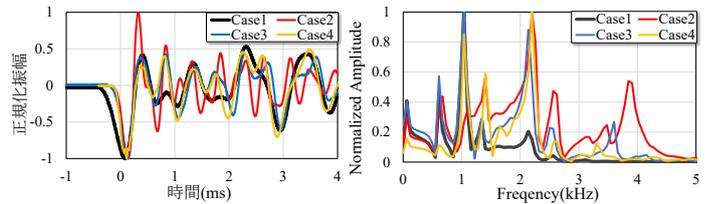


図-2: 測定波形と周波数スペクトル

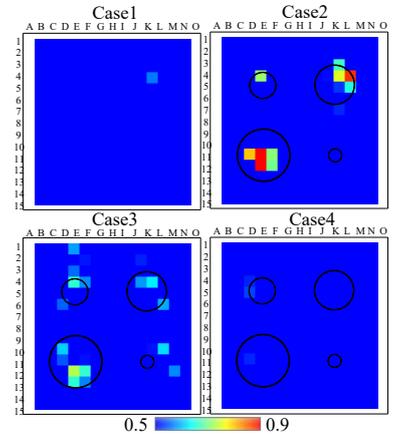


図-3: 高周波領域 1.22kHz 以上

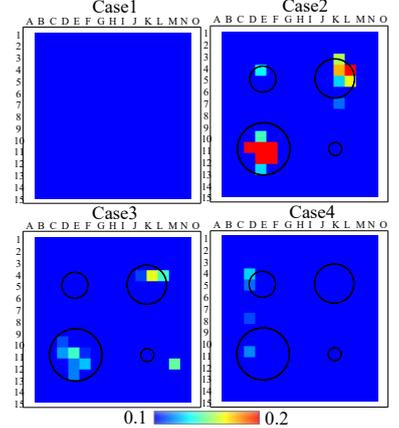


図-4: 高周波領域 2.33kHz 以上

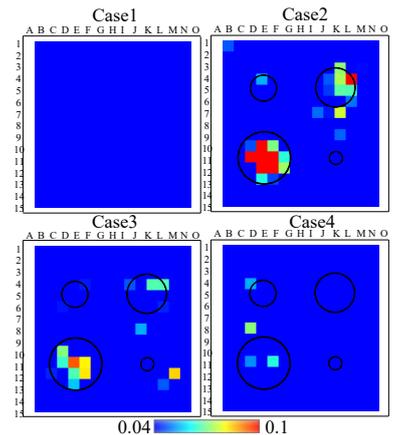


図-5: 高周波領域 2.81kHz 以上